

Г.Ф. БЫСТРИЦКИЙ, Э.А. КИРЕЕВА

СПРАВОЧНАЯ КНИГА

ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ
ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ



Г.Ф. БЫСТРИЦКИЙ, Э.А. КИРЕЕВА

СПРАВОЧНАЯ КНИГА
ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ
ОБОРУДОВАНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ



Москва
Машиностроение
2012

УДК 621.311.4(07)

ББК 31.29-5

Б 95

Быстрицкий Г.Ф., Киреева Э.А.

Б 95 Справочная книга по энергетическому оборудованию предприятий и общественных зданий. — М.: Машиностроение, 2012. — 592 с.; ил.

ISBN 978-5-94275-574-4

Справочная книга в отличие от предыдущих изданий полностью переработана и дополнена новыми сведениями по оборудованию. Имеет два раздела: теплотехнический и электротехнический, в каждом из которых приведены технические характеристики нового и эксплуатируемого оборудования. В теплотехническом разделе рассмотрено энергосиловое и тепломеханическое оборудование; приведены сведения по котельным установкам, паровым и водогрейным котлам, нагнетательным машинам (насосам, вентиляторам, компрессорам), теплообменным аппаратам, автономным источникам питания. В электротехническом разделе приведены сведения по электрооборудованию напряжением до и выше 1 кВ (силовым и измерительным трансформаторам, выключателям, кабельным и воздушным линиям, конденсаторным установкам и др.) и даны рекомендации по его применению. Рассмотрен практический материал по электрическому освещению, охране труда и технике безопасности.

Для инженеров, техников и мастеров, занятых в эксплуатации систем энергоснабжения. Может быть полезен проектировщикам, а также студентам энергетических специальностей.

УДК 621.311.4(07)

ББК 31.29-5

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и ссылкой на источник информации.

ISBN 978-5-94275-574-4

© Авторы, 2012

© ООО «Издательство Машиностроение», 2012

Предисловие

Данная книга является первым полным справочным материалом по электротехническому и теплотехническому оборудованию. Основная задача авторов состояла в том, чтобы оказать действенную помощь эксплуатационному персоналу в его практической работе в выборе целесообразных решений, которые бы не только отвечали современным требованиям по экономичности и надежности систем энергоснабжения, но и обеспечивали выполнение норм на их качество.

По сравнению с предыдущими изданиями справочных материалов по энергоснабжению (Справочник энергетика. М.: Колос, 2006; Справочник энергетика предприятий, учреждений и организаций. М.: Колос, 2010) авторами выполнена значительная переработка материалов книги с учетом запросов и замечаний специалистов. Книга также дополнена сведениями по новому электротехническому и теплотехническому оборудованию и снабжена практическими рекомендациями по его использованию.

Кроме того, изменена структура книги. Для удобства пользования справочной книгой выделены в отдельные главы сведения по электрооборудованию напряжением до и выше 1 кВ, а также сведения по силовым и измерительным трансформаторам, КРУ, КТП, конденсаторным установкам, кабельным и воздушным линиям. Даны новые практические материалы по электробезопасности. Переработаны, дополнены и обновлены текстовые и табличные сведения по компрессорам, насосам и автономным электрогенераторным установкам.

Справочная книга состоит из двух разделов. В первом (теплотехническом) разделе представлено энергосиловое и тепломеханическое оборудование. Даны основные сведения по промышленным котельным установкам, техническим характеристикам паровых и водогрейных котлов. Представлены типы нагнетательных машин (насосов, вентиляторов и компрессоров), рассмотрены способы регулирования и расчета мощности на валу приводного электродвигателя. Показаны конструкции теплообменных аппаратов и приведены примеры расчета теплообменников разных типов. Во втором (электротехническом) разделе даны систематизированные сведения по эксплуатируемому и новому электрооборудованию напряжением до и выше

1 кВ (выключателям, контакторам, силовым и измерительным трансформаторам, разъединителям, конденсаторным установкам, кабельным и воздушным линиям и др.), а также необходимые справочные материалы по осветительным установкам и электробезопасности.

Для проведения требуемых расчетов при выборе оборудования приведены электрические и теплотехнические единицы Международной системы СИ, их производные, некоторые внесистемные единицы и соотношение основных величин в разных системах единиц.

Теплотехнический раздел справочника подготовлен Г.Ф. Быстрицким, электротехнический — Э.А. Киреевой, материал по электробезопасности — А.Ф. Монаховым. Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность всем, кто давал советы, делал замечания и вносил предложения по улучшению рукописи при работе над ней.

Авторы

Важнейшие единицы теплотехнических и электрических величин

Основные единицы Международной системы СИ

Величина	Основные единицы	
	Единица величины	Обозначение единицы: международное/русское
Длина	Метр	m/м
Масса	Килограмм	kg/кг
Время	Секунда	s/с
Электрический ток	Ампер	A/А
Термодинамическая температура	Кельвин	K/К
Количество вещества	Моль	mol/моль
Сила света	Кандела	cd/кд
Температура	Градус Цельсия	°C

Метр равен расстоянию, проходимому светом в вакууме за $1/299\,722\,458$ долю секунды.

Килограмм равен массе международного прототипа килограмма.

Секунда равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами.

Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Некоторые производные единицы

Величина	Единица величины	Обозначение единицы
Площадь	Квадратный метр	м^2
Объем, вместимость	Кубический метр	м^3
Скорость	Метр в секунду	м/с
Ускорение	Метр на секунду в квадрате	м/с^2
Сила	Ньютон	$\text{Н (кг} \cdot \text{м/с}^2\text{)}$
Давление	Паскаль (ньютон на квадратный метр)	$\text{Па (Н/м}^2\text{)}$
Плотность	Килограмм на кубический метр	кг/м^3
Удельный объем	Кубический метр на килограмм	$\text{м}^3/\text{кг}$
Количество электричества, электрический заряд	Кулон	$\text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с}$
Электрическое напряжение, разность потенциалов, ЭДС	Вольт	В
Наряженность электрического поля	Вольт на метр	В/м
Электрическая емкость	Фарада	$\text{Ф} = \text{Кл/В}$
Электрическое сопротивление	Ом	$\text{Ом} = \text{В/А} = 1/\text{См}$
Удельное электрическое сопротивление	Ом · метр	$\text{Ом} \cdot \text{м} = 10^6$ $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
Электрическая проводимость	Сименс	$\text{См} = \text{А/В} = 1/\text{Ом}$
Магнитный поток	Вебер	$\text{Вб} = \text{В} \cdot \text{с}$
Магнитная индукция	Тесла	$\text{Тл} = \text{Вб/м}^2$
Магнитодвижущая сила	Ампер	А
Индуктивность	Генри	$\text{Гн} = \text{Вб/А} = \text{Ом} \cdot \text{с}$
Энергия, работа, количество теплоты, энтальпия	Джоуль	$\text{Дж (Н} \cdot \text{м)}$
Мощность, поток энергии	Ватт	Вт (Дж/с)
Активная мощность электрической цепи	Ватт	Вт
Реактивная мощность электрической цепи	Вар	вар
Полная мощность электрической цепи	Вольт-ампер	$\text{В} \cdot \text{А}$

Величина	Единица величины	Обозначение единицы
Энтропия	Джоуль на кельвин	Дж/К
Удельная массовая теплоемкость	Джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)
Теплота фазового превращения, удельная энтальпия	Джоуль на килограмм	Дж/кг
Плотность теплового потока	Ватт на квадратный метр	Вт/м ²
Коэффициент теплопроводности	Ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)
Коэффициент теплоотдачи, теплопередачи	Ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м ² ·К)
Динамическая вязкость	Паскаль-секунда	Па·с (Н·с/м ²)
Кинематическая вязкость	Квадратный метр на секунду	м ² /с

Некоторые внесистемные единицы

Время	Час, сутки	ч, сут
Масса вещества в килограммах, численно равная его молекулярной массе	Киломоль	кмоль
Давление	Миллиметр водяного столба	мм вод.ст.
	Миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.
	Бар	бар
	Атмосфера	атм
Теплота	Калория	кал

Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
10 ¹²	Тера	Т	10 ⁻¹	Деци	д
10 ⁹	Гига	Г	10 ⁻²	Санتي	с
10 ⁶	Мега	М	10 ⁻³	Милли	м
10 ³	Кило	к	10 ⁻⁶	Микро	мк
10 ²	Гекто	г	10 ⁻⁹	Нано	н
10	Дека	да	10 ⁻¹²	Пико	п

Коэффициенты перевода между энергетическими единицами

Единица	ГДж	Гкал	МВт·ч	т у.т.	т н.э.
ГДж	1	0,2388	0,2778	0,03412	0,02388
Гкал	4,1868	1	1,163	0,14286	0,1
МВт·ч	3,6	0,8598	1	0,12284	0,08598
т у.т.	29,3076	7	8,141	1	0,7
т н.э.	41,868	10	11,63	1,42857	1

Примечание. При определении замещения органического топлива при производстве тепловой и электрической энергии возникает необходимость преобразования эквивалентной тепловой энергии в электрическую, для чего используются следующие энергетические эквиваленты.

Тонна условного топлива («угольного эквивалента») 1 т у.т. = 8,141 $\eta_{\text{ср}}$ МВт·ч.

Тонна «нефтяного эквивалента» 1 т н.э. = 11,63 $\eta_{\text{ср}}$ МВт·ч, где $\eta_{\text{ср}}$ — средний КПД преобразователей тепловой энергии в электрическую на существующем уровне техники. Принимая это значение равным $\eta_{\text{ср}} = 0,361$, получаем следующие соотношения для единиц электроэнергии, вырабатываемой источником:

$$1 \text{ т н.т.} = 4,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$1 \text{ т у.т.} = 2,94 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Соотношение основных величин в разных системах единиц

Величина	Единица величины
Давление	1 Па = 1 Н/м ² = 1,02 · 10 ⁻⁵ кгс/см ² = 7,5024 · 10 ⁻³ мм рт.ст. 1 бар = 10 ⁵ Па = 1,02 кгс/см ² = 750,24 мм рт.ст. 1 атм = 1 кгс/см ² = 0,980665 бар = 735,6 мм рт.ст.
Сила	1 кгс = 9,81Н
Плотность	1 кгс · с ² /м ⁴ = 9,81 кг/м ³
Динамическая вязкость	1 Н·с/м ² = 0,102 кгс/см ² = 1,02 · 10 ⁻² П = 0,102 кгс/(м·с) 1 кгс · с/м ² = 9,81 Па·с 1 Пз = 100 сП = 1 дин · с/см ² = 360 кгс/(м·ч) = 0,0102 кг · с/м ²
Кинематическая вязкость	1 м ² /с = 3600 м ² /ч = 10 ⁴ см ² /с = 10 ⁴ Ст 1 Ст = 1 см ² /с = 100 сСТ = 10 ⁴ м ² /с
Теплоемкость	1 ккал/(кгс · °С) = 4,187 кДж/(кг · °С)
Теплота фазового превращения, удельная энтальпия	1 ккал/кгс = 4,187 кДж/кг
Тепловой поток	1 ккал/ч = 1,163 Вт
Плотность теплового потока	1 ккал/(м ² · ч) = 1,163 Вт/м ²
Теплопроводность	1 ккал/(м · ч · °С) = 1,163 Вт/(м · °С) 1 Вт/(м · К) = 0,86 ккал/(м · ч · °С) = 360 кал/(см · с · °С)

РАЗДЕЛ I

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Топливо и его сжигание

1.1. Элементарный состав твердого, газообразного и жидкого топлива

В базовой и промышленной энергетике для получения электрической и тепловой энергии используется в основном топливо органического происхождения.

Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которые входят небольшие количества других веществ.

К *твердому топливу* относят: антрацит, каменный и бурый уголь, торф, дрова, сланцы, отходы лесопильных заводов и деревообделочных цехов, а также растительные отходы сельскохозяйственного производства — солому, костру, лузгу и др.

К *жидкому топливу* относят нефть, а также различные продукты ее переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и остаточный продукт нефтепереработки нефти — мазут.

До 70 % и более видов жидкого топлива используется на транспорте — авиационном, автомобильном, специальном водном, железнодорожном (тепловозы), около 30 % сжигается в виде мазута на тепловых электростанциях и в промышленных котельных.

К *газообразному топливу* относят природный газ, добываемый из недр земли, попутный нефтяной газ, газообразные отходы металлургического производства (коксовый и доменный газ), крекингový газ, а также генераторный газ, получаемый искусственным путем из твердого топлива в особых газогенераторных установках.

Топливо в том виде, в каком оно поступает для сжигания в топку котлов или в двигатели внутреннего сгорания, называется *рабочим*.

В общем случае в состав рабочего (твердого или жидкого) топлива входят углерод С, водород Н, кислород О, азот N и летучая сера S, а также негорючие минеральные примеси — зола A и влага W.

Для рабочей массы топлива имеет место равенство:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100 \%, \quad (1.1)$$

где C^P , H^P , O^P и т. д. — элементы рабочего топлива, % общей массы топлива.

Влага, содержащаяся в топливе совместно с золой, называется балластом топлива.

В естественных видах ископаемого твердого топлива встречается сера трех разновидностей:

1) органическая S^O , связанная с другими элементами топлива C , H , N и O в виде сложных органических соединений;

2) колчеданная S^K в виде пирита, колчедана FeS_2 ;

3) сульфатная $S^{сульф}$ в виде солей серной кислоты (гипс, $FeSO_4$ и др.). Сульфаты представляют собой высокие окислы серы, поэтому находящаяся в них сера гореть не может. Присутствующие в топливе органическая и колчеданная серы сгорают, образуя токсичный сернистый ангидрид SO_2 и (в небольших количествах) еще более токсичный серный ангидрид SO_3 . Выброс их с продуктами сгорания вызывает загрязнение воздушного бассейна.

Органическая и колчеданная сера образуют вместе летучую горючую серу $S_{л}$. Общее содержание серы в топливе

$$S_{общ} = S^O + S^K + S^{сульф} = S_{л} + S^{сульф}. \quad (1.2)$$

В горючую часть топлива входит только летучая сера, остальная сера в горении участия не принимает и может быть отнесена к балласту топлива.

Для правильного представления тепловых свойств топлива вводится понятие горючей массы, для которой

$$C^Г + H^Г + O^Г + N^Г + S_{л}^Г = 100\%, \quad (1.3)$$

где индекс вверху показывает, что процентный состав отдельных элементов отнесен к горючей массе.

Название «горючая масса» носит условный характер, так как действительно горючими ее элементами являются только *углерод, водород и сера*. Углерод — преобладающий компонент твердых и жидких топлив, в топливах его обычно содержится от 50 до 95 %, тогда как содержание водорода $H^Г$ колеблется в пределах от 1 до 11 %, а серы $S^Г$ — от 0 до 8 %. Горючую массу можно характеризовать как топливо, не содержащее золы и в абсолютно сухом состоянии. Содержание азота в горючей массе твердых топлив обычно составляет 1—2 % по массе. Несмотря на столь малое количество, азот является весьма вредным компонентом, поскольку при сгорании азотсодержащих соединений в высокотемпературных топках образуются сильнотоксичные оксиды NO и NO_2 (они образуются также и из атмосферного азота, но в меньшей степени).

Для топлива, содержащего большое количество влаги (бурый уголь, торф, дрова, некоторые растительные отходы), в некоторых случаях удобно использовать понятие сухой массы, т. е. характеризовать состав абсолютно сухого топлива суммой элементов C^c , H^c , O^c , N^c , S^c и A^c . При этом

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100\%, \quad (1.4)$$

где индекс показывает, что процентный состав отдельных элементов отнесен к сухой массе.

Для взаимного пересчета массы топлива в соответствии с понятием о массах топлива служат формулы, объединенные в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Формулы для пересчета состава топлива с одной массы на другую

Заданная масса топлива	Искомая масса топлива, %		
	рабочая	сухая	горючая
Рабочая	1	$\frac{100}{100 - W^P}$	$\frac{100}{100 - (W^P + A^P)}$
Сухая	$\frac{100 - W^P}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючая	$\frac{100 - (W^P + A^P)}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

Зольность топлива. Золой называют твердый негорючий остаток, остающийся после сжигания топлива в атмосфере воздуха. Зола может быть в виде сыпучей массы с плотностью в среднем 600 кг/м^3 и в виде сплавленных пластин и кусков, называемых шлаками, с плотностью до 800 кг/м^3 .

В состав золы большинства видов твердого топлива входят: глинозем Al_2O_3 , кремниевая кислота SiO_2 , известь CaO , магнезия MgO , щелочи Na_2O , окислы железа FeO и Fe_2O_3 .

Влажность твердого топлива. Влажность твердого топлива W^P доходит до 50 % и более и определяет экономическую целесообразность использования данного горючего материала и возможность его сжигания. Влага снижает температуру в топке и увеличивает объем дымовых газов. Увеличенный объем дымовых газов требует дополнительной энергии на их удаление.

Очевидно, что влага является балластной примесью, так как уменьшает тепловую ценность исходного топлива. Кроме того, часть теплоты, выделяемой топливом при его сгорании, расходуется на испарение влаги.

Летучие вещества. При нагревании твердого топлива без доступа воздуха его органическая масса разлагается, в результате чего образуются газы, водяные и смоляные пары и углесодержащий остаток. Суммарное количество выделяющихся летучих веществ увеличивается с увеличением температуры и времени выдержки, этот процесс в основном заканчивается при $700\text{--}800^\circ\text{C}$. Выход летучих веществ V^T , в процентах на горючую массу, является важнейшей характеристикой горючей массы твердого топлива и уменьшается по мере увеличения его возраста. Чем больше выход летучих веществ, т.е. чем больше топлива превращается при нагревании в горючий газ, тем проще зажечь это топливо и легче поддерживать устойчивое горение. Органическая часть древесины и горючих сланцев при нагревании без доступа воздуха почти целиком переходит в летучие вещества

($V^r = 85 \div 90\%$), в то время как у антрацитов $V^r = 3 \div 4\%$. Именно большой выход летучих веществ определяет хорошую горючесть древесины.

Состав некоторых видов твердого топлива представлен в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Примерный состав и теплотехнические характеристики горючей массы основных видов твердого топлива

Топливо	Состав горючей массы, %					Выход летучих веществ, V^r , %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
	C^r	S^r	H^r	O^r	N^r		
Дрова	51	—	6,1	42,2	0,6	85	19
Торф	58	0,3	6	33,6	2,5	70	8,12
Горючий сланец	60—75	4—13	7—10	12—17	0,3—1,2	80—90	7,66
Бурый уголь	64—78	0,3—6	3,8—6,3	15,26	0,6—1,6	40—60	27
Каменный уголь	75—90	0,5—6	4—6	2—13	1—2,7	9—50	33
Полуантрацит	90—94	0,5—3	3—4	2—5	1	6—9	34
Антрацит	93—94	2—3	2	1—2	1	3—4	33

Жидкое топливо. Практически все виды жидкого топлива получают путем переработки нефти (бензин, керосин, дизельное топливо и мазут). Мазут представляет собой сложную смесь жидких углеводородов, в состав которых входят в основном углерод ($C^p = 84 \div 86\%$) и водород ($H^p = 10 \div 12\%$); $O^p + N^p = 1 \div 2\%$, содержание воды и зольность не превышают 0,2—1,5%.

Мазуты, полученные из нефти ряда месторождений, могут содержать много серы (до 4,5—5%), что резко усложняет защиту окружающей среды при их сжигании.

Характеристики основных видов жидкого топлива приведены в табл. 1.3.

Из указанных выше видов жидкого топлива в промышленных и котельных печах сжигаются только топочные мазуты, которые классифицируются по степени их вязкости: М20, М40, М60, М80, М100 и М120 (цифры в указанных марках мазута означают условную вязкость в градусах Энглера).

Для транспортных установок применяют так называемый мазут флотский марок Ф5 и Ф12.

В табл. 1.4 приведены характеристики топочных и флотских мазутов.

Газообразное топливо. Газообразное топливо по сравнению с другими видами топлива имеет ряд существенных преимуществ: сгорает при небольшом избытке воздуха, образуя продукты полного горения без дыма и копоти; не дает твердых остатков; удобно для транспортировки по газопроводам на большие расстояния и позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в установках самых различных конструкций и мощностей. Газообразное топливо делится на *естественное* и *искусственное*. Естественное топливо в свою очередь делится на *природное* и *нефтепромысловое*.

Таблица 1.3. Характеристики некоторых видов жидкого топлива, получаемого из нефти

Топливо	Состав горючей массы, %				Зольность сухого топлива А ^с , %	Влага рабочего топлива W ^p , %	Низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг
	углерод C ^r	водород H ^r	сера S ^r	кислород и азот O ^r + N ^r			
Бензин	85	14,9	0,05	0,05	0	0	43,8
Керосин	86	13,7	0,2	0,1	0	0	43
Дизельное	86,3	13,3	0,3	0,1	Следы	Следы	42,4
Солярное	86,5	12,8	0,3	0,4	0,02	Следы	42
Моторное	86,5	12,6	0,4	0,5	0,05	1,5	41,5
Мазут:							
малосернистый	86,5	12,5	0,5	0,5	0,1	1	41,3
сернистый	85	11,8	2,5	0,7	0,15	1	40,2
многосернистый	84	11,5	3,5	0,5	0,1	1	40

Таблица 1.4. Основные характеристики котельных мазутов

Показатель	Нормы по маркам мазута				
	флотского		топочного		
	Ф5	Ф12	40	100	200
Вязкость (условная), °ВУ, не более:					
при 50 °С	5	12	—	—	—
при 80 °С	—	—	8	15,5	—
при 100 °С	—	—	—	—	6,5—9,5
Температура застывания °С, не выше					
мазута	–5	–8	+10	+25	+ 36
мазута из высокопарафиновых нефтей	—	—	+25	+42	+42
Температура вспышки, °С, не ниже, при					
определении в тигле:					
закрытом	80	90	—	—	—
открытом	—	—	90	110	140

Природный газ получают из чисто газовых месторождений, где он выбрасывается из недр земли под давлением, достигающим иногда до 100 атм и более. Основным его компонентом является метан CH_4 , кроме того, в газе разных месторождений содержатся небольшие количества водорода H_2 , азота N_2 , высших углеводородов C_nH_m , оксида (СО) и диоксида (CO_2) углерода.

В табл. 1.5 представлены характеристики горючих газов, входящих в состав газообразного топлива.

Таблица 1.5. Характеристика горючих газов, входящих в состав газообразного топлива

Газ	Химическая формула	Низшая теплота сгорания 1 м ³ газа Q_n^c		Плотность газа ρ , кг/м ³ , при нормальных условиях	Удельный объем, м ³ /кг	Теоретическая температура горения, °С
		МДж/м ³	ккал/м ³			
Водород	H ₂	10,8	2 580	0,09	11,112	—
Метан	CH ₄	35,82	8 555	0,717	1,4	1 980
Этан	C ₂ H ₆	63,75	15 226	1,342	0,746	2 150
Пропан	C ₃ H ₈	91,25	21 795	1,967	1,51	—
Бутан	C ₄ H ₁₀	118,65	28 338	2,593	0,385	2 080
Пентан	C ₅ H ₁₂	146,08	34 890	3,218	0,321	2 090
Этилен	C ₂ H ₄	59,06	14 107	1,261	—	2 200
Пропилен	C ₃ H ₆	86,00	20 541	1,915	—	2 270
Бутилен	C ₄ H ₈	113,51	27 111	2,372	—	2 100
Оксид углерода	CO	12,64	3 018	1,25	0,8	—
Сероводород	H ₂ S	23,38	5 585	1,5392	0,650	1 900

При добыче нефти выделяется так называемый *попутный газ*, содержащий меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов и поэтому выделяющий при сгорании больше теплоты. Проблема полного его использования сейчас весьма актуальна.

К искусственным газам относят *доменный газ*, являющийся продуктом при выплавке чугуна на металлургических заводах; *коксовый*, образующийся при получении кокса в коксовых батареях; *светильный*, получаемый при сухой перегонке угля; *генераторный*, получаемый в газогенераторах.

Коксовый и доменный газ используют главным образом на месте в доменном и других цехах металлургического завода.

В табл. 1.6 представлены состав и теплота сгорания некоторых видов газообразного топлива.

Теплота сгорания топлива. Основной характеристикой топлива является так называемая теплота сгорания. *Теплотой сгорания* твердого и жидкого топлива называется количество тепла, кДж, выделяемое 1 кг топлива при полном его сгорании. Теплоту сгорания обозначают буквой Q и измеряют в килоджоулях на килограмм (кДж/кг) [в системе МКГСС в килокалориях на килограмм (ккал/кг)].

Теплоту сгорания газообразного топлива относят обычно к 1 м³, взятому при нормальных условиях (0 °С, 760 мм рт.ст.), и измеряют в килоджоулях на метр кубический (кДж/м³).

Таблица 1.6. Состав и теплота сгорания основных горючих газов

Газы	Состав сухого газа, % по объему								Низшая теплота сгорания газа $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$, МДж/м ³
	CH ₄	H ₂	CO	C _m H _n	O ₂	CO ₂	S	N ₂	
Природный	94,9	—	—	3,8	—	0,4	—	0,9	36,7
Коксовый (очищенный)	22,5	57,5	6,8	1,9	0,8	2,3	0,4	7,8	16,6
Доменный	0,3	2,7	28	—	—	10,2	0,3	58,5	4,0
Сжиженный (ориентировочно)	4	Пропан 79, этан 6, Н — изобутан 11							88,5

Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и условий его сжигания.

В соответствии с понятием органической, горючей и других масс топлива она может быть отнесена к той или другой из этих масс. Наибольший практический интерес представляет теплота сгорания рабочей массы топлива $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$.

Низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ рабочего топлива называют тепло, выделяемое при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом тепла, затраченного на испарение как влаги, содержащейся в топливе, так и влаги, образующейся от сгорания водорода.

Теплоту сгорания топлива определяют по формулам, учитывающим, что углерод С, водород Н и сера S, участвующие в горении, выделяют определенное количество тепла.

Для определения $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ используют формулу Д.И. Менделеева, которая дает достаточно точные результаты для самых разнообразных видов топлива.

Формула для определения $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, кДж/кг, твердого и жидкого топлива имеет вид

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 338 C^{\text{р}} + 1025 H^{\text{р}} - 108,5 (O^{\text{р}} - S_{\text{л}}^{\text{р}}) - 25 W^{\text{р}}, \quad (1.5)$$

где коэффициенты выражают теплоту сгорания отдельных горючих элементов, деленную на 100.

Низшую теплоту сгорания сухого газообразного топлива определяют как сумму произведений теплот сгорания горючих газов на их объемное содержание в смеси, кДж/м³:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 127 \text{CO} + 10 \text{H}_2 + 358 \text{CH}_4 + 591 \text{C}_2\text{H}_6 + 911 \text{C}_3\text{H}_8 + 234 \text{H}_2\text{S}. \quad (1.6)$$

Условное топливо. Большая разница в теплоте сгорания различных видов топлива затрудняет в некоторых случаях проведение сравнительных расчетов, например, при выявлении запасов топлива, при оценке целесообразности применения разных сортов топлива и пр. Поэтому принято понятие условного топлива. Условным называется такое топливо, теплота сгорания 1 кг или 1 м³ которого равна 29 330 кДж ($Q_{\text{усл}}$).

Для перевода действительного топлива в условное пользуются соотношением (безразмерным коэффициентом):

$$\mathcal{Q}_k = Q_H^p / 29\,330 \quad (\text{в системе МКГСС} — \mathcal{Q}_k = Q_H^p / 7000), \quad (1.7)$$

где \mathcal{Q}_k — калорийный эквивалент, указывающий какая часть теплоты сгорания условного топлива соответствует низшей теплоте сгорания рассматриваемого топлива (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Калорийные эквиваленты различных видов топлива

Вид топлива	Низшая теплота сгорания Q_H^p , кДж/кг	Калорийный эквивалент $\mathcal{Q}_k = Q_H^p / Q_{\text{усл}}$
Твердое топливо		
Дрова смешанные	12 580	0,43
Торф фрезерный	8 460	0,29
Бурый уголь (Подмосковный бассейн)	10 760	0,37
Бурый уголь (Назаровское месторождение)	13 020	0,44
Антрацит АШ (Донецкий бассейн)	24 240	0,83
Сланцы эстонские	10 340	0,35
Жидкое топливо		
Нефть сырая	43 000	1,47
Мазут М-100 (многосернистый)	40 030	1,37
Мазут М-100 (малосернистый)	40 820	1,39
Газообразное топливо*		
Природный газ	34 860	1,65
Доменный газ	3 770	0,1
Коксовый газ	18 000	1,21
Генераторный водяной	10 030	0,3
Сжиженный газ (технический пропан)	93 750	3,2

* Теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м³, при нормальных условиях.

Расход условного топлива

$$B_{\text{усл}} = B Q_H^p / Q_{\text{усл}}, \quad (1.8)$$

где B — расход рассматриваемого топлива; Q_H^p — теплота сгорания топлива.

1.2. Расчеты горения топлива

При тепловом расчете топливосжигающих установок (паровых и водогрейных котлов, промышленных огневых печей, двигателей внутреннего

сгорания), а также при обработке результатов их испытаний определяют следующие характеристики и величины:

- теоретический и действительный расходы воздуха V_0 и V_d , необходимые для сгорания 1 кг твердого и жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива;
- состав и объем продуктов сгорания V_r (дымовых газов);
- энтальпию дымовых газов при требующихся температурах и коэффициентах избытка воздуха T_r .

Для полного сгорания топлива требуется некоторый избыток воздуха против теоретического расхода. Избыток воздуха характеризуется так называемым коэффициентом избытка α_r (иногда называемым коэффициентом расхода воздуха). Он зависит от способа сжигания топлива, качества смесеобразования топлива с воздухом и ряда других факторов.

Коэффициент избытка воздуха представляет собой отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, т. е.

$$\alpha_r = V_d / V_0. \quad (1.9)$$

При полном сгорании дымовые газы (продукты сгорания) состоят из CO₂ и SO₂, получившихся при сгорании углерода и летучей серы, водяного пара, образующегося при испарении влаги топлива и сгорании его водорода, азота, подводимого в топку (камеру сгорания) с воздухом, и, наконец, кислорода, не использованного при горении.

Объем продуктов сгорания определяется по формуле

$$V_r = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}. \quad (1.10)$$

При проведении химического анализа дымовых газов содержание CO₂ и SO₂ определяется совместно, поэтому в расчетные формулы вводится сумма количества CO₂ и SO₂, обозначаемая символом RO₂, тогда

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} = V_{c.r} + V_{H_2O}. \quad (1.11)$$

где $V_{c.r}$ — объем сухих дымовых газов:

$$V_{c.r} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}. \quad (1.12)$$

В табл. 1.8 приведены расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания для твердых, жидких и газообразных видов топлива. В этих формулах C^p, H^p, ...; CO, H₂, CH₄, ... — содержание соответствующих элементов и компонентов в рабочем топливе, %; α_r — коэффициент избытка воздуха; d_b — влагосодержание сухого воздуха, г/м³ (обычно принимается 10 г/м³).

В случае отсутствия элементарного состава сжигаемого топлива при известном значении Q_H^p и W^p можно пользоваться эмпирическими формулами табл. 1.9.

Основой тепловых расчетов топливоиспользующих устройств является эн-

Таблица 1.8. Расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания при нормальных условиях

Определяемые величины	Для твердого и жидкого топлива, м ³ /кг	Для газообразного топлива, м ³ /м ³
Теоретически необходимое количество воздуха	$V_0 = [0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,2665H^p - 0,033O^p] \times (1 + 0,00124d_p)$	$V_0 = 0,0476[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum (m + n/4)C_mH_n - O_2](1 + 0,00124d_p)$
Действительное количество воздуха	$V_d = \alpha_t V_0$	
Количество продуктов полного сгорания	$V_{CO_2} = 0,0187 + C^p$; $V_{H_2O} = 0,112H^p + 0,00124W^p + 0,0124V_d d_p$; $V_{SO_2} = 0,07 S^p$; $V_{O_2} = 0,21(\alpha_t - 1)V_0$; $V_{N_2} = 0,008N^p + 0,79V_d$	$V_{CO_2} = (CO + CO_2 + CH_4 + \sum mC_mH_n)0,01$; $V_{H_2O} = (H_2 + H_2S + 2CH_4 + C_mH_n + 0,124V_d d_p)0,01$; $V_{SO_2} = 0,01 H_2S$; $V_{O_2} = 0,21 (\alpha_t + 1) V_0$; $V_{N_2} = (N_2 + 79V_d)0,01$
Состав продуктов сгорания, %	$V_r = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$ $CO_2 = (V_{CO_2} / V_r)100$ и т.д.	

Таблица 1.9. Эмпирические формулы для определения V_0 и V_r , м³/кг или м³/м³ при нормальных условиях

Топливо	Теоретически необходимое количество воздуха	Действительное количество продуктов сгорания
Дрова	$V_0 = 4,66(1 - W^p/1000)$	$V_r = 5,3 - 4,055W^p/1000 + (\alpha - 1)V_0$
Уголь	$V_0 = 0,24Q_H^p + 0,5$	$V_r = 0,21Q_H^p + 1,65 + (\alpha - 1)V_0$
Жидкое топливо	$V_0 = 0,2Q_H^p + 2$	$V_r = 0,265Q_H^p + (-1)V_0$
Газообразное топливо с $Q_H^p < 12$ МДж/м ³	$V_0 = 0,21Q_H^p$	$V_r = 0,17Q_H^p + 1 + (\alpha - 1)V_0$
То же с $Q_H^p > 12$ МДж/м ³	$V_0 = 0,26Q_H^p - 0,25$	$V_r = 0,27Q_H^p + 0,25 + (-1)V_0$
Коксоменная печь	$V_0 = 0,24Q_H^p - 0,2$	$V_r = 0,225 + 0,765 + (\alpha - 1)V_0$

Примечание: Q_H^p — в МДж/кг или МДж/м³ при нормальных условиях (1 ккал = 4,187 кДж).

тальпия продуктов сгорания, которую принято рассчитывать на единицу количества топлива, из которого получились эти продукты.

Энтальпия продуктов сгорания вычисляется как произведение их объема при нормальных условиях на объемную теплоемкость при постоянном давлении и на температуру, кДж/кг или кДж/м³:

$$I_{\Gamma} = V_{\Gamma} c_{\Gamma} t, \quad (1.13)$$

где t — температура, °C; V_{Γ} — полный объем продуктов сгорания, м³/кг или м³/м³, на единицу топлива; c_{Γ} — средняя в диапазоне температур $0-t$ °C теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг·°C) или кДж/(м³·°C).

Расчет энтальпии продуктов сгорания, кДж/кг или кДж/м³, производится по формуле

$$I_{\Gamma} = V_{\text{CO}_2} (c\vartheta)_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} (c\vartheta)_{\text{SO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}, \quad (1.14)$$

где V_{CO_2} , V_{SO_2} , $V_{\text{H}_2\text{O}}$, V_{N_2} , V_{O_2} — объемы продуктов полного сгорания, определяемые по табл. 1.8; $(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{SO}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$, $(c\vartheta)$ — энтальпии газов, определяемые по температуре (табл. 1.10).

Таблица 1.10. Энтальпия газов и воздуха при различных температурах и постоянном давлении 101 кН/м² (760 мм рт. ст.), кДж/м³

Температура, °C	$(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$	$(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$	Сухой воздух	$(c\vartheta)_{\text{N}_2}$	$(c\vartheta)_{\text{O}_2}$	$(c\vartheta)_{\text{H}_2}$	$(c\vartheta)_{\text{CO}}$	$(c\vartheta)_{\text{SO}_2}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	171	150	130	130	132,3	129,2	130,2	182
200	360,6	302,4	261,9	261,6	267,2	259,6	261,5	379,4
300	563,9	418,7	395,7	394,6	409,4	390,6	395,7	589,5
400	777,1	623,4	533	530,1	551,4	521,7	532,2	810,2
500	1001,1	600,2	672,4	667,8	699,6	654	671	1037,9
600	1236,4	964,3	814,7	389,4	850,8	785,9	802,2	1272,4
700	1475,1	1 143	959	950,9	1004,5	919,5	960,7	1510,7
800	1718,8	1328,9	1106,9	1098,7	1160,5	1086,9	1110,3	1751,8
900	1967,5	1 526,8	1259,4	1247,7	1320,2	1245,3	1261,1	1997,6
1000	2219,5	1721	1412,3	1399,3	1479,7	1330,2	1414,4	2243,8

Энтальпию I_{Γ} определяют для нескольких значений ϑ и α . На основании этих подсчетов строят кривые зависимости I_{Γ} от ϑ для нескольких α , по которым можно определить объемную энтальпию дымовых газов при заданных температуре и коэффициенте избытка воздуха.

Котельные установки

2.1. Общие сведения

Устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива, или теплоты, подводимой от посторонних источников (обычно с горячими газами), называют *котлами*. Котлы делятся соответственно на паровые и водогрейные. Котлы, использующие (т. е. утилизирующие) теплоту отходящих из печей газов или других основных или побочных продуктов различных технологических процессов, называют *котлами-утилизаторами*.

В состав котла входят: топка, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, каркас, обмуровка, тепловая изоляция, обшивка.

Вспомогательным оборудованием считают: тягодутьевые машины, устройства очистки поверхностей нагрева, топливоприготовление и топливоподачу, оборудование шлако- и золоудаления, золоулавливатель и другие газоочистительные устройства, газозащитопроводы, трубопроводы воды, пара и топлива, арматуру, гарнитуру, автоматику, приборы и устройства контроля и защиты, водоподготовительное оборудование и дымовую трубу.

К арматуре относят регулирующие и запорные устройства, предохранительные и водопробные клапаны, манометры, водоуказательные приборы. В гарнитуру входят лазы, гляделки, люки, шиберы, заслонки.

Здание, в котором располагаются котлы, называют *котельной*.

Комплекс устройств, включающий в себя котел и вспомогательное оборудование, называют *котельной установкой*. В зависимости от вида сжигаемого топлива и других условий некоторые из указанных элементов вспомогательного оборудования могут отсутствовать.

Котельные установки, снабжающие паром турбины тепловых электрических станций, называют *энергетическими*. Для снабжения паром производственных потребителей и отопления зданий создают специальные производственные и отопительные котельные установки.

Технологическая схема котельной установки с барабанным паровым котлом приведена на рис. 2.1.

Из рис. 2.1 видно, что *барабанный котел* состоит из топочной камеры и газоходов, барабана, поверхностей нагрева, находящихся под давлением

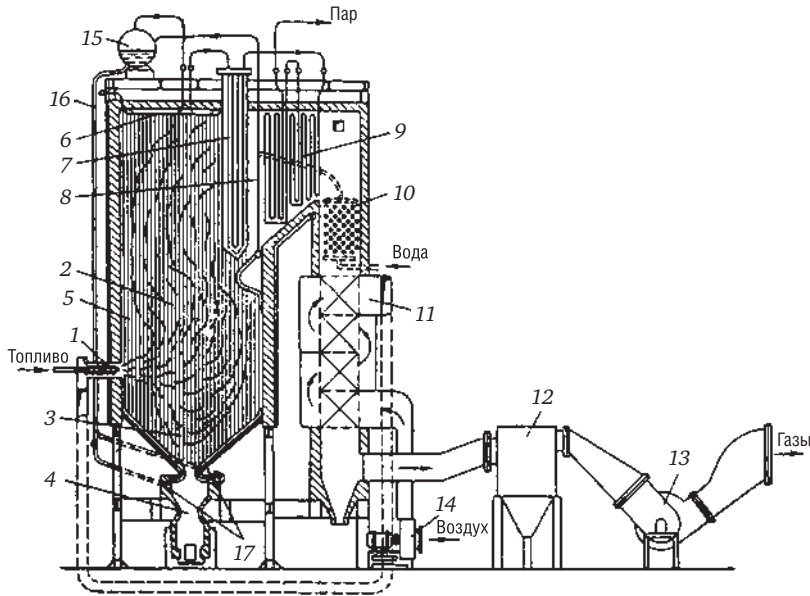


Рис. 2.1. Технологическая схема парового барабанного котла:

1 — горелки; 2 — топочная камера; 3 — холодная воронка; 4 — шлаковый комод; 5 — экран; 6 — радиационный потолочный пароперегреватель; 7 — ширмовой пароперегреватель; 8 — подвесные паропроводящие трубы; 9 — конвективный пароперегреватель; 10 — водяной экономайзер; 11 — воздухоподогреватель; 12 — золоуловитель; 13 — дымосос; 14 — дутьевой вентилятор; 15 — барабан; 16 — опускные трубы; 17 — нижние коллекторы экрана

рабочей среды (воды, пароводяной смеси, пара), воздухоподогревателя, соединительных трубопроводов и воздухопроводов. Поверхности нагрева, находящиеся под давлением, включают в себя водяной экономайзер, испарительные элементы, образованные в основном экранами топки и фестомом, и пароперегреватель. Все поверхности нагрева котла, в том числе и воздухоподогреватель, как правило, трубчатые. Лишь некоторые мощные паровые котлы имеют воздухоподогреватели иной конструкции.

Нижнюю трапециевидную часть топки котла называют холодной воронкой — в ней охлаждается выпадающий из факела частично спекшийся зольный остаток, который в виде шлака проваливается в специальное приемное устройство. Газомазутные котлы не имеют холодной воронки. Газоход, в котором расположены водяной экономайзер и воздухоподогреватель, называют конвективным (конвективная шахта), в нем теплота продуктов сгорания (уходящих топочных газов) передается воде и воздуху в основном конвекцией. Поверхности нагрева, встроенные в этот газоход и называемые хвостовыми, позволяют снизить температуру продуктов сгорания от 500—700 °С после пароперегревателя почти до 100 °С, т.е. полнее использовать теплоту сжигаемого топлива.

Вся трубная система и барабан котла поддерживаются каркасом, состоя-

щим из колонн и поперечных балок. Топка и газоходы защищены от наружных теплопотерь *обмуровкой* — слоем огнеупорных и изоляционных материалов. С наружной стороны обмуровки стенки котла имеют газоплотную обшивку стальным листом в целях предотвращения присосов в топку избыточного воздуха и выбивания наружу запыленных горячих продуктов сгорания, содержащих токсичные компоненты.

Параметрами паровых котлов (парогенераторов) являются давление p , МПа, температура t , °С, и количество (расход) пара D , т/ч или кг/с. Водогрейные котлы характеризуются теплопроизводительностью в киловаттах или мегаваттах (в системе МКГСС — в гигакалориях в час), температурой воды, °С, и давлением подогретой воды, МН/м² или кгс/см².

2.2. Паровые котлы предприятий

В промышленных котельных, снабжающих предприятия паром низкого давления (до 1,4 МПа), применяются паровые котлы, изготавливаемые отечественной промышленностью, производительностью до 50 т/ч. Котлы выпускаются для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива.

Основным типом паровых котлов малой производительности, широко распространенных в различных отраслях промышленности, в коммунальном и сельском хозяйстве (пар используется для технологических и

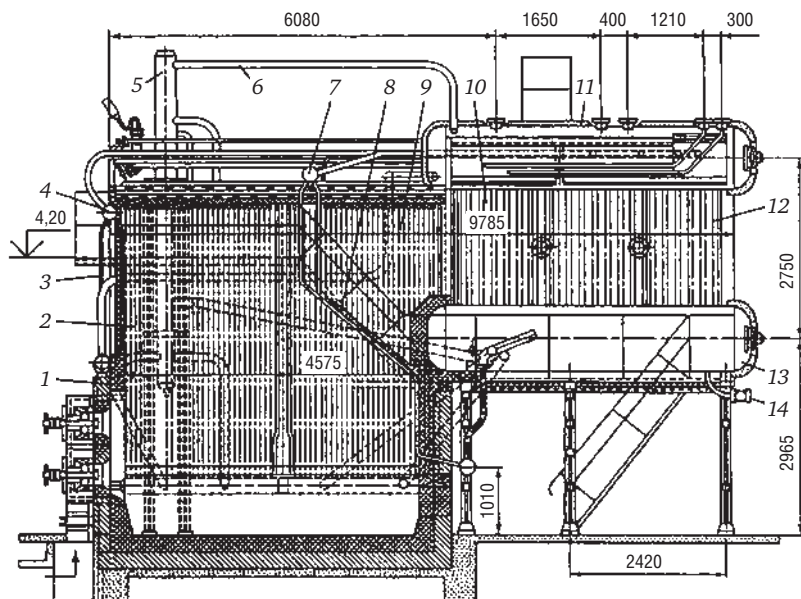


Рис. 2.2. Котел ДКВР-20 с топкой для сжигания газа и мазута в облегченной обмуровке: 1 — водоотводящие трубы; 2 — экранные трубы; 3 — циркуляционные трубы; 4, 7 — коллекторы; 5 — циклон; 6 — труба; 8 — перегородки; 9 — камера догорания; 10 — пароперегреватель; 11 — верхний барабан; 12 — пучок; 13 — нижний барабан; 14 — клапан

отопительно-вентиляционных нужд), а также на электростанциях малой мощности, являются вертикально-водотрубные котлы ДКВР (двухбарабанный вертикальный котел, реконструированный (рис. 2.2). Основные типоразмеры и параметры представлены в табл. 2.1.

Кроме котлов ДКВР для технологических нужд промышленных предприятий и в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в настоящее время получили широкое распространение газомазутные (паровые) котлы малой и средней мощности серии Е(ДЕ) и Е(ГМ), производительностью 4—25 т/ч, давлением насыщенного и перегретого пара 1,4—3,9 МПа, температурой 380—440 °С.

Общий вид котла Е(ГМ) представлен на рис. 2.3, а основные технические характеристики приведены в табл. 2.2.

В последние годы в промышленных котельных, в коммунальном хозяйстве и сельскохозяйственном производстве получили широкое распространение жаротурбинные стальные паровые котлы ВНР паропроизводительностью 140—5000 кг/ч и котлы SB/V паропроизводительностью 2000—20 000 кг/ч

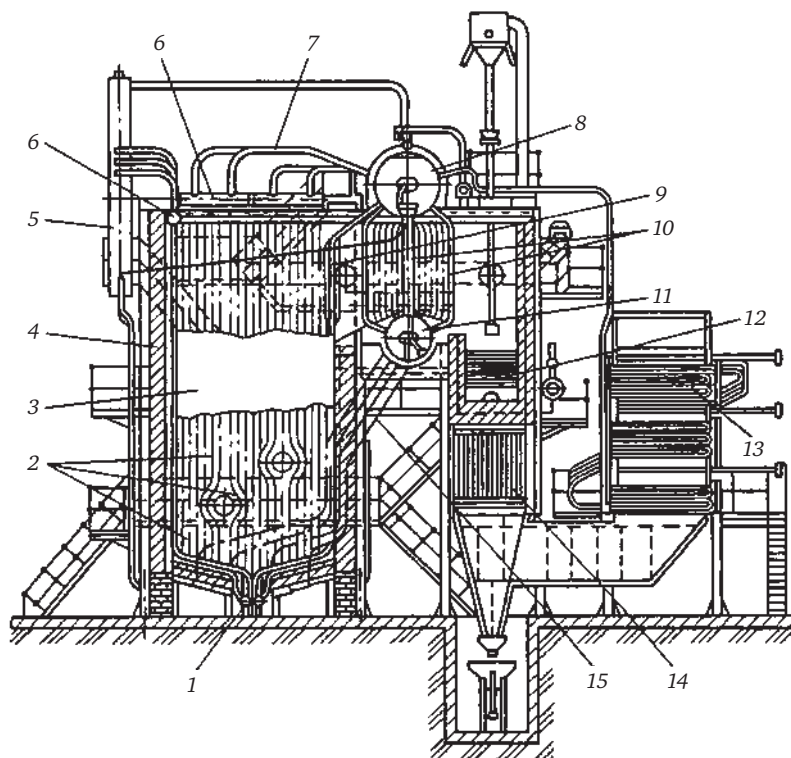


Рис. 2.3. Двухбарабанный паровой котел типа Е(ГМ):

1, 6 — нижний и верхний коллекторы; 2 — трубы топочных экранов; 3 — топочная камера; 4 — обмуровка; 5 — выносной циклон; 7 — отводящие трубы; 8 и 11 — верхний и нижний барабаны; 9 — фестон; 10 — трубы котельного пучка; 12 — пароперегреватель; 13 — экономайзер; 14 — воздухоподогреватель; 15 — опускные трубы

Таблица 2.1. Основные характеристики котлов ДКВР («Уралкотломаш») (на жидком и газообразном топливе)

Тип	Паропроизводительность, т/ч	Давление пара, МПа (кгс/м ²)	Температура, °С	КПД, % (газ/мазут)	Габариты, мм			Масса, кг
					длина	ширина	высота	
ДКВР-2,5-13	2,5	1,3 (13)	194	90/88,8	4120	3200	4343	7068
ДКВР-4-13	4	1,3 (13)	194	90/88,8	5410	3430	4345	7800
ДКВР-6,5-13	6,5	1,3 (13)	194	91/89,5	6520	3830	4345	12 200
ДКВР-10-13	10	1,3 (13)	194	91/89,5	6860	3830	6315	16 000
ДКВР-10-13	10	1,3 (13)	225	90/88	6860	3830	6315	17 000
ДКВР-10-23	10	2,3 (23)	220	91/89	6860	3830	6315	17 000
ДКВР-10-23	10	2,3 (23)	370	90/89	6860	3830	6315	18 300
ДКВР-10-39	10	3,9 (39)	247	89	7050	3450	6660	30 500
ДКВР-10-39	10	3,9 (39)	470	89	7050	3450	6660	32 700
ДКВР-20-13	20	1,3(13)	194	92/90	9775	3215	7660	43 700
ДКВР-20-13	20	1,3(13)	250	91/89	9775	3215	7660	44 400
ДКВР-20-23	20	2,3 (23)	370	91/89	9775	3215	7660	44 400

ОАО «Вентиляция, водоснабжение, теплоснабжение» (официальный представитель заводов-изготовителей). Общий вид котла ВНР представлен на рис. 2.4; основные технические характеристики приведены в табл. 2.3.

Краткое описание котла ВНР

Жаротурбинный двухходовой стальной паровой котел с тупиковой горизонтальной газоплотной топкой и периферийным пучком дымогарных труб со встроенными турбулизаторами выпускается паропроизводительностью от 140 до 5000 кг пара в час.

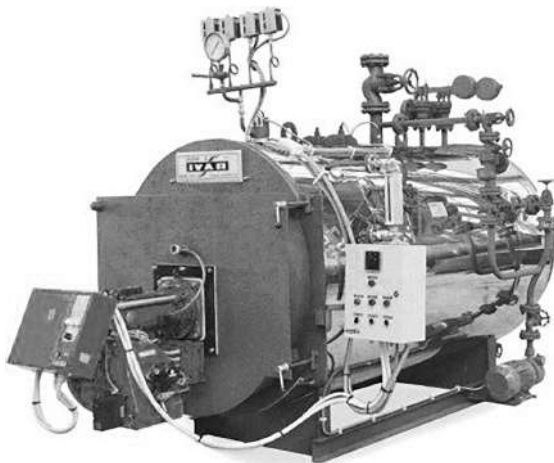


Рис. 2.4. Общий вид парового котла ВНР паропроизводительностью 140—5000 кг/ч

Таблица 2.2. Технические характеристики паровых газомазутных котлов типа Е(ГМ) паропроизводительностью 35—75 т/ч

Параметр	Е-35-ГМ (БГМ-35М)	Е-50-1,4ГМ (ГМ-50-14)	Е-50-1,4ГМ (ГМ-50-14/250)	Е-50-4,0ГМ (БМ-35РФ)	Е-50-4,0ГМ (ГМ-50-40)	Е-75-3,9ГМ (БКЗ-75-39ГМА)
	газ/мазут	газ	мазут	мазут	газ/мазут	газ/мазут
Номинальная производительность, т/ч	35/40	50	50	50	50	75
Давление пара, МПа (кгс/см ²)	4 (40)	1,4 (14)	1,4 (14)	4 (40)	4 (40)	4 (40)
Температура, °С: перегретого пара питательной воды уходящих газов	440	—	250	440	440	440
	145	100	100	145	145	145
	158/178	126	155	185	188/216	127/180
Расчетный КПД (брутто), %	90,8/90,7	92	91	90	89,6/88,2	92,4/90,36
Гарантийный КПД (брутто), %	—/88	—	90	89	87/86	—/89
Сопротивление газового тракта, кПа (кгс/м ²)	2,7 (270)	3,14 (314)	3,32 (332)	1,22 (122)	1,7 (170)	—/0,67
Сопротивление воздушного тракта, кПа (кгс/м ²)	2,92 (292)/ 2,93 (293)	3 (300)	3,15 (315)	3,09 (309)	3,16 (316)/ 3,2 (320)	3,26 (326)
Габариты котла, мм: высшая отметка ширина по осям колонн каркаса глубина по осям колонн каркаса	15180	14954	14954	15800	15570	19375
	5740	6320	6320	5310	5930	6810
	9850	14204	14204	12280	9778	9900
Масса котла в объеме заводской поставки, т	128	142	164	173,3	258	259

Окончание табл. 2.3

Параметр	Марка																
	140	200	300	400	500	700	800	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Диаметр присоединения, мм: паропроводов дренажа предохранительных клапанов	25	25	32	32	40	40	50	50	65	65	80	80	80	80	100	100	100
	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40
	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×25	2×32	2×32	2×32	2×32	2×32	2×40	2×40
	150	150	170	170	200	200	250	250	300	300	300	300	300	340	340	370	370
газохода	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	350	350	400	400	450	550
Минимальная длина эмиссионной трубы горелки, мм	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	350	350	350	350	350	370	450
	1150	1150	1450	1450	2200	2200	2550	2800	3300	3650	3900	4650	5500	6400	6850	8600	12500

* Теплота сгорания природного газа — 7950 ккал/м³ при нормальных условиях, жидкого топлива — 10200 ккал/кг.

Примечание. Рабочее давление — 1,2 МПа. Температура отходящих газов — 240 °С. Температура питательной воды — 70 °С, давление — 1,17 МПа.

Факел горелки, работающей под наддувом, формируется вдоль горизонтальной оси цилиндрической тупиковой топки от фронта котла, с возвратным движением к фронту и разворотом к периферийно расположенному в водяном объеме котла пучку жаровых труб конвективной поверхности теплообмена.

Продукты сгорания по жаровым трубам конвективной поверхности поступают в газосборный коллектор в задней части котла, оснащенный газоотводящим патрубком. Для интенсификации теплообмена все трубы конвективной поверхности оснащаются шнековыми турбулизаторами из нержавеющей стали.

Рабочее давление — 1,2 и 1,5 МПа (опрессовочное — 1,5 и 1,7 МПа).

Топливо — природный газ, дизельное топливо, топочный мазут.

Краткое описание котла SB/V

Общий вид котла SB/V показан на рис. 2.5; основные технические характеристики приведены в табл. 2.4.

Моноблочный стальной жаротурбинный паровой котел для получения насыщенного пара с трехходовым движением продуктов сгорания паропроизводительностью от 2000 до 20 000 кг/ч.

Факел горелки, работающей под наддувом, формируется вдоль горизонтальной топки от фронта котла. Удлиненная горизонтальная нереверсивная цилиндрическая топка пригодна для монтажа практически любых дутьевых горелок, в том числе и ротационных.

Первый конвективный пучок жаровых труб возвращает продукты сгорания к фронту котла, а третий ход осуществляется вторым конвективным пучком стальных труб, направляющим продукты сгорания к газосборному коллектору в задней части котла.



Рис. 2.5. Общий вид парового котла SB/V паропроизводительностью 2000—20 000 кг/ч

Таблица 2.4. Основные технические характеристики котлов SB/V

Параметр	Марка											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	18	20
КПД при номинальной мощности, %	1385	2077	2769	3462	4155	4847	5540	6923	8308	10468	12462	13850
	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	10000	12000	15000	18000	20000
	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
	169,5	256,2	336,6	420,9	505	589,1	673,5	841,6	1009,8	1272,5	1515	1683,8
	132,1	196,8	262,4	328,1	393,6	459,2	524,9	656	787,1	991,8	1180,8	1312,3
	650	750	800	860	950	1000	1000	1050	1150	1250	1530	1400
	2950	3400	3850	4300	4300	4450	4850	5450	5550	5706	6050	6600
	4680	6565	7520	8880	9325	10650	11960	15200	17550	19645	21450	23200
	5720	7910	9060	10700	11235	13270	14950	18900	21340	25350	27500	31000
	0,35	0,55	0,6	0,75	0,8	0,85	0,1	0,75	0,78	0,8	0,9	0,11
Аэродинамическое сопротивление, кПа												
	Диаметр присоединения, мм:											
	паропровода	65	100	100	125	125	125	150	150	200	200	200
	дренажа	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	предохранительного клапана	2×25	2×32	2×32	2×40	2×40	2×50	2×50	2×50	2×50	2×50	2×50
	горелки	150	150	170	170	200	200	250	300	300	300	300
	газохода	400	400	450	550	550	650	650	700	800	900	1100
	Минимальная длина эмиссионной трубы											
	горелки, мм	320	320	320	320	320	320	320	320	320	350	350
	Масса без воды, кг	7500	9700	11500	13700	15200	18300	21500	23600	32000	36000	38000

* Теплота сгорания природного газа — 7950 ккал/м³ при нормальных условиях, жидкого топлива — 10 200 ккал/кг.

Примечание. Рабочее давление — 1,2 и 1,5 МПа. Температура отходящих газов — 240 °С. Температура питательной воды — 70 °С, давление — 1,17 МПа.

Рабочее давление — 1,2 и 1,5 МПа (опрессовочное — 1,5 и 1,7 МПа).

Топливо — природный газ, дизельное топливо, мазут (возможно использование мазута М100 по отдельному запросу).

2.3. Водогрейные котлы

Для централизованного теплоснабжения крупных промышленных предприятий, городов и отдельных районов применяются стальные водогрейные котлы большой тепловой мощности.

Водогрейные котлы предназначены для получения горячей воды заданных параметров главным образом для отопления. Они работают по прямой схеме с постоянным расходом воды. Конечная температура нагрева определяется условиями поддержания стабильной температуры в жилых и рабочих помещениях, обогреваемых отопительными приборами, через которые и циркулирует вода, нагретая в водогрейном котле. Поэтому при постоянной поверхности отопительных приборов температуру воды, подаваемой в них, повышают при снижении температуры окружающей среды. Обычно воду тепловой сети в котлах подогревают от 70—104 до 150—170 °С. В последнее время имеется тенденция к повышению температуры подогрева воды до 180—200 °С.

Во избежание конденсации водяных паров из уходящих газов и связанной с этим наружной коррозии поверхностей нагрева температура воды на входе в агрегат должна быть выше точки росы для продуктов сгорания. В этом случае температура стенок труб в месте ввода воды также будет не ниже точки росы. Поэтому температура воды на входе не должна быть ниже 60 °С при работе котла на природном газе, 70 °С при работе на малосернистом мазуте и 110 °С при использовании высокосернистого мазута. Поскольку в теплосети вода может охлаждаться до температуры ниже 60 °С, перед входом в агрегат к ней подмешивается некоторое количество уже нагретой в котле (прямой) воды.

Наиболее широкое распространение получили газомазутные котлы типов КВГМ и ПТВМ.

Котлы типа КВГМ (рис. 2.6) тепловой мощностью 4; 6,5; 10; 20 и 30 Гкал/ч (4,8—35 МВт) имеют горизонтально расположенную топку и поверхности нагрева с прямоточным принудительным движением воды. Технические характеристики приведены в табл. 2.5.

Котлы типа ПТВМ теплопроизводительностью 30—180 Гкал/ч (35—210 МВт) выполняют с П-образной (рис. 2.7) и башенной (рис. 2.8) компоновкой. Водогрейные котлы ПТВМ-50, ПТВМ-100 и ПТВМ-180, выполняемые только с башенной компоновкой, имеют экранированную топку и расположенные над ней конвективные поверхности. Технические характеристики приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.5. Технические характеристики водогрейных котлов типа КВГМ

Параметр	КВГМ-10	КВГМ-20	КВГМ-30
Теплопроизводительность, ккал/ч	$10 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	1—2,5 (10—25)	1—2,5 (10—25)	1—2,5 (10—25)
Температура воды, °С:			
на входе	70	70	70
на выходе	150	150	150
Расход воды, т/ч	123,5	247	370
Гидравлическое сопротивление, кгс/см ²	1,5	2,3	1
Коэффициент полезного действия, %:			
на природном газе	91,8	91,5	91,8
сернистом мазуте	88,5	88,85	88,6
Температура уходящих газов, °С:			
на природном газе	185	190	195
сернистом мазуте	230	240	240
Расход топлива:			
на газе, м ³ /ч	1290	2580	3680
на мазуте, кг/ч	1200	2450	3870

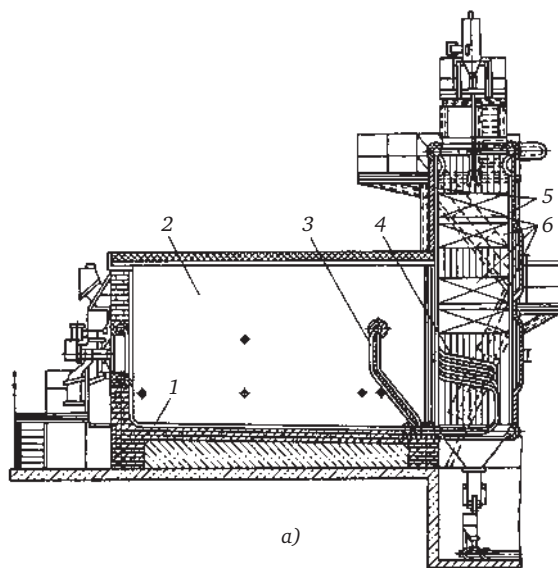


Рис. 2.6. Водогрейный котел КВГМ-20 (а) и схема его водяного тракта (б):

1, 3, 7 — подовофронтной, задний и боковые экраны; 2 — топка; 4 — фестон; 5 — экраны конвективной шахты; 6 — конвективные пучки; I, II — потоки воды

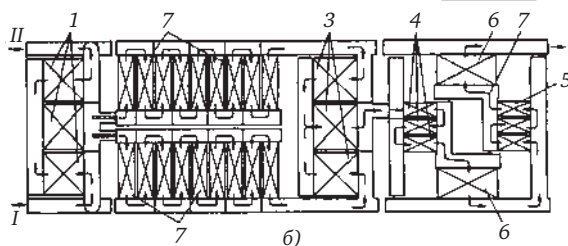


Таблица 2.6. Технические характеристики водогрейных котлов типа ПТВМ

Параметр	КВ-ГМ-30-150М (ПТВМ-30М)	ПТВМ-50	ПТВМ-100	ПТВМ-180
Теплопроизводительность, Гкал/ч (МВт)	30 (34,8)	50 (58,2)	100 (116,3)	180 (209)
Давление, МПа (кгс/см ²)	2,5 (25)	2,5 (25)	2,5 (25)	2,5 (25)
Температура воды, °С:				
на входе	104	104	104	110
в пиковом режиме	70	70	70	70
в основном режиме на выходе	150	150	150	150
Расход воды, т/ч:				
в пиковом режиме	495	1 250	2 140	4 420
основном режиме	375	618	1 235	2 210
Расчетный КПД котла (брутто), %, при работе:				
на газе	88,7	92,5	92,6	91,7
на мазуте	87,7	91,1	91,3	90,9
Компоновка котла	П-образная	Башенная		
Количество газомазутных горелок, шт.	6	12	16	20
Количество дутьевых вентиляторов и дымососов, шт.	2 вентилятора и 1 дымосос	12 вентиляторов	16 вентиляторов	20 вентиляторов
Габариты, мм:				
длина	5030	5160	6900	14400
ширина	4740	5180	5180	73002
высота	5140	13 500	14 450	29 000

Простейшая конфигурация котла и небольшое сопротивление конвективных пакетов позволили работать с естественной тягой, не требующей установки дымососов.

Для нужд отопления и горячего водоснабжения жилых, производственных и административных зданий применяются котлы стальные водогрейные КСВ ЗАО «Запсибгазпрома» (завод-изготовитель «Сибмет»).

Котел стальной водогрейный (КСВ) представляет собой трехходовой жаротрубнодымогарный котел, работающий с наддувом. Под избыточным давлением, обеспечиваемым вентилятором, подающийся для горения воздух, продукты сгорания отводятся из жаровой трубы через поворотную камеру в огневые трубы второго хода и далее через дымогонные трубы третьего хода в сажевую коробку, расположенную в задней части котла, откуда они поступают в дымовую трубу (рис. 2.9).

В качестве топлива можно использовать газ или мазут. Срок службы котла — 15 лет.

Основные технические данные котлов КСВ приведены в табл. 2.7 и 2.8.

В России на рынке котлов широкое распространение получили также водогрейные жаротрубные котлы ОАО «Дорогобужкотломаш».

Таблица 2.7. Технические характеристики котлов типа КСВ

Параметр	КСВ-0,2	КСВ-0,25	КСВ-0,4	КСВ-0,5	КСВ-1,0	КСВ-2,0	КСВ-3,0
Номинальная тепло-производительность, МВт (Гкал/ч)	0,2	0,25	0,4	0,5 (0,43)	1 (0,86)	2 (1,72)	3 (2,58)
Коэффициент полезного действия, %, не менее	91	91	92	92	91	92	92
Минимальная температура воды, °С:							
на входе	70	70	70	70	70	70	70
на выходе	115	115	115	115	115	115	115
Гидравлическое сопротивление, МПа (кгс/см ²)	0,007/0,07	0,01/0,1	0,015/0,15	0,019/0,19	0,01/0,1	0,01/0,1	0,01/0,1
Максимальное рабочее давление воды, МПа (кгс/см ²)	0,5/5	0,5/5	0,5/5	0,5/5	0,6/6	0,6/6	0,6/6
Расход топлива, (природный газ), м ³ /ч	22	27	44	55	110	220	330
Расход воды, м ³ /ч, не менее	4,6	5,75	9,2	11,5	19,08	32,4	52,2
Объем котла, м ³	0,25	0,28	0,6	0,7	3,5	5,31	7,6
Поверхность нагрева котла, м ²	5,66	6,72	10,8	12,2	37,57	68,69	96,26
Температура наружной поверхности кожуха (теплоизоляции), °С, не более	45	45	45	45	45	45	45
Исполнение котла (по стороне обслуживания)	Прав./лев.	Прав./лев.	Прав./лев.	Прав./лев.	Прав./лев.	Прав./лев.	Прав./лев.
Габариты, м, не более	1,54×0,8×1,16	1,74× 0,8×1,16	2,34×1×1,33	2,54×1×1,33	4,34×1,72×1,93	4,66×2,18×2,28	4,95×2,49×2,66
Масса котла, кг, не более	270	490	1 000	1 100	4 100	6 200	11 500
Категория размещения котла по ГОСТ 15150 — 69	3	3	3	3	3	3	3
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150 — 69	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4
Горелка типа	Р30	Р30	Р60	Р60	Р72	Р91	Р520

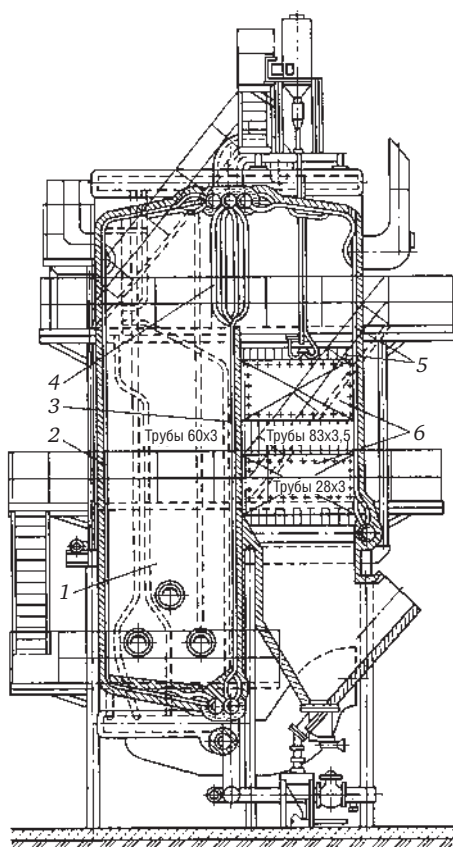


Рис. 2.7. Водогрейный котел ПТВМ-30М:
1 — топка; 2, 3 — фронтальной и задней экраны; 4 — фесстон; 5 — экраны конвективной шахты; 6 — ступени ширмовой конвективной поверхности

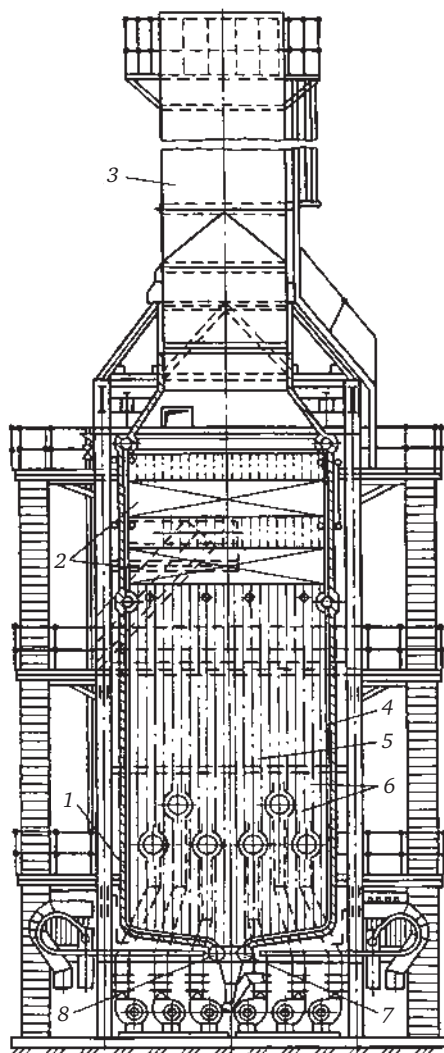


Рис. 2.8. Водогрейный котел ПТВМ-50:
1, 4, 6 — задний, фронтальной и боковые экраны; 2 — конвективные поверхности; 3 — дымовая труба; 5 — топка; 7 — нижний коллектор фронтальной экрана; 8 — нижний коллектор заднего экрана

На рис. 2.10 представлены конструктивные схемы водогрейных газомазутных автоматизированных котлов, которые предназначены для выработки горячей воды с температурой 150 °С, используемой для отопления, горячего водоснабжения и технологических целей.

На рис. 2.11 представлены конструктивные схемы жаротрубных и водотрубных котлов ОАО «Дорогобужкотломаш», в табл. 2.9 и 2.10 даны основные параметры и технические характеристики вышеуказанных котлов.

Таблица 2.8. Технологические и экологические характеристики котлов КСВ

Параметр	Фактическое значение	Нормированное значение по ГОСТ
Температура продуктов сгорания на выходе котла, °С	165	Пункты 1, 6 ГОСТ 10617—83 не менее 160
Содержание оксида углерода в сухих уходящих газах CO, мг/м ³	0	ГОСТ 10617—83 не более 130
Содержание оксидов азота в сухих уходящих газах NO _x , мг/м ³	127	ГОСТ 10617—83 не более 130
Содержание кислорода в сухих уходящих газах, %	2,7	Теоретическое значение 4,0
Содержание диоксидов углерода в сухих уходящих газах, %	10,4	Теоретическое значение 11,8 (при работе на газе)
Потери теплоты от химической неполноты сгорания на выходе топки, %	0	Пункты 1, 6, 4 ГОСТ 21204—97 не более 0,4

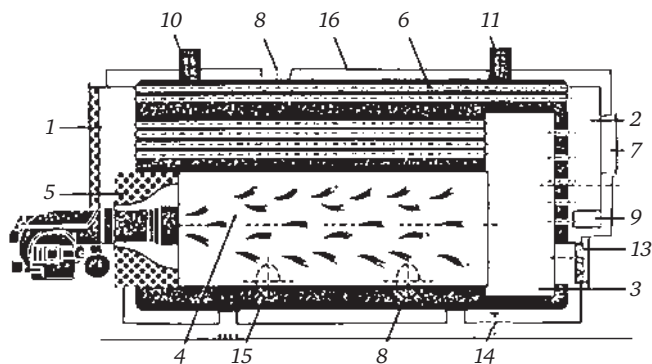


Рис. 2.9. Водогрейный котел КСВ:

1 — передняя крышка; 2 — сажевая коробка; 3 — поворотная камера; 4 — жаровая труба; 5 — горелочный конус с обмуровкой; 6 — дымогарные трубы; 7 — смотровой люк; 8 — смотровой люк; 9 — люк для очистки; 10 — прямой патрубок; 11 — обратный патрубок; 12 — патрубок дымохода; 13 — взрывной клапан; 14 — дренаж; 15 — основание; 16 — изоляция

Аналогичные водогрейные жаротрубные котлы для систем водяного отопления домов, коттеджей, производственных, торговых и складских помещений производит ЗАО «ЗИОСАБ», г. Подольск.

Основные характеристики и параметры даны в табл. 2. 11.

Водогрейные котлы «Турботерм»

В настоящее время все большее распространение получают водогрейные котлы с автоматизированным горелочным устройством и комплектом автоматики безопасности и управления (АБУ-1), поставляемые потребителю.

Котлы «Турботерм» изготавливаются в диапазоне мощностей от 110 до 5000 кВт. Котлы спроектированы в расчете на длительный срок эксплуатации (более 15 лет).

Таблица 2.9. Основные характеристики водогрейных котлов ОАО «Дорогобужкотломаш» тепловой мощностью от 0,05 до 7,56 МВт

Тип	Вид то- плива	Мощ- ность, МВт	Температура воды, °С		Расчетное давление воды на входе, МПа	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса металла котла, кг	Расход воды, т/ч	КПД, %
			на входе	на выходе					
КВ-ГМ-0,05-115Н (Дорогобуж-50) ^{*1}	г/д.т	0,055	70	115	0,6	1 302 ^{*6} ×750×935 ^{*2}	505 ^{*6}	1,11	91/90
КВ-ГМ-0,08-115Н (Дорогобуж-80) ^{*1}	г/д.т	0,08	70	115	0,6	1 412 ^{*6} ×750×935 ^{*2}	535 ^{*6}	1,6	91/90
КВ-ГМ-0,11-115Н (Дорогобуж-110) ^{*1}	г/д.т	0,11	70	115	0,6	1 552 ^{*6} ×750×935 ^{*2}	565 ^{*6}	2,22	91/90
КВ-ГМ-0,15-115Н (Дорогобуж-150) ^{*1}	г/д.т	0,15	70	115	0,4	2 132 ^{*6} ×930×1 242 ^{*2}	1 123 ^{*6}	3	93/91
КВ-ГМ-0,25-115Н (Дорогобуж-150) ^{*1}	г/д.т	0,25	70	115	0,4	2 132 ^{*6} ×930×1 242 ^{*2}	1 138 ^{*6}	5	93/91
КВ-ГМ-0,35-115Н (Дорогобуж-350) ^{*1}	г/д.т	0,35	70	115	0,4	2 634 ^{*6} ×1 040×1 387 ^{*2}	1 445 ^{*6}	6,7	93/91
КВ-ГМ-0,05-115Н (Дорогобуж-500) ^{*1}	г/д.т	0,5	70	115	0,4	2 634 ^{*6} ×1 040×1 387 ^{*2}	1 494 ^{*6}	9,6	93/91
КВ-ГМ-0,75-115Н (Дорогобуж-750) ^{*1}	г/д.т	0,75	70	115	0,6	3 120 ^{*6} ×1 250×1 509 ^{*2}	2 185 ^{*6}	14,4	93/91
КВ-ГМ-1,0-115Н (Дорогобуж-1000) ^{*1}	г/д.т	1	70	115	0,6	3 120 ^{*6} ×1 250×1 509 ^{*2}	2 295 ^{*6}	19,2	93/91
КВ-ГМ-2,32-115Н (Дорогобуж-2000) ^{*1}	г/д.т	2,32	70	115	0,6	3 560 ^{*6} ×1 684×2 023 ^{*2}	4 850 ^{*6}	44,4	93/91
КВ-ГМ-2,0-115Н (Днепр-2000) ^{*1}	г/м	2	70	115	0,6	4 870 ^{*6} ×1 960×2 530 ^{*2}	8 110 ^{*6}	38,2	92,7/92,4
КВ-Г-0,4-95Н ^{*1}	г	0,4	70	95	0,6	1 620 ^{*6} ×1 605 ^{*6} ×2 035	1 200 ^{*6}	14	91
КВ-Г-1,0-95Н ^{*1}	г	1	70	95	0,6	1 620 ^{*6} ×1 736 ^{*6} ×2 583	1 595 ^{*6}	35	91
КВ-Г-0,63-95Н ^{*4}	у	0,63	70	95	0,6	3 425×2 237×3 040	1 500	20	82

Окончание табл. 2.9

Тип	Вид топления	Мощность, МВт	Температура воды, °С		Расчетное давление воды на входе, МПа	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса металла котла, кг	Расход воды, т/ч	КПД, %
			на входе	на выходе					
КВ-Г-1,0-95Н ^{*4}	у	1	70	95	0,6	4 570×2 030×3 112	2 750 (3 919) ^{*5}	34,4	82,3
КВ-Г-1,16-95Н (ДКМ-1) ^{*1}	г/д.т	1,16	70	95	0,6	3 071 ^{*6} ×1 650×2 360	3 300 ^{*6}	40	89,5/87,6
КВ-Г-2,32-95Н (ДКМ-2) ^{*1}	г/д.т	2,32	70	95	0,6	4 198 ^{*6} ×1 650×2 462	4 280 ^{*6}	80	89,5/87,4
КВ-Г-3,48-95Н (ТГ-3-95) ^{*4}	г	3,48	70	95	0,6	4 198/3 745 ^{*3} ×3 371/2 100 ^{*3} ×3 670/2 500 ^{*3}	4 000/2 993 ^{*3}	120	90
КВ-Г-3,48-95Н (ДКМ-3) ^{*1}	г/д.т	3,48	70	95	0,6	4 571 ^{*6} ×1 728×2 462	6 215 ^{*6}	120	89,6/87,7
КВ-Г-4,65-95Н (ДКМ-4) ^{*1}	г	4,65	70	95	0,6	4 114 ^{*6} ×2 320×3 160	7 750	160	93,4
КВ-Г-7,56-95Н (ДКМ-6) ^{*1}	г	7,5	70	95	0,6	5 578 ^{*6} ×2 320×3 160	10 950	260	93
КВ-ГМ-4,65-150 ^{*4}	г/м	4,65	70	150	1,53	5 000/4 336 ^{*3} ×3 000/2 200 ^{*3} ×3 800/3 360 ^{*3}	7 870	49,5	92,2/86,3
КВ-ГМ-7,56-150 ^{*4}	г/м	7,5	70	150	1,53	6 500/5 872 ^{*3} ×3 100/2 200 ^{*3} ×3 800/3 360 ^{*3}	10 330	80	92,2/87
КВ-Р-4,65-150 ^{*4}	у	4,65	70	150	1,53	6 890×3 624×4 200	6 310	49,5	81,8
КВ-Р-7,56-150 ^{*4}	у	7,5	70	150	1,53	7 970×3 624×4 200	8 685	80	82,2

^{*1} Котлы поставляются в обмуровке, обшивке, с запорной арматурой в пределах котла.

^{*2} Высота без запорной арматуры.

^{*3} Габариты трубной системы котла.

^{*4} Стандартная поставка: трубная система в комплекте с запорной арматурой.

^{*5} Масса металла котла с колосниковой решеткой (в скобках с решеткой РПК-1).

^{*6} Параметры без горелки.

Условные обозначения: г — газ; м — мазут; у — уголь; д.т. — дизельное топливо.

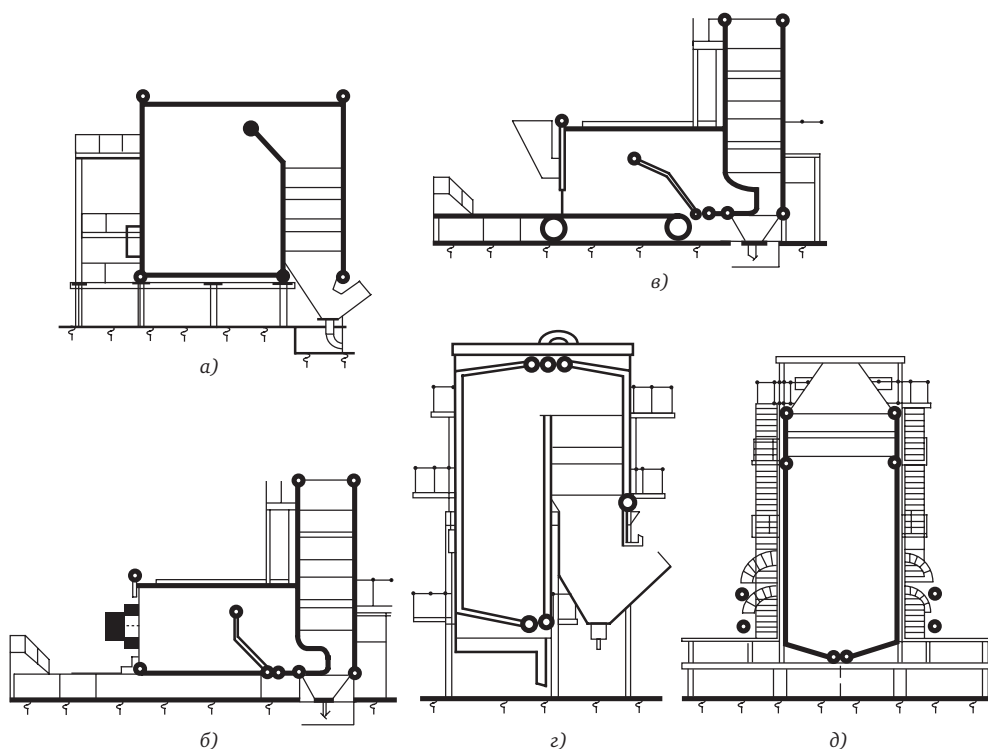


Рис. 2.10. Конструктивные схемы водогрейных газомазутных автоматизированных котлов ОАО «Дорогобужкотломаш»

Котлы сертифицированы в системе сертификации ГОСТ-Р, имеют сертификат соответствия № РОСС.RU.АЯ46.В18600, отвечают требованиям ГОСТ-Р и производятся серийно на заводе «Рэмэкс-Тепломаш» (г. Малоярославец) по ТУ 4931-001-32990435—96. Котлы «Турботерм» предназначены для замкнутых систем отопления и вентиляции, а также для систем горячего водоснабжения, рассчитаны на рабочее давление 0,6 МПа и температуру воды до 115 °С. Котлы работают под наддувом и предназначены для работы как на газообразном, так и на жидком топливе (включая мазутное) и обеспечивают нормируемые значения КПД по ГОСТ 10617—85.

Стальные водогрейные котлы марки «Турботерм» имеют горизонтальную реверсивную камеру сгорания с концентрическим расположением дымогарных труб. Для оптимизации тепловой нагрузки давления в камере сгорания и температуры отходящих газов дымогарные трубы оснащены турбулизаторами из нержавеющей стали (рис. 2.12). Современные теплоизолирующие материалы обеспечивают высокие теплотехнические характеристики котла.

Передняя крышка котла выполнена легкооткрывающейся на петлях. В зависимости от проекта петли крепятся справа или слева.

Таблица 2.10. Основные характеристики водогрейных котлов ОАО «Дорогобужкотломаш» тепловой мощностью от 11,63 до 209 МВт

Тип	Вид топления	Мощность, МВт	Температура воды, °С		Расчетное давление воды на входе, МПа	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса металла котла, кг	Расход воды, т/ч	КПД, %
			на входе	на выходе					
КВ-ГМ-11,63-150	г/м	11,63	70	150	2,5	9 372×5 000×7 975	18 400	123,5	92,5/89
КВ-Р-11,63-150	у	11,63	70	150	2,5	7 430/8 560*×5 210/5 465*×10 410/9 675*	16 000/ 19 500*	123,5	83,2
КВ-Д-11,63-150	д	11,63	70	150	2,5	12 600×6 600×10 500	31 700	123,5	80
КВ-ГМ-23,26-150	г/м	23,26	70	150	2,5	13 986×5 000×7 975	25 100	247	92,3/91
КВ-Р-23,26-150	у	23,26	70	150	2,5	10 860/12 730*×5 210/5 465*×10 410/9 675*	23 000/ 30 000*	247	83,1/83*
КВ-ГМ-35-150	г/м	35	70	150	2,5	16 180×5 000×7 975	32 400	370	91,8/90,4
КВ-Р-35-150	у	35	70	150	2,5	16 025/18 630*×5 335/5 335*×12 660/12 660*	49 000/ 66 000*	371	83,2/84,5*
КВ-ГМ-35-150 (ПТВМ-30М)	г/м	35	70	150	2,5	7 980×9 100×14 534	51 550	370	92,2/89,5
КВ-ГМ-58,2-150	г/м	58,2	70	150	2,5	10 575×10 000×14 315	92 000	618	94,3/92,7
КВ-ГМ-58,2-150С	г/м	58,2	70	150	2,5	12 300×10 300×16 490	110 000	618	92,56/91,69
КВ-Р-58,2-150	у	58,2	70	150	2,5	29 840×9 600×14 170	128 000	618	85,4
КВ-Ф-58,2-150	у	58,2	70	150	2,5	32 200×11 520×13 480	126 000	822,5	87
КВ-ГМ-69,8-150 (ПТВМ-60)	г/м	69,8	70	150	2,5	11 050×8 780×13 245	170 000	743	91,7
КВ-ГМ-116,3-150	г/м	116,3	70	150	2,5	14 680×9 850×14 365	135 000	1 235	93,2/91,8
КВ-ГМ-139,6-150 (ПТВМ-120)	г/м	140	70	150	2,5	11 350×10 700×17 750	168 000	1 320	92,3
КВ-ГМ-209-150 (ПТВМ-180)	г/м	209	70	150	2,5	12 000×17 336×15 600	273 000	3 680	91/90

* Вариант с воздухоподогревателем.

Условные обозначения: г — газ; м — мазут; у — уголь; д — деревоотходы.

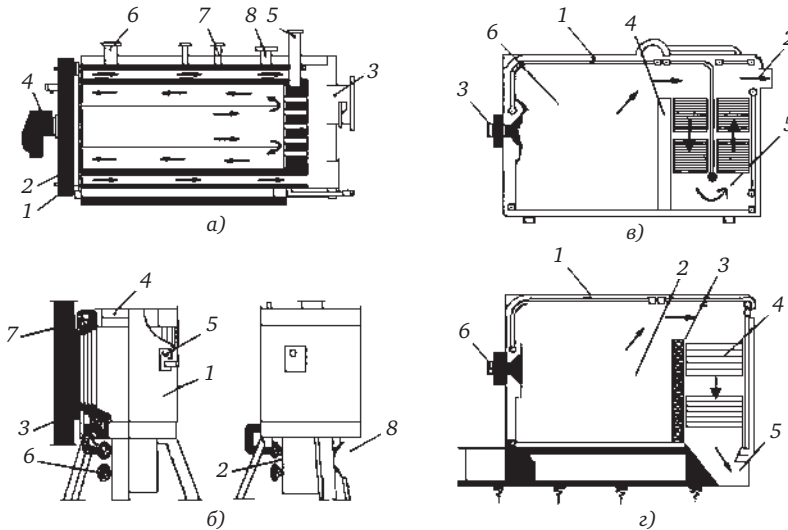


Рис. 2.11. Котлы водогрейные «Дорогобужкотломаш»:

а — жаротрубные КВ-ГМ-0,05 ÷ 2,32-115Н: 1 — корпус котла, 2 — камера поворотная, 3 — газоход с шибером, 4 — горелочное устройство, 5 — входной патрубок, 6 — выходной патрубок, 7 — патрубки предохранительных клапанов, 8 — смотровой лючок; *б* — водотрубные КВ-Г-0,4 ÷ 1,0-95 Н: 1 — корпус котла, 2 — топка циклонная, 3 — газоход, 4 — крышка, 5 — глазок, 6 — входной патрубок, 7 — выходной патрубок, 8 — патрубок установки горелки; *в* — водотрубные КВ-Г-1,16 ÷ 3,48-95 Н: 1 — корпус котла, 2 — газоход, 3 — горелочное устройство, 4 — кирпичная стенка, 5 — конвективный газоход, 6 — топка; *г* — водотрубные КВ-Г-4,65 ÷ 7,56-95 Н: 1 — корпус котла, 2 — топка, 3 — кирпичная стенка, 4 — конвективный газоход, 5 — газоход, 6 — горелочное устройство

Топка (камера сгорания) имеет реверсивную конструкцию. Специально разработанная геометрическая форма и большой объем топки способствуют полному сгоранию топлива и образованию отходящих газов с низким остаточным содержанием вредных веществ.

Конвективная часть включает в себя пучки дымогарных труб оптимального диаметра, закрепленных в трубных досках, которые обеспечивают низкое сопротивление течению топочных газов (от 50 до 600 Па в зависимости от типоразмера котла).

Задняя (каминная) часть котла имеет люк, который обеспечивает простую очистку газохода.

Технические параметры котлов «Турботерм» даны в табл. 2.12.

Водогрейные котлы Ygnis серии ST мощностью 430—9300 кВт

Это водогрейный моноблочный стальной жаротрубный котел с трехходовым движением продуктов сгорания для работы на природном газе, дизельном топливе или мазуте мощностью от 430 до 9300 кВт (рис. 2.13).

Факел горелки, работающей под наддувом, формируется вдоль горизонтальной топки от фронта котла.

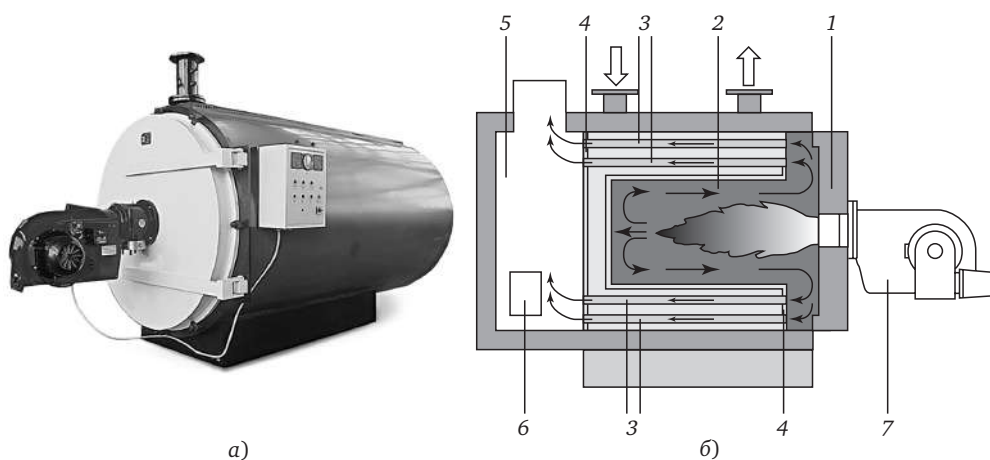


Рис. 2.12. Общий вид котла «Турботерм»:

а — общий вид; б — схема топки: 1 — передняя крышка, 2 — топка котла, 3 — дымогарные трубы, 4 — трубные доски, 5 — каминная часть котла, 6 — люк каминной части, 7 — горелочное устройство

Таблица 2.12. Основные характеристики и параметры котлов «Турботерм»

Тип	Мощность		КПД %	$P_{\text{раб}}$, МПа	$T_{\text{раб max}}$, °С	Масса без воды, кг	Габариты (Д×Ш×В), мм
	кВт	(ккал/ч) · 10 ³					
ТТ-110	110	94 600	92	0,6	115	480	1476×874×1172
ТТ-250	250	215 000	92	0,6	115	1055	2224×1058×1306
ТТ-400	400	344 000	92	0,6	115	1840	2744×1393×1656
ТТ-800	800	688 000	92	0,6	115	2626	3002×1495×1760
ТТ-1100	1 100	946 000	92	0,6	115	3324	3286×1695×1960
ТТ-1600	1 600	1 376 000	92	0,6	115	4974	3544×1999×2266
ТТ-2000	2 000	1 720 000	92	0,6	115	5858	3944×1999×2268
ТТ-3150	3 150	2 709 000	92	0,6	115	8 109	4624×2 145×2410
ТТ-5000	5 000	4 300 000	92	0,6	115	12 400	5710×2670×3020



Рис. 2.13. Общий вид водогрейного котла Ygnis

Удлиненная горизонтальная нереверсивная цилиндрическая топка пригодна для монтажа практически любых дутьевых горелок, в том числе и ротационных.

Первый конвективный пучок жаровых труб возвращает продукты сгорания к фронту котла, а третий ход осуществляется вторым конвективным пучком стальных труб, направляющим продукты сгорания к газосборному коллектору в задней части котла.

Рабочее давление — 0,4 МПа (опрессовка 0,6 МПа).

Регулируемая температура сетевой воды — 100 °С, максимальная — 110 °С.

Минимальная температура обратной воды 55 °С для природного газа, 50 °С для дизельного топлива.

Работает на газе, дизельном топливе, мазуте (возможно использование мазута М100 по отдельному запросу).

Основные технические характеристики и параметры котлов Ygnis серии ST мощностью 430—9300 кВт представлены в табл. 2.13 и 2.14.

Таблица 2.13. Основные технические характеристики котлов Ygnis серии ST мощностью 430—1060 кВт

Параметр	Марка					
	430	510	610	740	890	1060
Полезная мощность, кВт	430	510	610	740	890	1060
КПД при номинальной мощности, %	91	91	91	91	91	91
Рабочее давление, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Максимальное давление, МПа	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Максимальная температура котловой воды, °С	110	110	110	110	110	110
Температура уходящих газов, °С	220	220	220	220	220	220
Расход природного газа, м ³ /ч	54	63	75	91	111	131
Расход жидкого топлива, л/ч	46	54	65	79	95	113
Объем котловой воды (примерный), л	919	1230	1212	1377	1553	1653
Диаметр топки котла, мм	518	568	568	603	638	664
Длина топки котла, мм	1059	1354	1354	1354	1719	1934
Гидравлическое сопротивление, кПа:						
минимальное	14,5	15	25	25	33	47,5
максимальное	17,5	17,5	30	30	40	57
Аэродинамическое сопротивление, кПа:						
минимальное	0,3	0,35	0,4	0,55	0,65	0,75
максимальное	0,35	0,4	0,5	0,65	0,75	0,92
Длина эмиссионной трубы горелки, мм, не более	200	200	200	200	200	200
Диаметр амбразуры для присоединения горелки, мм	244	304	304	304	304	304
Масса без воды, кг	1046	1289	1320	1455	1671	1841

Таблица 2.14. Основные технические характеристики котлов Ygnis серии ST мощностью 1220—9300 кВт

Параметр	Марка														
	1220	1450	1740	2030	2330	2670	3025	3490	4070	4650	5230	5800	7000	8100	9300
Полезная мощность, кВт	1220	1450	1740	2030	2330	2670	3025	3490	4070	4650	5230	5800	7000	8100	9300
КПД при номинальной мощности, %	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Расход природного газа, м³/ч	152	180	217	252	288	331	376	433	505	577	638	719	869	1005	1155
Расход жидкого топлива, л/ч	130	154	185	217	247	284	321	371	432	494	555	616	713	861	1011
Объем котловой воды, л	2600	2620	3223	4006	4420	4668	5830	6071	10370	11970	12250	13790	17800	17230	19300
Диаметр топки котла, мм	690	740	740	788	800	800	888	800	988	1088	1138	1184	1184	1234	1284
Длина топки котла, мм	1944	2328	2644	2844	2844	3044	3044	3244	3484	2684	3984	3985	4454	4602	4602
Гидравлическое сопротивление, кПа:															
минимальное	2	2,95	1,8	1,55	2,2	2,8	3,25	1,8	2,35	3,1	1,95	2,3	3,35	2,75	3,6
максимальное	2,45	3,9	2,2	1,95	2,7	3,35	4,05	2,2	2,85	3,8	2,35	2,7	3,85	3,2	4,2
Аэродинамическое сопротивление, кПа:															
минимальное	0,5	0,55	0,6	0,6	0,6	0,65	0,65	0,7	0,95	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
максимальное	0,61	0,72	0,75	0,75	0,75	0,77	0,81	0,85	1,15	1,27	1,25	1,23	1,21	1,21	1,21
Длина эмиссионной трубы горелки, мм, не более	133	133	133	133	133	133	133	133	306	326	326	328	328	333	333
Диаметр присоединения горелки, мм	396	396	396	396	396	396	496	496	450	540	540	540	540	540	540
Масса без воды, кг	2399	3012	3522	3859	4452	5217	5626	6271	8246	9681	11015	12053	13774	15881	16883

2.4. Тепловой баланс котельного агрегата

Тепловой баланс парового котла заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат при сжигании топлива количеством теплоты Q_p^p , называемым *располагаемой теплотой*, и суммой использованной теплоты Q_1 и тепловых потерь. На основе теплового баланса находят КПД и расход топлива.

При установившемся режиме работы агрегата тепловой баланс для 1 кг твердого или жидкого топлива, или для 1 м³ газообразного сжигаемого топлива записывается следующим образом, кДж/кг или кДж/м³:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (2.1)$$

где Q_2 — потери теплоты с уходящими из агрегата газами; Q_3 — потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива; Q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива; Q_5 — потери теплоты в окружающую среду через внешнее ограждение котла; Q_6 — потери теплоты с физической теплотой шлака (рис. 2.14).

В расчетах используется уравнение теплового баланса, выраженное в процентах по отношению к располагаемой теплоте, принимаемой за 100 % ($Q_p^p = 100\%$):

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (2.2)$$

где $q_1 = Q_1 100 / Q_p^p$; $q_2 = Q_2 100 /$ и т.д.

Располагаемая теплота включает все виды теплоты, внесенной в топку вместе с топливом:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{ф.т} + Q_{в.вн} + Q_{ф}, \quad (2.3)$$

где $Q_{ф.т}$ — физическая теплота топлива, включая полученную при подсушке и подогреве; $Q_{в.вн}$ — теплота воздуха, полученная им при подогреве вне котла; $Q_{ф}$ — теплота, вносимая в топку с распыливающим форсуночным паром.

Тепловой баланс котельного агрегата составляют относительно некоторого температурного уровня или, другими словами, относительно некоторой отправной температуры. Если в качестве этой температуры принять температуру воздуха, поступающего в

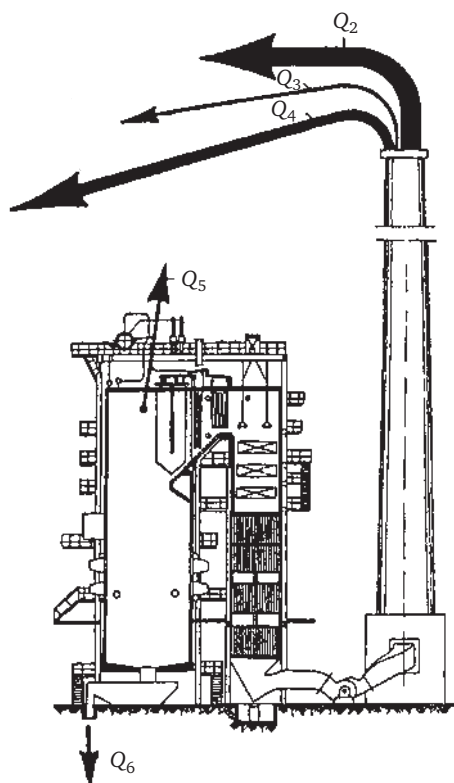


Рис. 2.14. Основные потери теплоты котельного агрегата

котельный агрегат без подогрева вне котла, не учитывать теплоту парового дутья в форсунках и исключить физическую теплоту топлива, так как она пренебрежимо мала по сравнению с теплотой сгорания топлива, то можно принять, кДж/кг или кДж/м³:

$$Q_p^p \approx Q_n^p.$$

Следует отметить, что в выражении (2.3) не учитывается теплота, вносимая в топку горячим воздухом собственно котла. Дело в том, что это же количество теплоты отдается продуктами сгорания воздуху в воздухоподогревателе в пределах котельного агрегата, т. е. осуществляется своего рода рециркуляция (возврат) теплоты.

Использованная теплота Q_1 воспринимается поверхностями нагрева в топочной камере котла и его конвективных газоходах, передается рабочему телу и расходуется на подогрев воды до температуры фазового перехода, испарение и перегрев пара. Количество использованной теплоты, приходящейся на 1 кг или 1 м³ сожженного топлива, подсчитывается как

$$Q_1 = \frac{D_1}{B}(i_{п.п} - i_{п.в}) + \frac{D_n}{B}(i'' - i_{п.в}) + \frac{D_{пп}}{B}(i' - i_{п.в}), \quad (2.4)$$

где B — расход топлива, кг/с или м³/с; $D_1, D_n, D_{пп}$ — производительность парового котла (расход перегретого, насыщенного пара), расход насыщенного пара на сторону, расход котловой воды на продувку соответственно, кг/с; $i_{п.п}, i'', i', i_{п.в}$ — энтальпия перегретого пара, насыщенного пара, воды на линии насыщения, питательной воды соответственно, кДж/кг.

При доле продувки $p = D_{пп}100/D_1 < 2\%$ и отсутствии расхода насыщенного пара формула (2.4) принимает вид

$$Q_1 = \frac{D_1}{B}(i_{п.п} - i_{п.в}). \quad (2.5)$$

Для котельных агрегатов, которые служат для получения горячей воды (водогрейные котлы),

$$Q_1 = \frac{G_v}{B}(i_2 - i_1), \quad (2.6)$$

где G_v — расход горячей воды, кг/с; i_1 и i_2 — удельные энтальпии воды, поступающей в котел и выходящей из него соответственно, кДж/кг.

В табл. 2.15—2.17 приведены необходимые для расчетов параметры пара, воды и воздуха.

Таблица 2.15. Насыщенный водяной пар (по давлению)

Абсолютное давление p , МПа	Температура насыщения t_s , °C	Удельный объем, м ³ /кг		Удельная энтальпия, кДж/кг	
		кипящей воды v' $\times 10^{-2}$	сухого насыщенного пара v''	кипящей воды i'	сухого насыщенного пара i''
0,001	6,98	0,10001	129,21	29,3	2 513,8
0,002	17,51	0,10012	67	73,4	2 533,2
0,003	24,1	0,10027	45,67	101	2 545,2
0,004	28,98	0,1004	34,8	121,4	2 554,1
0,005	32,9	0,10052	28,2	137,8	2 561,2
0,006	36,18	0,10064	23,74	151,7	2 567,1
0,007	39,02	0,10074	20,53	163,4	2 572,2
0,008	41,53	0,10084	18,11	173,9	2 576,7
0,009	43,79	0,10094	16,21	183,3	2 580,8
0,01	45,83	0,10102	14,68	191,8	2 584,4
0,015	54	0,1014	10	226	2 598,9
0,02	60,1	0,10172	7,65	251,5	2 609,6
0,025	65	0,10199	6,21	272	2 618,1
0,03	69,1	0,10223	5,23	289,3	2 625,3
0,04	75,9	0,10265	3,99	317,7	2 636,8
0,05	81,35	0,10301	3,24	340,6	2 646
0,06	86	0,10333	2,73	359,9	2 653,6
0,07	90	0,1036	2,37	376,8	2 660,2
0,08	93,5	0,1039	2,09	391,7	2 666
0,09	96,7	0,1041	1,87	405,2	2 671
0,1	99,6	0,1043	1,69	417,5	2 675,7
0,2	120,2	0,1061	0,89	504,7	2 707
0,3	133,5	0,1073	0,61	561,4	2 725,5
0,4	143,6	0,1084	0,46	604,7	2 738,5
0,5	151,9	0,1093	0,37	640	2 748,5
0,6	158,8	0,1101	0,32	670,4	2 756
0,7	165	0,1108	0,27	697	2 763
0,8	170,4	0,1115	0,24	721	2 768
0,9	175,4	0,1121	0,2	742,6	2 773
1	179,9	0,1127	0,19	762,6	2 777
1,1	184,1	0,1133	0,18	781	2 780
1,2	188	0,1139	0,16	798,4	2 783
1,3	191,6	0,1144	0,15	815	2 786
1,4	195	0,1149	0,14	830	2 788
1,5	198,3	0,1154	0,13	844,7	2 790

Окончание табл. 2.15

Абсолютное давление p , МПа	Температура насыщения t_s , °C	Удельный объем, м ³ /кг		Удельная энтальпия, кДж/кг	
		кипящей воды v' $\times 10^{-2}$	сухого насыщенного пара v''	кипящей воды i'	сухого насыщенного пара i''
1,6	201,4	0,1159	0,12	859	2 792
1,7	204	0,1163	0,12	872	2 794
1,8	207	0,1168	0,11	885	2 795
1,9	210	0,1172	0,1	897	2 796
2	212,4	0,1177	0,1	909	2 797
2,2	217	0,1185	0,09	931	2 799
2,4	221,8	0,1193	0,08	952	2 800
2,6	226	0,1201	0,08	972	2 801
2,8	230	0,1208	0,07	990	2 802
3	234	0,1216	0,07	1 008	2 802
3,2	237,4	0,1224	0,06	1 025	2 802
3,4	240,9	0,1231	0,06	1 042	2 801
3,6	244,2	0,1238	0,05	1 058	2 801
2,8	247,3	0,1245	0,05	1 073	2 800
4	250,3	0,1252	0,05	1 087	2 799
4,5	257,4	0,1269	0,04	1 122	2 796
5	263,9	0,1286	0,04	1 155	2 793
6	275,6	0,1319	0,03	1 214	2 783
7	285,8	0,1351	0,03	1 268	2 771
8	295	0,1384	0,02	1 317	2 757
9	303	0,1418	0,02	1 364	2 742
10	311	0,1453	0,02	1 409	2 724
11	318	0,1489	0,02	1 451	2 705
12	324,6	0,1527	0,01	1 493	2 685
13	330,8	0,1567	0,01	1 533	2 662
14	336,6	0,161	0,01	1 573	2 638
15	342	0,1658	0,01	1 612	2 612
16	347	0,171	0,009	1 651	2 583
17	352	0,1769	0,008	1 692	2 551
18	357	0,1838	0,007	1 733	2 514
19	361	0,1923	0,007	1 778	2 470
20	365,7	0,2038	0,006	1 829	2 414
21	370	0,2218	0,005	1 892	2 340
22	373,7	0,2675	0,004	2 008	2 192

Таблица 2.16. Относительная и абсолютная влажность воздуха

Температура, °C	Абсолютная влажность, г/м ³ , при относительной влажности, %								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	1	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,8
2	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5	5,6
4	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,1	5,7	6,4
6	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3
8	1,7	2,5	3,3	4,1	5	5,8	6,6	7,4	8,3
10	1,9	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	7,5	8,5	9,4
12	2,1	3,2	4,3	5,3	6,4	7,5	8,5	9,6	10,7
14	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,9	12,1
16	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,5	10,9	12,3	13,6
18	3,1	4,6	6,1	7,7	9,2	10,8	12,3	13,8	15,4
20	3,5	5,2	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3
22	3,9	5,8	7,8	9,7	11,7	13,6	15,5	17,5	19,4
24	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	19,6	21,8
26	4,9	7,3	9,7	12,2	14,6	17,1	19,5	21,9	24,4
28	5,4	8,2	10,9	13,6	16,3	19,1	21,8	24,5	27,2
30	6,1	9,1	12,1	15,2	18,2	21,3	24,3	27,3	30,4
32	6,8	10,1	13,5	16,9	20,3	23,7	27	30,4	33,8
34	7,5	11,3	15	18,8	22,5	26,3	30,1	33,8	37,6
36	8,3	12,5	16,7	20,9	25	29,2	33,4	37,5	41,7
38	9,2	13,9	18,5	23,1	27,7	32,4	37	41,6	46,2
40	10,2	15,3	20,5	25,6	30,7	35,8	40,9	46	51,1

Таблица 2.17. Основные физические параметры состояния воды

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Теплоемкость c , кДж/(кг·К)	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Вязкость		Температуропроводность $a \cdot 10^7$, м ² /с	Критерий Прандтля $Pr = \nu/a$
				динамическая $\eta \cdot 10^6$, Па·с	кинематическая $\nu \cdot 10^6$, м ² /с		
0	4,22	999,9	0,554	1975	1,795	1,314	13,66
10	4,2	999,7	0,577	1310	1,31	1,372	9,54
20	4,18	998,2	0,598	1010	1,01	1,429	7,07
30	4,18	995,7	0,616	800	0,804	1,478	5,44
40	4,18	992,2	0,633	653	0,659	1,522	4,33
50	4,19	988,1	0,646	550	0,556	1,558	3,57
60	4,19	983,2	0,657	470	0,478	1,592	3
70	4,2	977,8	0,663	407	0,416	1,615	2,68
80	4,21	971,8	0,67	357	0,367	1,639	2,24
90	4,22	965,3	0,677	317	0,328	1,668	1,97
100	4,23	958,4	0,682	284	0,296	1,682	1,76
120	4,26	943,4	0,686	233	0,246	1,705	1,44
140	4,3	926,4	0,686	196	0,212	1,722	1,23
160	4,33	907,5	0,683	174	0,192	1,734	1,11
180	4,42	887	0,674	154	0,174	1,72	1,01
200	4,51	865	0,666	140	0,162	1,7	0,95

2.5. Тепловые потери котла

Эффективность использования топлива определяется в основном полнотой сгорания топлива и глубиной охлаждения продуктов сгорания в паровом котле.

Потери теплоты с уходящими газами являются наибольшими и определяются как

$$Q_2 = (I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.v}^0)(100 - q_4), \quad (2.7)$$

где I_{yx} — энтальпия уходящих газов при температуре уходящих газов ν_{yx} и избытке воздуха в уходящих газах α_{yx} , кДж/кг или кДж/м³; $I_{x.v}^0$ — энтальпия холодного воздуха при температуре холодного воздуха $t_{x.v}$ и избытке воздуха α_{yx} ; $(100 - q_4)$ — доля сгоревшего топлива.

Для современных котлов значение q_2 находится в пределах 5—8% распадаемой теплоты, q_2 возрастает при увеличении ν_{yx} , α_{yx} и объема уходящих газов. Снижение ν_{yx} примерно на 14—15 °С приводит к уменьшению q_2 на 1 %.

В современных энергетических котельных агрегатах ν_{yx} составляет 100—120 °С, производственно-отопительных — 140—180 °С.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива — это теплота, которая осталась химически связанной в продуктах неполного сгорания:

$$Q_3 = (126,4CO + 108H_2 + 358,2CH_4) V_{c.g}(100 - q_4), \quad (2.8)$$

где CO, H₂, CH₄ — объемное содержание продуктов неполного сгорания по отношению к сухим газам, %; цифры перед CO, H₂, CH₄ — уменьшенная в 100 раз теплота сгорания 1 м³ соответствующего газа, кДж/м³.

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива — это теплота топлива, которая при камерном сжигании уносится продуктами сгорания в газоходы котла или остается в шлаке, а при слоевом сжигании и в провале через колосниковую решетку:

$$Q_4 = \left(a_{шл+пр} \frac{G_{шл+пр}}{100 - G_{шл+пр}} + a_{ун} \frac{G_{ун}}{100 - G_{ун}} \right) 32,7A^p, \quad (2.9)$$

где $G_{шл+пр}$, $G_{ун}$ — содержание горючих веществ соответственно в шлаке, провале, уносе, определяемое взвешиванием и дожиганием в лабораторных условиях проб шлака, провала, уноса, %;

$$a_{шл+пр} + a_{ун} = 1;$$

32,7 кДж/кг — теплота сгорания горючих в шлаке, провале, уносе по данным ВТИ; A^p — зольность рабочей массы топлива, %.

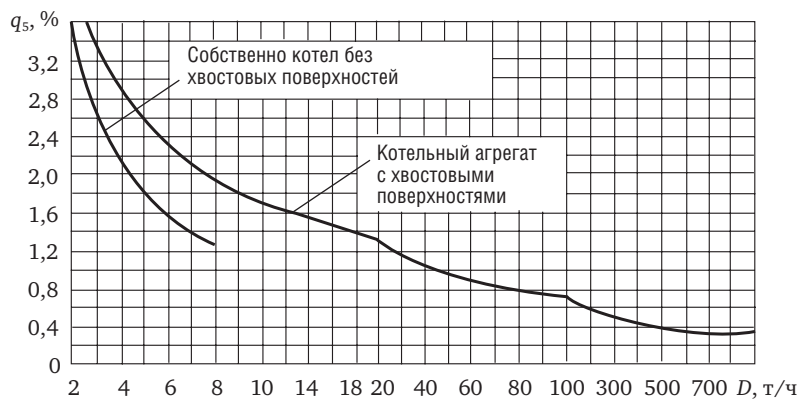


Рис. 2.15. Потери теплоты в окружающую среду от котельного агрегата

Значение q_4 зависит от метода сжигания и способа удаления шлака, а также от свойств топлива. При хорошо отлаженном процессе горения твердого топлива в камерных топках $q_4 \approx 0,3—0,6\%$ для топлива с большим выходом летучих веществ, для АШ $q_4 > 2\%$. При слоевом сжигании для каменных углей $q_4 = 3,5\%$ (из них 1 % приходится на потери со шлаком, а 2,5 % — на потери с уносом), для бурых $q_4 = 4\%$.

Потери теплоты в окружающую среду зависят от площади наружной поверхности агрегата и разности температур поверхности и окружающего воздуха. На рис. 2.15 приведены данные, которые показывают, что при росте номинальной нагрузки котла q_5 уменьшается.

Потери теплоты с физической теплотой шлака происходят за счет удаления из топki шлака, температура которого может быть достаточно высокой. В пылеугольных топках с твердым шлакоудалением температура шлака 600—700 °С, а с жидким 1500—1600 °С. Потери теплоты, кДж/кг, рассчитываются по формуле

$$Q_6 = a_{\text{шл}} \frac{A^p}{100} c_{\text{шл}} t_{\text{шл}}, \quad (2.10)$$

где $c_{\text{шл}}$ — теплоемкость шлака, зависящая от температуры шлака $t_{\text{шл}}$. Так, для 600 °С $c_{\text{шл}} = 0,93$ кДж/(кг·К), для 1600 °С — 1,172 кДж/(кг·К).

2.6. Определение коэффициента избытка воздуха в топке котла

Условием правильного ведения процесса горения топлива является поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха. По величине избытка воздуха можно определить, насколько совершенно ведется процесс.

При недостатке воздуха наблюдается неполное сгорание топлива с образованием угарного газа и потерей соответствующего количества тепла. При слишком большом избытке воздуха часть тепла бесполезно тратится на

нагрев избыточного воздуха. Поэтому, чтобы судить о работе топки, необходимо прежде всего знать, с каким коэффициентом избытка воздуха ведется процесс горения. Величину избытка воздуха в продуктах сгорания можно определить, если известен состав продуктов сгорания.

Коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания твердого, жидкого и газообразного топлива можно определить по следующей приближенной формуле:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}, \quad (2.11)$$

где O_2 — содержание кислорода в дымовых газах, %, найденное путем анализа.

В случае неполного сгорания топлива коэффициент избытка воздуха определяется из следующего уравнения:

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0,5CO)}, \quad (2.12)$$

где O_2 и CO — содержание кислорода и оксида углерода в дымовых газах, %.

Коэффициент избытка воздуха можно определить также по известному содержанию $CO_2 + SO_2 = RO_2$ в продуктах сгорания, %.

Наибольшее содержание RO_2 в продуктах сгорания будет в том случае, если процесс горения ведется с теоретически необходимым количеством воздуха, т. е. при $\alpha_T = 1$.

Для приближенных расчетов можно пользоваться значениями содержания RO_2 , %, в продуктах сгорания при сжигании различных видов топлива:

Древесина	Торф	Бурые угли	Каменные угли	Антрацит	Мазут	Природный газ	Кокс
20	19,4	19,3	19	20	15,6	13	20,9

Зная из анализа уходящих газов количество CO_2 , SO_2 и O_2 , содержащихся в дымовых газах, коэффициент избытка воздуха находят по формуле

$$\alpha = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2}. \quad (2.13)$$

О коэффициенте α можно судить по цвету пламени в топке или по цвету дыма. Слишком яркое пламя указывает на то, что процесс горения топлива ведется с большим избытком воздуха. Если в пламени наблюдаются темные языки, а из трубы выходит черный дым, это указывает на то, что процесс горения топлива ведется с недостатком воздуха.

Если количество воздуха, поступающего в топку, соответствует норме, то пламя будет иметь цвет соломы, а дым, выходящий из трубы, — светло-серый оттенок.

2.7. Коэффициент полезного действия и расход топлива

Совершенство тепловой работы парового котла оценивается коэффициентом полезного действия (КПД) брутто $\eta_k^{\text{бр}}$, %. По прямому балансу

$$\eta_k^{\text{бр}} = q_1 = \frac{Q_1 100}{Q_p^p} = \frac{Q_k}{Q_p^p B}, \quad (2.14)$$

где Q_k — теплота, полезно отданная котлу и выраженная через тепловосприятие поверхностей нагрева, кДж/с; B — расход топлива, кг/с или м³/с.

$$Q_k = D(i_{\text{п.п}} - i_{\text{п.в}}) + D_{\text{пр}}(i' - i_{\text{п.в}}) + Q_{\text{ст}}, \quad (2.15)$$

где $Q_{\text{ст}}$ — теплосодержание воды или воздуха, подогреваемых в котле и отдаваемых на сторону.

Теплота продувки учитывается только для $D_{\text{пр}} > 2\% D$.

Коэффициент полезного действия котла брутто, %, как правило рассчитывают по обратному балансу:

$$\eta_k^{\text{бр}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (2.16)$$

Метод прямого баланса менее точен в основном из-за трудностей при определении в эксплуатации больших масс расходуемого топлива. Тепловые потери определяются с большей точностью, и поэтому метод обратного баланса нашел преимущественное распространение при вычислении КПД.

Кроме КПД брутто используется и КПД нетто, показывающий эксплуатационное совершенство агрегата:

$$\eta_k^{\text{н}} = \eta_k^{\text{бр}} - q_{\text{с.н}}, \quad (2.17)$$

где $q_{\text{с.н}}$ — суммарный расход теплоты на собственные нужды котла, т.е. расход электрической энергии на привод вспомогательных механизмов (вентиляторов, насосов и т.п.), расход пара на обдувку и распыл мазута, подсчитанных в процентах располагаемой теплоты.

Из выражения (2.14) определяется расход подаваемого в топку топлива B , кг/с или м³/с:

$$B = Q_k \frac{100}{Q_p^p \eta_k^{\text{бр}}}. \quad (2.18)$$

Так как часть топлива теряется с механическим недожогом, то при всех расчетах объемов воздуха и продуктов сгорания, а также энтальпий исполь-

зуется расчетный расход топлива B_p , кг/с, учитывающий механическую неполноту сгорания:

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right). \quad (2.19)$$

Следует заметить, что при сжигании в котлах жидкого и газообразного видов топлива $Q_4 = 0$ и $Q_6 = 0$. Для ориентировочных расчетов в зависимости от вида топлива и способа его сжигания значения q_3 и q_4 можно принимать по табл. 2.18.

Таблица 2.18. Средние значения потерь тепла q_3 и q_4 для различных видов топлива

Тип топки	Топливо	Потери тепла, %	
		от химической неполноты сгорания, q_3	от механического недожога, q_4
Камерная	АШ	0	6
	Полуантрациты	0	4
	Тощие угли	0	2
	Каменные угли	0,5	2—3
	Бурые угли	0,5	1—2
	Фрезерный торф	0,5	1—2
	Мазут, природный газ	1	0
Слоевая	Антрацит	0,5	10
	Каменные угли	1	6
	Бурые угли	0,5—1	7

2.8. Естественная тяга котельных агрегатов

Естественная тяга (рис. 2.16) применяется в котельных агрегатах малой мощности, с общим сопротивлением газового тракта не более 25 мм вод ст.

Движущей силой при естественной тяге является разность давлений столбов холодного наружного воздуха, имеющего плотность ρ_v , кг/м³, и горючих газов, находящихся в дымовой трубе со средней плотностью ρ_r , кг/м³. Для обеспечения разности давлений необходимо, чтобы средняя температура дымовых газов была значительно выше температуры окружающего воздуха, тогда $\rho_v > \rho_r$ и, следовательно, давление воздуха с высотой столба H будет больше давления газа с этой же высотой.

Плотность воздуха и газов зависят от их температуры и барометрического давления и связаны соотношением

$$\rho = \rho_0 \frac{273}{273+t} \cdot \frac{B}{760}, \quad (2.20)$$

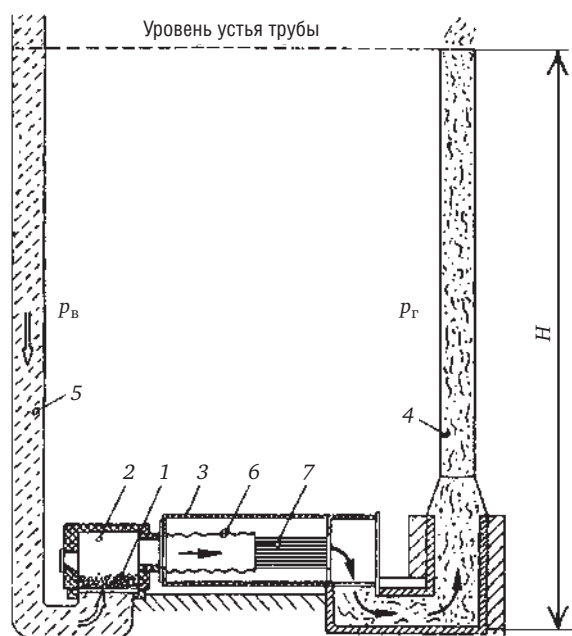


Рис. 2.16. Схема естественной тяги:

1 — колосниковая решетка; 2 — топка; 3 — котел; 4 — дымовая труба, давление дымовых газов (P_{Γ}); 5 — давление ($P_{\text{в}}$) столба наружного воздуха; 6 — жаровая труба; 7 — дымогарные трубы

где ρ_0 — плотность воздуха или газов при нормальных условиях (0°C и 760 мм рт.ст.), принимаемая по справочным данным (для воздуха $\rho_{\text{в}}^0 = 1,293\text{ кг/м}^3$); B — барометрическое давление, мм рт.ст.; $t_{\text{в}}$ — температура окружающего воздуха или средняя температура дымовых газов t_{Γ}^{cp} , находящихся в дымовой трубе, $^\circ\text{C}$.

Сила тяги, Н/м^2 , определяется по формуле:

$$\Delta S = gH \left(\frac{\rho_{\text{в}}^0}{273 + t_{\text{в}}} - \frac{\rho_{\Gamma}^0}{273 + t_{\Gamma}^{\text{cp}}} \right) 273 \cdot \frac{B}{760}, \quad (2.21)$$

где H — высота дымовой трубы, м.

Из уравнения (2.21) видно, что сила тяги тем больше, чем выше дымовая труба и температура уходящих газов и чем ниже температура окружающего воздуха.

Зная сопротивление газового тракта (определяемого обычно расчетным путем) и необходимую для его преодоления силу тяги ΔS , Н/м^2 , по уравнению (2.21) можно найти необходимую высоту дымовой трубы.

Для определения строительной высоты трубы необходимо взять запас в 30—50% на случай увеличения сопротивления по дымовому тракту вследствие загрязнения конвективных поверхностей нагрева.

Таблица 2.19. Физические параметры для дымовых газов (13% CO₂; 11% H₂O и 76% N₂) при давлении 101 кН/м² (760 мм рт.ст.)

Температура		Теплоемкость c_p		Теплопроводность $\lambda \cdot 10^2$		Температуро-проводность a		Плотность ρ , кг/м ³	Вязкость ν , м ² /с	Критерий Прандтля Pr
К	°C	кДж/(кг·град)	ккал/(кг·град)	Вт/(м·град)	ккал/(м·град)	10 ⁴ , м ² /с	10 ⁴ , м ² /ч			
273	0	1,041	0,249	2,28	1,96	0,169	6,08	1,295	12,2	0,72
373	100	1,068	0,255	3,02	2,69	0,308	11,1	0,95	21,54	0,69
473	200	1,096	0,262	4,02	3,45	0,489	17,6	0,748	32,8	0,67
573	300	1,121	0,268	4,85	4,16	0,698	25,16	0,617	45,81	0,65
673	400	1,15	0,275	5,71	4,9	0,941	33,94	0,525	60,38	0,64
773	500	1,183	0,283	6,56	5,64	1,21	43,61	0,457	76,3	0,63
873	600	1,212	0,29	7,44	6,38	1,51	54,32	0,405	93,61	0,62
973	700	1,239	0,296	8,29	7,11	1,84	66,17	0,363	112,1	0,61
1073	800	1,262	0,302	9,16	7,87	2,2	79,09	0,3295	131,8	0,6
1173	900	1,289	0,308	10,005	8,61	2,58	92,87	0,301	152,5	0,59
1273	1000	1,305	0,312	10,09	9,37	3,014	109,21	0,275	174,3	0,58
1373	1100	1,321	0,316	11,75	10,1	3,46	124,37	0,257	197,1	0,57
1473	1200	1,339	0,32	12,62	10,85	3,92	141,27	0,24	221	0,56

Сопротивление газового тракта складывается из сопротивления решетки, слоя топлива, газоходов котла (занятых трубами), пароперегревателя, хвостовых поверхностей нагрева и так называемых местных сопротивлений, создаваемых шиберами, резкими поворотами или сужениями и расширениями и т.д. В эксплуатационных условиях большое сопротивление газового тракта наблюдается при заносе газоходов и труб поверхностей нагрева золой или обвалившимся кирпичом при неисправности обмуровки.

Разрежение, создаваемое дымовой трубой или дымососом на протяжении газового тракта, неодинаковое: у основания трубы (при естественной тяге) и на всасе дымососа оно наибольшее, а в топочной камере наименьшее и составляет 2—3 мм вод.ст.

Необходимые параметры дымовых газов для расчета естественной тяги котельных агрегатов приведены в табл. 2.19.

Центробежные насосы и вентиляторы

3.1. Общие сведения

Нагнетателями называются машины, служащие для перемещения жидкости и газов и повышения их потенциальной и кинетической энергии.

Известно, что большинство современных технологических процессов связано с перемещением потоков жидких и газообразных сред и поэтому нагнетатели имеют очень широкое применение во всех отраслях промышленности, сельском и коммунальном хозяйствах.

В зависимости от вида перемещаемого рабочего тела нагнетательные машины подразделяются на две большие группы: *насосы* — машины, подающие жидкости; *вентиляторы* и *компрессоры* — машины, подающие воздух и технические газы.

Вентилятор — машина, перемещающая газовую среду при степени повышения давления $\epsilon_p < 1,15$ (ϵ_p — отношение давления газовой среды на выходе из машины к давлению ее на входе).

Компрессор — машина, сжимающая газ с $\epsilon_p \gg 1,15$ и имеющая искусственное (обычно водяное) охлаждение полостей, в которых происходит сжатие газов.

Согласно ГОСТ 17398—72, нагнетатели (насосы) подразделяются на две основные группы: *насосы динамические* и *объемные*.

В динамических нагнетателях передача энергии жидкости или газу происходит путем работы массовых сил потока в полости, постоянно соединенной с входом и выходом нагнетателя.

В объемных нагнетателях повышение энергии рабочего тела (жидкости или газа) достигается силовым воздействием твердых тел, например поршней в поршневых машинах в рабочем пространстве цилиндра, периодически соединяемых при помощи клапанов с входом и выходом нагнетателя.

Основными параметрами (величинами), характеризующими работу нагнетательных машин, являются подача (расход), давление и напор. Энергия, сообщаемая потоку жидкости или газа нагнетательной машиной, определяется указанными величинами и плотностью подаваемой среды. Гидродинамическое и механическое совершенство машины характеризуется ее полным КПД.

Подача (расход) — количество жидкости (газа), перемещаемое машиной в единицу времени. Количество газа, подаваемого вентилятором и компрессором, принято называть производительностью.

Если подачу измеряют в единицах объема, то ее называют объемной и обозначают Q . Системой СИ введена массовая подача M , кг/с, — масса жидкости (газа), подаваемая машиной в единицу времени. Очевидно, что

$$M = \rho Q, \quad (3.1)$$

где ρ — плотность среды кг/м³; Q — объемная подача, м³/с.

В компрессорах из-за значительного повышения давления плотность газа по длине проточной полости возрастает, а объемная производительность уменьшается, поэтому принято объемную производительность компрессоров исчислять по физическим условиям входа в компрессор: $T_{\text{вх}} = 293 \text{ К}$; $p_{\text{вх}} = 0,102 \text{ МПа}$; $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ (для воздуха).

Давление, развиваемое насосом, определяется уравнением сохранения энергии (уравнением Бернулли):

$$p = p_{\text{н}} - p_{\text{в}} + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2} \rho + \rho g(z_{\text{н}} - z_{\text{в}}), \quad (3.2)$$

где $p_{\text{н}}$, $p_{\text{в}}$ — соответственно давление жидкости на входе (начальное) и выходе из насоса (конечное), Па; ρ — плотность жидкости, подаваемой насосом, кг/м³; $v_{\text{н}}$, $v_{\text{в}}$ — средние скорости потока на входе и выходе, м/с; $z_{\text{н}}$, $z_{\text{в}}$ — высоты расположения центров входного и выходного сечений насоса, м.

Напором насоса H называется приращение энергии, получаемой каждым килограммом жидкости, проходящей через насос, т.е. разность удельных энергий жидкости между нагнетательным и всасывающим патрубками насоса; выражается в метрах столба перекачиваемой жидкости, уравновешивающего давление p (рис. 3.1):

$$H = E_{\text{н}} - E_{\text{в}} = \frac{p_{\text{н}} - p_{\text{в}}}{\rho g} + (z_{\text{н}} - z_{\text{в}}) + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g}. \quad (3.3)$$

В нагнетателях, подающих жидкости, влияние второго и третьего членов уравнения (3.3) незначительно, и можно пользоваться формулой

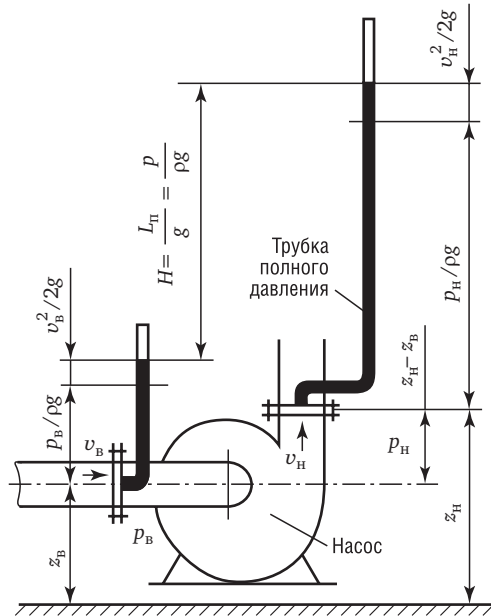


Рис. 3.1. Напор, развиваемый нагнетателем (насосом)

$$H \approx \frac{P_n - P_v}{\rho g} = \frac{P}{\rho g}. \quad (3.4)$$

Напор вентиляторов принято условно выражать в миллиметрах водяного столба. Давление, развиваемое вентиляторами, измеряется в паскалях. Следует иметь в виду, что напор в 1 мм эквивалентен давлению 9,81 Па.

Энергетическое совершенство нагнетателей характеризуется их *удельной полезной работой* L_n , Дж/кг, т. е. расходом энергии на 1 кг массы подаваемой жидкости (газа):

$$L_n = p/\rho = gH. \quad (3.5)$$

Работа, подводимая на вал нагнетателя, L_v , Дж/кг, называется *удельной работой*. Из-за потерь энергии в нагнетателе $L_v > L_n$.

Удельная работа компрессоров определяется видом термодинамического процесса, свойственного данному типу компрессора.

Полезная мощность нагнетателя — энергия, сообщаемая нагнетателем рабочему телу в 1 с, кВт, определяется соотношением:

$$N_n = \frac{ML_n}{1000} \quad \text{или} \quad N_n = \frac{\rho Q g H}{1000}. \quad (3.6)$$

В системе МКГСС, кВт

$$N_n = \frac{\gamma Q H}{102}, \quad (3.7)$$

где γ — удельный вес нагнетаемой среды, кгс/м³.

Для компрессоров, кВт

$$N_n = \frac{QL_n}{1000}. \quad (3.8)$$

Мощность, подводимую на вал нагнетателя от приводного двигателя, называют мощностью нагнетателя на валу N_v , кВт.

Коэффициентом полезного действия нагнетателя называют отношение полезной мощности к мощности на валу:

$$\eta = \frac{N_n}{N_v} \quad \text{или} \quad N_v = \frac{N_n}{\eta}, \quad (3.9)$$

Коэффициент полезного действия нагнетателя (насосов и вентиляторов) определяется как произведение трех коэффициентов, характеризующих отдельные виды потерь энергии в нагнетателе:

$$\eta = \eta_r \eta_{об} \eta_{мех}, \quad (3.10)$$

где η_r — гидравлический КПД — отношение полезной мощности к сумме мощностей — полезной и затрачиваемой на преодоление гидравлических

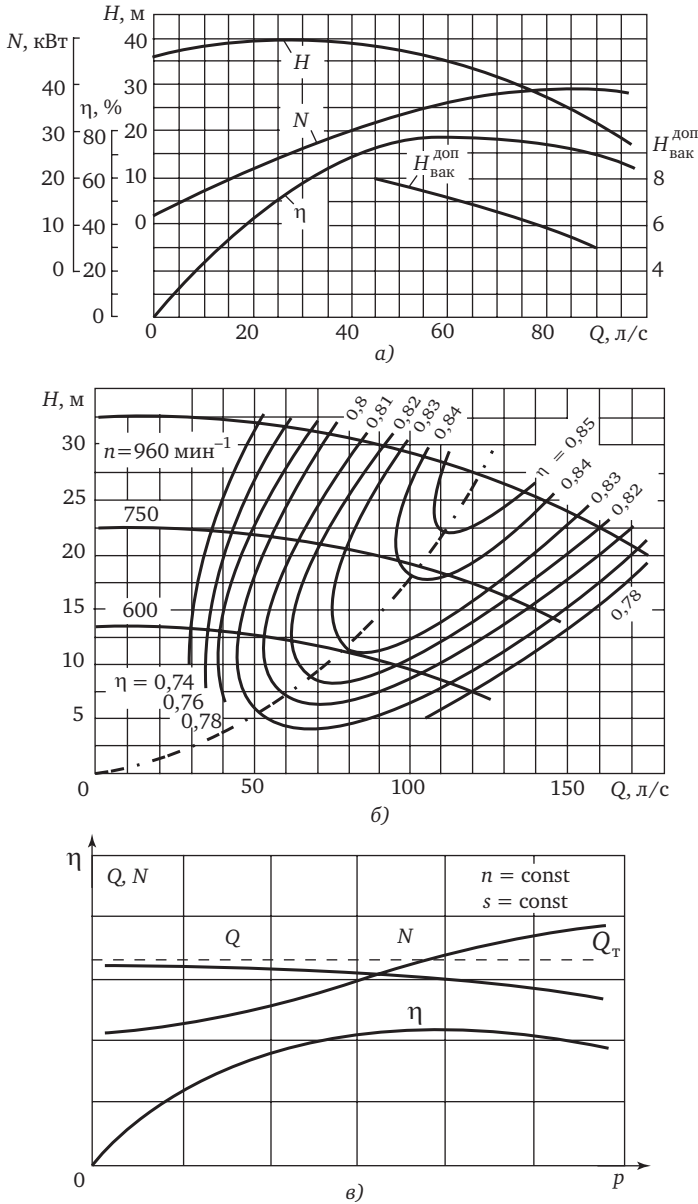


Рис. 3.2. Рабочие характеристики нагнетателей:

a — центробежный насос; b — центробежный насос при изменении числа оборотов; $в$ — поршневой насос

сопротивлений в насосе (обычно 0,9—0,96); $\eta_{\text{об}}$ — объемный КПД насоса — отношение полезной мощности к сумме мощностей — полезной и теряемой вследствие внутренних протечек через зазоры и концевые уплотнения насоса (в обычных конструкциях центробежных насосов 0,96—0,98); $\eta_{\text{мех}}$ —

механический КПД, характеризующий потери энергии от механического трения в подшипниках и уплотнениях насоса и потери энергии при трении нерабочих поверхностей колес о жидкость (в зависимости от конструкции насоса 0,8—0,94).

Значения КПД современных динамических центробежных насосов лежат в пределах 0,6—0,9.

Основными техническими параметрами, характеризующими работу насоса, как отмечалось ранее, являются: напор, подача, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия, частота вращения и высота всасывания насоса. Из указанных параметров насоса подача и частота вращения являются независимыми переменными, остальные параметры находятся в функциональной зависимости от подачи и частоты вращения насоса.

Взаимосвязь параметров в различных режимах работы насоса изображается графически в виде характеристик. Характеристики насоса обычно представляются в виде функциональных зависимостей напора, мощности, высоты всасывания и КПД от подачи насоса при одной или нескольких частотах вращения. Характеристики, представленные кривыми $H=f_1(Q)$, $N=f_2(Q)$, $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}=f_3(Q)$, $\eta=f_4(Q)$ при определении и постоянной частоте вращения ($n=\text{const}$), называются нормальными характеристиками насоса (рис. 3.2,а). Характеристики, представленные аналогичными кривыми H , N , $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$, $\eta=f(Q)$ для различных частот вращения, называются универсальными характеристиками насоса (рис. 3.2,б).

Для объемных нагнетателей (насосов) характеристиками называются зависимости основных параметров от давления (рис. 3.2,в).

При изменении частоты вращения центробежного (динамического) насоса и вентилятора основные параметры в соответствии с теорией подобия определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_1(n/n_1); \\ H &= H_1(n/n_1)^2; \\ N_{\Pi} &= N_{\Pi 1}(n/n_1)^3. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

3.2. Подобие центробежных машин. Формулы пропорциональности

Теория подобия машин. Движение жидкостей (газов) в проточной полости машины весьма сложно, и точный расчет рабочих элементов машины представляет большие трудности. Поэтому при проектировании насосов и компрессоров широко используют опытные данные, полученные при исследовании машин, аналогичных проектируемой. Однако использование этих опытных данных при проектировании допустимо лишь при соблюдении законов подобия.

В современном гидромашиностроении широко применяется метод моделирования, т.е. испытания моделей, позволяющий проверить проект и внести в него практические коррективы. Модели строят, как правило, с соблюдением законов подобия.

Физические явления, протекающие в геометрически подобных пространствах, называются *подобными*, если в соответствующих точках этих пространств сходственные физические величины находятся в постоянных соотношениях. Эти соотношения называются *коэффициентами*, или *масштабами подобия*.

Центробежные нагнетатели будут подобны, если соблюдается:

- *геометрическое подобие* этих машин, которое заключается в равенстве сходных углов и постоянстве сходных геометрических форм;
- *кинематическое подобие*, которое состоит в постоянстве отношений скоростей в сходных точках геометрически подобных машин и равенстве сходных углов параллелограммов скоростей;
- *динамическое подобие*, выражающееся постоянством отношений сил одинаковой природы, действующих в сходных точках геометрически и кинематически подобных машин.

На практике заводы, изготавливающие центробежные машины, обычно производят серии геометрически подобных машин, т.е. машин с одинаковой аэродинамической схемой (рис. 3.3). Соотношения между основными параметрами машин данной серии устанавливаются также на основании теории подобия нагнетателей с помощью формул пропорциональности, которые представлены в табл. 3.1.

Применяя формулы пропорциональности, можно принимать КПД машин, работающих в подобных режимах, практически одинаковыми.

При строгих расчетах необходимо иметь в виду некоторое повышение КПД при увеличении размеров машин. Однако не следует думать, что пересчет Q и N по формулам пропорциональности приводит к правильным результатам независимо от условий, в которых работает центробежная

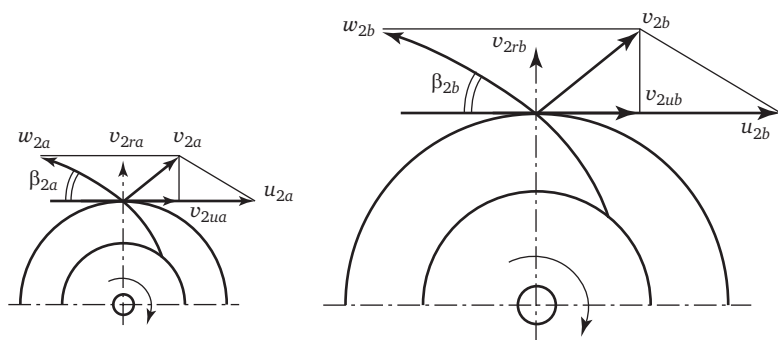


Рис. 3.3. Пример параллелограммов скоростей двух подобных центробежных машин (соответственно обозначены индексами a и b)

Таблица 3.1. Формулы пропорциональности для параметров Q , H , P , N

При изменении			
n	D_2	ρ	n, D_2 и ρ
$Q_a = Q_b \frac{n_a}{n_b}$	$Q_a = Q_b \frac{D_{2a}^3}{D_{2b}^3}$	$Q_a = Q_b$	$Q_a = Q_b \frac{D_{2a}^3}{D_{2b}^3} \frac{n_a}{n_b} \frac{\eta_{oa}}{\eta_{ob}}$
$Q_a = Q_b \frac{n_a}{n_b}$	$H_a = H_b \frac{D_{2a}^2}{D_{2b}^2}$	$H_a = H_b$	$H_a = H_b \frac{D_{2a}^2}{D_{2b}^2} \frac{n_a^2}{n_b^2} \frac{\eta_{ra}}{\eta_{rb}}$
$P_a = P_b \frac{n_a^2}{n_b^2}$	$P_a = P_b \frac{D_{2a}^2}{D_{2b}^2}$	$P_a = P_b \frac{\rho_a}{\rho_b}$	$P_a = P_b \frac{\rho_a}{\rho_b} \frac{D_{2a}^2}{D_{2b}^2} \frac{n_a^2}{n_b^2} \frac{\eta_{ra}}{\eta_{rb}}$
$N_a = N_b \frac{n_a^3}{n_b^3}$	$N_a = N_b \frac{D_{2a}^5}{D_{2b}^5}$	$N_a = N_b \frac{\rho_a}{\rho_b}$	$N_a = N_b \frac{\rho_a}{\rho_b} \frac{D_{2a}^5}{D_{2b}^5} \frac{n_b}{n_a}$

Примечание. η_o — объемный КПД (0,9—0,95); η_r — гидравлический КПД (0,81—0,9).

машина. Работа машины определяется также свойствами трубопроводной системы, подключенной к ней, поэтому определение основных параметров Q , N и H машины, включенной в трубопроводную систему, должно производиться с учетом рабочих свойств последней.

Коэффициент быстроходности. Очевидно, что одни и те же значения подачи и напора могут быть получены в нагнетателях с различной частотой вращения. Естественно, что конструкция рабочих колес и всех элементов проточной части центробежного нагнетателя, равно как и их размеры, при этом меняется. Для сравнения лопастных насосов различных типов пользуются коэффициентом быстроходности, объединяя группы рабочих колес по принципу их геометрического и кинематического подобия.

Коэффициентом быстроходности (удельной частотой вращения) n' называется частота вращения вала нагнетателя, геометрически подобного данному, но имеющего подачу $Q' = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, удельную работу $L' = gH' = 1 \text{ Дж/кг}$ и развивающему напор $H' = 0,102 \text{ м}$ в режиме максимального КПД. Решая уравнения из соотношения формул пропорциональности, получим:

$$n' = n \frac{\sqrt{Q}}{gH^{3/4}}. \quad (3.12)$$

Численные значения удельной частоты вращения для подобных нагнетателей одинаковы, поэтому n' является характеристическим коэффициентом для геометрически подобных нагнетателей, выпускаемых заводом.

В практике насосостроения до настоящего времени употребляется понятие коэффициента быстроходности n_s , как размерной величины, отнесенной к единичным величинам $H' = 1 \text{ м}$ и $N' = 1 \text{ л.с.} = 0,736 \text{ кВт}$.

Из условия подобия получим:

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}. \quad (3.13)$$

Коэффициенты быстроходности определяются величинами n , Q , H и при заданном значении n в процессе регулирования подачи могут принимать значения от 0 до ∞ .

Для характеристики нагнетателя вычисляют его коэффициент быстроходности по значениям n , Q , H , относящимся к режиму с максимальным КПД.

Коэффициент быстроходности n_s , для различных типов насосов имеет следующие значения:

Ротационные и поршневые, не более40
Вихревые10—40
Центробежные40—300
Диагональные300—600
Осевые600—1200

При помощи коэффициента быстроходности, вычисленного по формуле (3.13), можно выбирать тип нагнетательной машины для работы с заданными параметрами n , Q , H .

Для оценки конструктивного типа вентиляторов ЦАГИ предложил полагать в качестве коэффициента быстроходности частоту вращения вентилятора данного типа, обеспечивающего в режиме максимального КПД подачу газа $Q' = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ при условном давлении $p' = 30 \text{ кг/м}^2$.

Используя условия подобия, получим

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (3.14)$$

где H — напор, м, при плотности $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Следует обратить внимание на то, что коэффициент быстроходности пропорционален частоте вращения насоса n . Повышение частоты вращения, как правило, ведет к уменьшению размеров и массы насоса и приводного двигателя. Таким образом, повышение коэффициента быстроходности насоса при заданных значениях подачи и напора экономически выгодно.

3.3. Регулирование подачи (расхода) центробежных насосов и вентиляторов

Требуемую подачу при эксплуатации можно обеспечить изменением числа работающих машин (ступенчатое регулирование), воздействием на характеристику нагнетателя и на характеристику сети.

При длительном изменении нагрузки меняют число параллельно включенных насосов. На рис. 3.4,а представлена суммарная характеристика $H = f(Q_{I+II})$ при параллельном включении двух насосов на общую сеть. Точ-

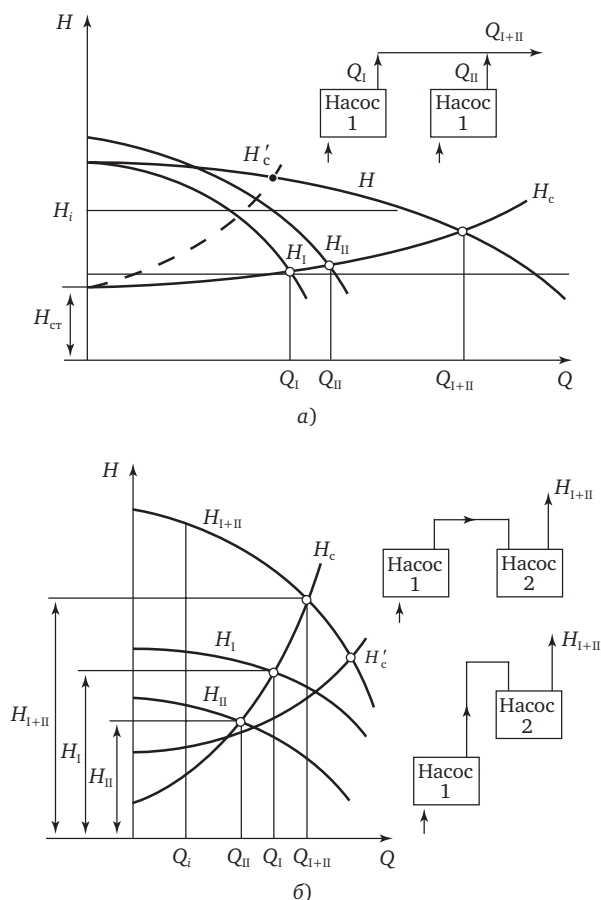


Рис. 3.4. Последовательное (а) и параллельное (б) соединение центробежных нагнетателей (насосов)

ка пересечения общей характеристики с характеристикой сети H_c определяет рабочую точку параллельно работающим насосам. Очевидно, что $Q_{I+II} < Q_I + Q_{II}$, т.е. суммарный расход параллельно работающим насосам меньше суммы расходов каждого насоса в отдельности на ту же сеть.

Параллельное соединение насосов наиболее эффективно при пологой характеристике общей сети, что подтверждается сравнением расходов в сети H_c и H'_c .

На рис. 3.4,б показана суммарная характеристика $H_{I+II} = f(Q)$ при последовательном включении двух насосов на ту же сеть. Это соединение насосов применяется для повышения напора, развиваемого установкой в целом.

Очевидно, что $H_{I+II} < H_I + H_{II}$, т.е. суммарный напор последовательно соединенных насосов меньше суммы напоров каждого насоса при индивидуальной работе на ту же сеть. Последовательное соединение насосов наиболее эффективно при круговой характеристике сети, что подтверждается

Таблица 3.2. Технические параметры преобразователей частоты
Siemens Micromaster 440 Vector при $U = 380 \text{ В} \pm 10\%$

Марка	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Габариты (Ш×В×Г), мм
MM37/3	0,37	1,2	73×173×149
MM55/3	0,55	1,6	73×173×149
MM75/3	0,75	2,1	73×173×149
MM110/3	1,1	3	73×173×149
MM150/3	1,5	4	73×173×149
MM220/3	2,2	5,9	149×202×172
MM300/3	3	7,7	149×202×172
MM400/3	4	10,2	149×202×172
MM550/3	5,5	13,2	185×245×195
MM750/3	7,5	18,4	185×245×195
MM1100/3	11	26	185×245×195
MM1500/3	15	32	275×520×245
MM1850/3	18,5	38	275×520×245
MM2200/3	22	45	275×520×245
MM3000/3	30	62	275×520×245
MM3700/3	37	75	275×520×245
MM4500/3	45	90	350×1150×320
MM5500/3	55	110	350×1150×320
MM7500/3	75	145	350×1150×320

Таблица 3.3. Технические параметры преобразователей частоты
Siemens Micromaster 420

Марка	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Габариты (Ш×В×Г), мм
$U = 220 \text{ В} \pm 10\%$			
MM12/2	0,12	0,9	73×173×149
MM25/2	0,25	1,7	73×173×149
MM37/2	0,37	2,3	73×173×149
MM55/2	0,55	3	73×173×149
MM75/2	0,75	3,9	73×173×149
MM110/2	1,1	5,5	149×202×172
MM150/2	1,5	7,4	149×202×172
MM220/2	2,2	10,4	149×202×172
MM300/2	3	13,6	185×245×195
$U = 380 \text{ В} \pm 10\%$			
MM37/3	0,37	1,2	73×173×149
MM55/3	0,55	1,6	73×173×149
MM75/3	0,75	2,1	73×173×149
MM110/3	1,1	3	73×173×149
MM150/3	1,5	4	73×173×149
MM220/3	2,2	5,9	149×202×172
MM300/3	3	7,7	149×202×172
MM400/3	4	10,2	149×202×172
MM550/3	5,5	13,2	185×245×195
MM750/3	7,5	18,4	185×245×195
MM1100/3	11	26	185×245×195

В практике эксплуатации для уменьшения подачи насоса и экономии электроэнергии широко используют способ обрезки рабочих колес. Опыт показывает, что обрезка приводит к следующим соотношениям между рабочими параметрами:

$$\frac{Q_{\text{обр}}}{Q} = \frac{D_{2\text{обр}}}{D_2}; \quad \frac{H_{\text{обр}}}{H} = \frac{D_{2\text{обр}}^2}{D_2^2}. \quad (3.15)$$

Максимальная обрезка составляет 10—15% без заметного понижения КПД насоса.

Характеристики центробежных вентиляторов получают по результатам непосредственных испытаний вентиляторов при постоянной частоте вращения для воздуха плотностью $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$. При перерасчете характеристик, построенных для стандартных условий $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$, $T = 293 \text{ К}$ и относительной влажности $\psi = 50\%$, на реальные условия следует иметь в виду, что подача, напор и КПД остаются неизменными, а давление и мощность изменяются пропорционально плотности газа (воздуха), подаваемого вентилятором, т. е.

$$p = p_0 \frac{\rho}{1,2} \quad \text{и} \quad N = \frac{N_0 \rho}{1,2}. \quad (3.16)$$

Регулирование подачи вентиляторов можно производить следующими способами:

- 1) изменением частоты вращения вала вентилятора;
- 2) дросселированием на входе и выходе вентилятора;
- 3) направляющим аппаратом различных конструкций на входе.

Первый способ требует применения электродвигателей с переменной частотой вращения (коллекторных или двухскоростных). Возможно применение двигателей с постоянной частотой вращения при включении между валами двигателя и вентилятора вариатора частоты вращения (обычно гидромукфы).

В некоторых случаях для привода вентиляторов применяют электродвигатели с фазовым ротором, в которых с помощью специальных контактных колец и реостата можно регулировать сопротивление в цепи ротора и таким образом изменять частоту вращения вала.

В настоящее время для регулирования подачи вентиляторов изменением частоты вращения используют приводные двигатели с тиристорными преобразователями частоты.

Второй способ применяется очень широко ввиду простоты его конструкции. Вентиляторы малых и средних размеров, приводимые в движение асинхронными короткозамкнутыми двигателями, регулируются этим способом, единственно доступным в таких условиях.

Третий способ распространен для вентиляторов с большой подачей в шахтных установках и особенно в станционной теплоэнергетике (дутьевые вентиляторы, дымососы).

3.4. Определение мощности приводного двигателя центробежного насоса

Исходными данными для определения требуемой мощности электродвигателя, кВт, являются секундная подача насоса Q , м³/с, и напор H , м. Подачу и напор насоса принимают по режимной (рабочей) точке работы системы «насосы—сеть».

Мощность на валу насоса обычно указывают в паспорте насоса или в каталоге. Ее значение, взятое с запасом, соответствует подаче и напору для предельных точек рабочей части характеристики данного типа насоса.

Однако не всегда расчетные параметры подачи и напора совпадают с параметрами характеристики $H = f(Q)$. В этих случаях возникает необходимость в определении мощности на валу насоса и требуемой мощности приводного двигателя.

Мощность приводного двигателя насоса принимают больше мощности, потребляемой насосом, на случай перегрузок от неучтенных условий работы.

При непосредственном соединении вала насоса с валом электродвигателя

$$N_{\text{дв}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} m; \quad (3.17)$$

при соединении приводного двигателя насоса через промежуточную передачу

$$N_{\text{дв}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_{\text{пр}}} m, \quad (3.18)$$

где m — коэффициент запаса мощности; $\eta_{\text{пр}}$ — КПД передачи, принимаемый по паспорту.

В соответствии с ГОСТ 12878—67 коэффициент запаса мощности m принимают в зависимости от мощности на валу насоса $N_{\text{в}}$:

$N_{\text{в}}$, кВт. До 20	От 20 до 50	От 50 до 300	Свыше 300
m 1,25	1,2	1,15	1,1

3.5. Сводные графики полей (зон) рабочих характеристик нагнетателей

При регулировании нагнетателей изменяется их КПД. Работа машины с низким КПД невыгодна, поэтому допустимые отклонения КПД от его максимального значения регламентированы государственными стандартами

или ведомственными нормативными документами. Для насосов допустимы режимы с КПД, отличающиеся на 7% от максимального значения, вентиляторы должны работать в соответствии с требованиями государственного стандарта так, чтобы КПД был не ниже $0,9\eta_{\max}$.

Если на характеристике нагнетателя выделить участок с КПД не ниже допустимого, получим область, называемую рабочей зоной нагнетателя.

1. При регулировании центробежного нагнетателя изменением частоты вращения от n_{\min} до n_{\max} (рис. 3.6) на графике характеристики $H=f(Q)$, проводя линии $\eta_{\min} = \text{const}$ и $\eta_{\max} = \text{const}$ выделяется заштрихованная площадь $abcd$, представляющая собой поле подач и напоров нагнетателя, удовлетворяющее условию $\eta \geq \eta_{\min}$, где η_{\min} — минимально допустимое значение КПД.

2. В случаях регулирования дросселем на напорной стороне связь между подачей (расходом, производительностью) и напором нагнетателя выражается графически по уравнению $H=f(Q)$ единственной линией (рис. 3.7). Очевидно, что минимально допустимое значение КПД определяет участок ab напорной характеристики, для всех точек которого $\eta \geq \eta_{\min}$. Следовательно, при $n = \text{const}$ и регулировании дросселем поле рабочих параметров нагнетателя представляется участком ab напорной характеристики.

В практике эксплуатации для расширения области применения динамических нагнетателей для жидкости — центробежных насосов — применяют обрезку рабочих колес. Обрезкой называют уменьшение наружного диаметра D_2 рабочего колеса путем его обточки на токарном или карусельном станке. При этом геометрическое подобие нарушается, поэтому условия подобия и формулы пропорциональности для пересчета параметров при обрезке применять нельзя.

Опыт показывает, что обрезка приводит к следующим соотношениям между рабочими параметрами:

$$\frac{Q_{\text{обр}}}{Q} = \frac{D_{2\text{обр}}}{D_2}; \quad \frac{H_{\text{обр}}}{H} = \frac{D_{2\text{обр}}^2}{D_2^2}; \quad \eta = \text{const}. \quad (3.19)$$

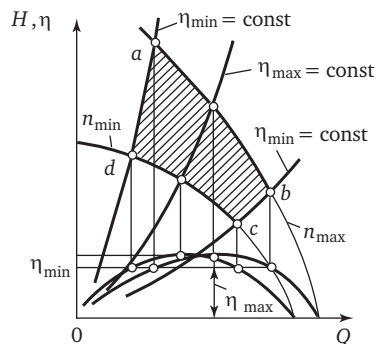


Рис. 3.6. Поле характеристики машины с регулируемой частотой вращения

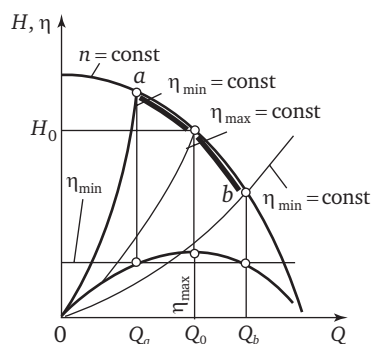


Рис. 3.7. Поле характеристики машины с дроссельным регулированием

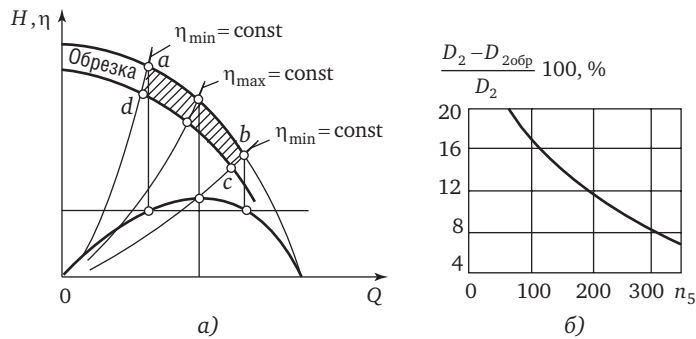


Рис. 3.8. Поле характеристик насоса при обрезке рабочего колеса (а) и зависимость допустимой обрезки колеса от коэффициента быстроходности n_s (б)

Из этих равенств, исключив диаметры, получим $H = aQ^2$, т. е. режимы, удовлетворяющие условиям (3.21), определяются законом квадратичной параболы.

На рис. 3.8,а показана рабочая зона характеристики центробежного насоса с учетом обрезки:

$$\frac{D_2 - D_{2\text{обр}}}{D_2} \approx 0,1.$$

Если дана характеристика $H = f(Q)$ с необрезанным колесом диаметра D , то условие $\eta \geq \eta_{\min}$ определяет рабочую зону ab насоса до обрезки. Задав значениями $D_{2\text{обр}}$, а также D_2 и параметров Q и H для точек a и b , можно определить значения $Q_{\text{обр}}$ и $H_{\text{обр}}$, пользуясь соотношениями (3.19).

Колеса центробежных насосов допускают без заметного понижения КПД тем большую обрезку, чем меньше их быстроходность n_s . Максимальная обрезка составляет 10—15%.

Если в координатную систему Q, H внести поля (рабочие зоны) подач и напоров разных типов насосов при различных их размерах и допустимой обрезке, можно получить сводные графики полей рабочих параметров.

Сводные графики полей $Q-H$ насосов типа К, КМ; Д, ДН и Гр, ГРУ представлены на рис. 3.9—3.11.

Сводные графики удобны для выбора нагнетателей в процессе проектирования насосных, вентиляторных и компрессорных установок.

При выборе нагнетателей для работы в определенных эксплуатационных условиях на основании технологического процесса, в который включены нагнетатели, и расчета сети трубопроводов должны быть заданы необходимые значения подачи Q и напора H (или давления p).

Пользуясь заданными значениями Q и H , на свободном графике машин находят точку, попадающую в поле рабочих параметров определенного типа и размера машин с определенной частотой вращения.

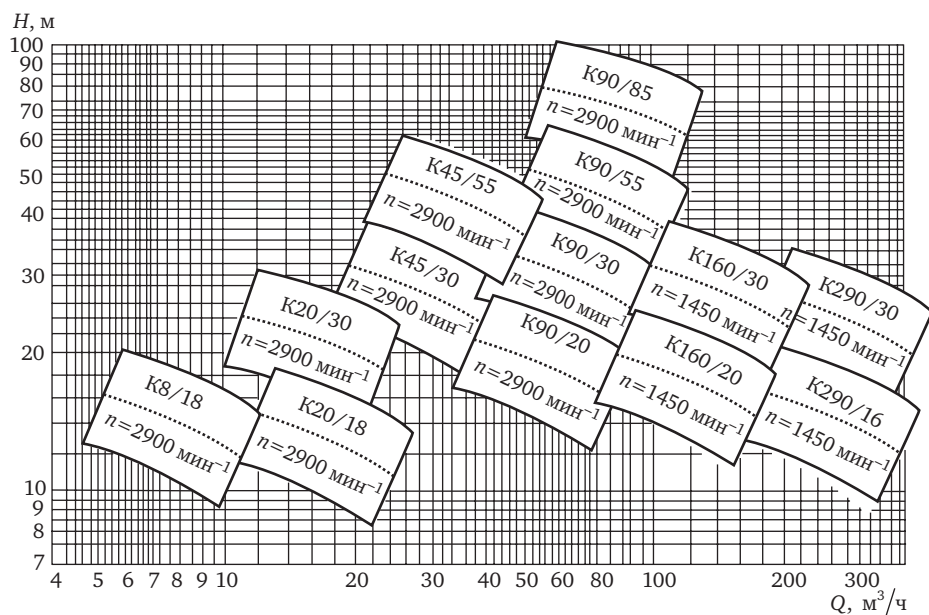


Рис. 3.9. Сводные поля характеристик и рабочие зоны центробежных консольных насосов типа К и КМ

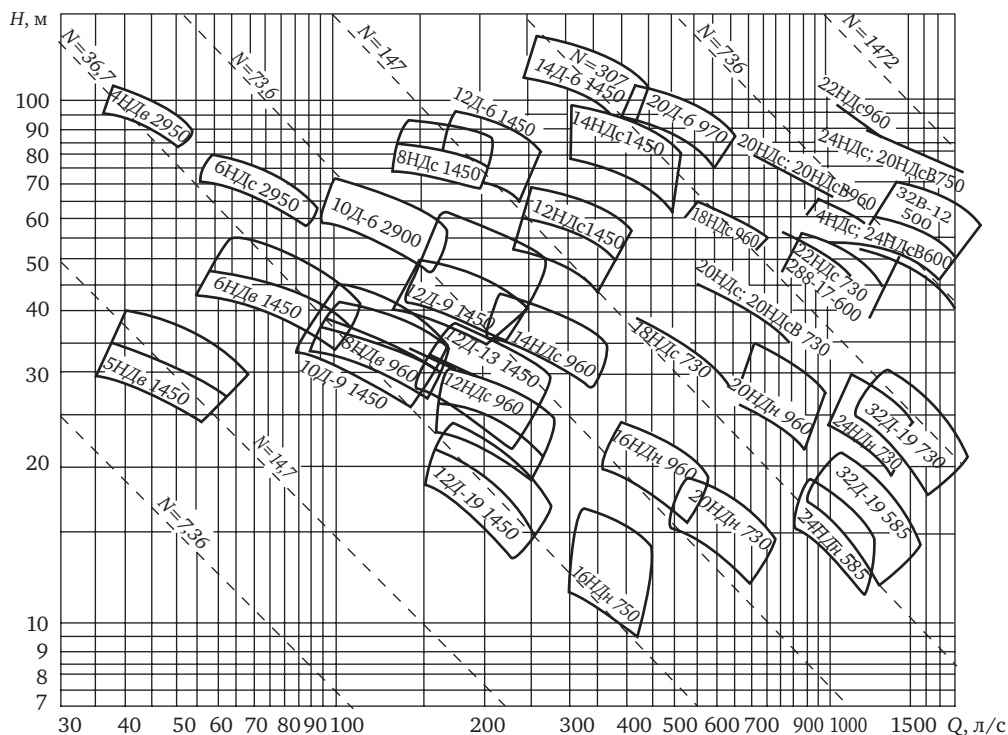
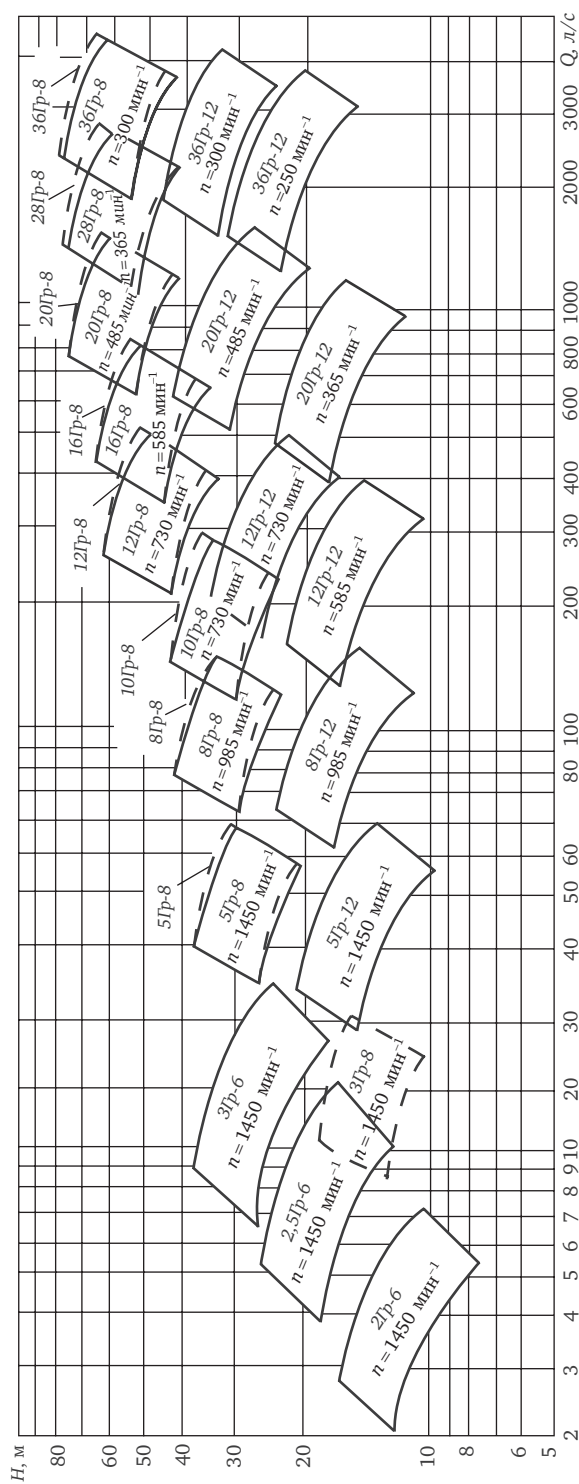


Рис. 3.10. Сводный график полей Q — H насосов типов Д и НД

Рис. 3.11. Сводный график полей $Q-H$ насосов типов Гр и Гру

3.6. Кавитация и высота всасывания центробежных насосов

Центробежные насосы обеспечивают широкую область подач и давлений; соотношения между основными параметрами этих насосов весьма разнообразны. Однако по условиям работы насоса на стороне всасывания могут быть установлены определенные ограничения. Это обусловлено возможностью возникновения в некоторых зонах всасывающего тракта насоса особого явления, называемого кавитацией.

В насосах жидкость по всасывающему трубопроводу к рабочему колесу насоса подводится под действием разности давления в приемном резервуаре и абсолютного давления в потоке у входа в колесо. Последнее зависит от расположения насоса относительно уровня поверхности жидкости в резервуаре и режима работы насоса. На практике встречаются три основные схемы установки центробежных насосов:

- 1) ось насоса выше уровня жидкости в приемном резервуаре (камере);
- 2) ось насоса ниже уровня жидкости в приемном резервуаре;
- 3) жидкость в приемном резервуаре находится под избыточным давлением.

Применяя теорему Бернулли для потока жидкости во всасывающем патрубке, можно определить абсолютное давление на входе в насос (рис. 3.12):

$$\frac{p_n}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} - H_{\text{вс}} - \frac{v_n^2}{2g} - \sum h_{\text{вс}}, \quad (3.20)$$

где p_n — абсолютное давление на входе в насос, Па; p_0 — атмосферное давление, Па; $H_{\text{вс}}$ — разность геодезических отметок оси рабочего колеса и свободной поверхности жидкости в резервуаре; v_n — скорость на входе в насос, м/с; $\sum h_{\text{вс}}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе, м.

Из уравнения (3.20) следует, что

$$H_{\text{вс}} = \frac{p_0 - p_n}{\rho g} - \frac{v_n^2}{2g} - \sum h_{\text{вс}}, \quad (3.21)$$

и обычно эта величина называется *геометрической высотой всасывания*.

Вакуумметрическая высота всасывания определяется как

$$H_{\text{вс}} = \frac{p_0 - p_n}{\rho g} - \frac{v_n^2}{2g}. \quad (3.22)$$

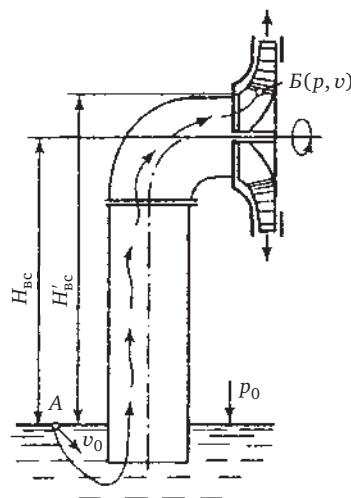


Рис. 3.12. Схема всасывающей трубы насоса при определении кавитации

Нормальная работа центробежного насоса обеспечивается, когда абсолютное давление во всех точках его внутренней полости больше давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре ($p_{\text{пар}}$). Если такое условие не соблюдается, то начинаются явления парообразования и кавитации.

Кавитацией называют процессы нарушения сплошности потока жидкости, происходящие там, где местное давление понижается и достигает определенного критического значения. При этом наблюдается образование большого количества мельчайших пузырьков, наполненных парами жидкости и газами, выделившимися из нее. Образование пузырьков внешне похоже на кипение жидкости. Возникшие в результате понижения давления пузырьки увеличиваются в размере и уносятся потоком. При этом наблюдается местное повышение скорости движения жидкости из-за уменьшения поперечного сечения потока выделившимися пузырьками пара или газа.

Попадая в область с давлением выше критического, пузырьки разрушаются, при этом их разрушение происходит с большой скоростью и поэтому сопровождается местным гидравлическим ударом в данной микроскопической зоне и протекает непрерывно в течение длительного времени. Это явление приводит к разрушениям значительных площадей поверхности рабочих колес или направляющих аппаратов. Практически появление кавитации при работе насоса можно обнаружить по характерному потрескиванию в области всасывания, шуму и вибрации насоса. Кавитация сопровождается также химическим разрушением (коррозией) материала насоса под действием кислорода и других газов, выделившихся из жидкости в области пониженного давления.

При одновременном действии коррозии и циклических механических воздействий прочность металлических деталей насоса быстро снижается. При этом воздействие кавитации на металлические детали насоса усиливается, если перекачиваемая жидкость содержит взвешенные абразивные вещества: песок, мелкие частицы шлака и т.п. Под действием кавитации поверхности деталей становятся шероховатыми, губчатыми, что способствует быстрому их истиранию взвешенными веществами. В свою очередь эти вещества, истирая поверхности деталей насоса, способствуют усилению кавитации.

Наибольшее значение геометрической высоты всасывания в момент возникновения кавитации может быть найдено при $p_n = p_{\text{пар}}$ по формуле (3.21):

$$H_{\text{вс}}^{\text{max}} = \frac{p_0 - p_{\text{пар}}}{\rho g} - \frac{v_n^2}{2g} - \sum h_{\text{вс}}. \quad (3.23)$$

Для того чтобы не появилась кавитация, удельная энергия \mathcal{E}_n потока при входе в насос, отнесенная к его оси, должна быть достаточной для обеспечения скоростей и ускорений в потоке при входе в насос и преодоления сопротивлений без падения местного статического давления до значения,

ведущего к образованию кавитации. В связи с этим решающее влияние оказывает не абсолютное значение удельной энергии потока, а превышение ее над энергией, соответствующей давлению насыщенного пара перекачиваемой жидкости. Это достигается уменьшением $H_{\text{вс}}^{\text{max}}$ на Δh . Величина Δh называется *кавитационным запасом*, поскольку представляет собой запас механической энергии в потоке над давлением насыщенного пара. Иногда эта величина называется избыточным напором всасывания.

Для каждого насоса существует некоторое минимальное значение Δh_{min} . При уменьшении кавитационного запаса ниже этого значения в насосе начинает развиваться кавитация. Из формулы (3.23) можно сделать вывод, что наименьшему значению Δh_{min} соответствует наибольшее значение геометрической высоты всасывания (статической части напора)

$$H_{\text{вс}}^{\text{кр}} = \frac{p_0 - p_{\text{пар}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{min}} - \sum h_{\text{вс}}, \quad (3.24)$$

которое называют *критической высотой всасывания*.

Для обеспечения надежной работы насоса допустимая высота всасывания должна иметь некоторый запас, что учитывается введением коэффициента запаса φ :

$$H_{\text{вс}}^{\text{доп}} = \frac{p_0 - p_{\text{пар}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{доп}} - \sum h_{\text{вс}}, \quad (3.25)$$

где $\Delta h_{\text{доп}} = \varphi \Delta h_{\text{min}}$.

В зависимости от условий работы насоса коэффициент запаса принимается в пределах 1,1—1,5.

Однако при использовании рассмотренной схемы для определения бескавитационных режимов работы насосов возникает ряд практических трудностей, наибольшую из которых представляет определение минимально допустимого кавитационного запаса.

На основе большого числа исследований и обобщения опытных данных С.С. Руднев получил формулу для минимального кавитационного запаса:

$$\Delta h_{\text{min}} = 10 \left(\frac{n \sqrt{Q}}{C} \right)^{4/3}, \quad (3.26)$$

где C — постоянная, зависящая от конструктивных особенностей насоса.

При определении Δh_{min} для насосов двустороннего хода в формулу (3.20) подставляется половинная подача.

Значения постоянной C в зависимости от коэффициента быстроходности n_s составляют:

n_s	50—70	70—80	80—150	150—250
C	600—750	800	800—1000	1000—1200

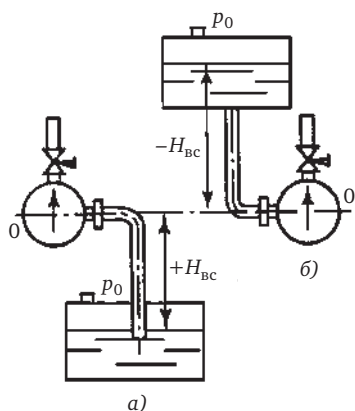


Рис. 3.13. Установка насоса относительно уровня всасываемой жидкости:

а — с низкой температурой жидкости; б — с высокой температурой жидкости

Допустимая высота всасывания существенно зависит от температуры жидкости.

Очевидно, что повышение температуры всасываемой жидкости уменьшает критическую и, следовательно, допустимую высоту всасывания.

При высоких температурах жидкости допустимая высота всасывания может быть отрицательной, что указывает на необходимость расположения уровня всасываемой жидкости выше оси насоса. Следовательно, возможны два варианта установки насосов (рис. 3.13).

Установка, выполненная по первому варианту (см. рис. 3.13,а) характерна для насосов, подающих жидкости с низкой температурой; по второму варианту (см. рис. 3.13,б) — для насосов, подающих жидкости с высокой температурой, а также при всасывании насосами холодной воды из пространств с достаточно высоким вакуумом.

Высота давления насыщенных водяных паров $h_{н.п} = p_{пар}/\rho g$ в зависимости от температуры воды составляет:

Температура, °С.....	5	10	20	40	60	80	100
$h_{н.п}$, м вод.ст.	0,09	0,12	0,24	0,75	2,02	4,82	10,33

Потери напора во всасывающем трубопроводе складываются из потерь на трение при движении жидкости по трубе и потерь на местные сопротивления:

$$\sum h_{вс} = \Delta h_f + \sum \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (3.27)$$

где Δh_f — потери напора на длине всасывающего трубопровода; ξ — сумма коэффициентов местных сопротивлений; v — скорость движения при входе во всасывающий клапан, м/с.

На рис. 3.14 приведены схемы местных сопротивлений для определения коэффициентов сопротивления (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Значения местных коэффициентов сопротивления по рис. 3.14

Вид сопротивления		Коэффициент ξ
Схема 1	Вход в трубу без расширения	0,5
Схема 2	Плавно очерченный вход в трубу	0,1—0,2
Схема 3	Приемная сетка без клапана	2—3
Схема 4	Приемный клапан с сеткой	5—8
Схема 5	Обратный клапан	1,7

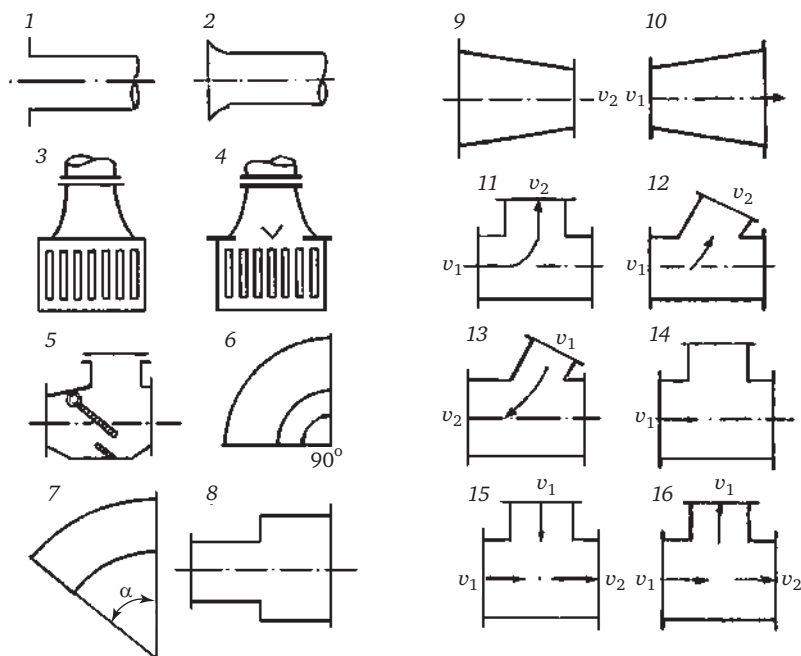


Рис. 3.14. Схемы местных сопротивлений для определения коэффициентов сопротивления

Окончание табл. 3.4

Вид сопротивления		Коэффициент ξ
Схема 6	Колено с углом 90° по нормальному сортаменту	0,5—0,6
Схема 7	Колено с углом α	$(\alpha/90)\xi_6$
Схема 8	Выход из трубы в резервуар или в канал под уровнем	1
Схема 9	Переход суживающийся (по нормальному сортаменту)	0,1
Схема 10	Переход расширяющийся (по нормальному сортаменту)	0,25
Схема 11	Тройник в направлении ответвления	1,5
Схема 12	В ответвлении при косом тройнике	1
Схема 13	В ответвлении при входе в магистраль	0,5
Схема 14	В магистрали при отсутствии расхода в ответвлении	0,1
Схемы 15 и 16	В ответвлении при соединении и разделении потоков	1,5

3.7. Потери напора в нагнетательном трубопроводе

Требуемый напор для подачи воды потребителю составляет, м вод. ст.,

$$H = H_{\text{ст}} + \sum h_{\text{вс}} + \sum \Delta h_{\text{м}} + \Delta h_{\text{ф}} \quad (3.28)$$

где $H_{\text{ст}}$ — статическое давление у потребителя; $\sum h_{\text{вс}}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе; $\sum \Delta h_{\text{м}}$ — потери напора на местные сопротивления в нагнетательном трубопроводе;

$$\sum \Delta h_m = \sum \xi \frac{v^2}{2g};$$

Δh_f — потери напора на преодоление трения при движении жидкости по всей длине нагнетательного трубопровода.

Для определения потерь напора по длине в круглых водопроводах пользуются двумя водопроводными формулами:

1) первая водопроводная формула:

$$\Delta h_f = \lambda \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{d}, \quad (3.29)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения, определяемый при турбулентном режиме движения по эмпирическим формулам; v — средняя скорость воды в нагнетательном трубопроводе, м/с; L — длина водопровода, м; d — диаметр водопровода, м;

2) вторая водопроводная формула:

$$\Delta h_f = aL \frac{Q^2}{d^5}, \quad (3.30)$$

где $a = 64/(C^2\pi^2)$; C — коэффициент Шези; $C = (1/n)R^y$ — формула Н.Н. Павловского; $R = d/4$ для круглых труб (гидравлический радиус); n — коэффициент шероховатости, характеризующий состояние внутренней поверхности труб и принимаемый для стальных и чугунных труб равным 0,012; y — показатель, принимаемый в практических расчетах по выражению $y = 1,5\sqrt{n}$.

Для упрощения вычислений Δh_f по формулам (3.29) и (3.30) для стандартных диаметров труб имеются таблицы значений коэффициентов λ , a , C , вычисленных при $n = 0,012$, которыми можно пользоваться в практических работах (табл. 3.5).

Скорости движения воды принимают в зависимости от диаметра трубопровода (табл. 3.6).

Таблица 3.5. Значения величин C , λ , a и b^* для круглых труб, подсчитанных по полной формуле Н.Н. Павловского при $n = 0,012$

d , м	C	λ	$a \cdot 10^2$	b^*
0,05	44,79	0,0391	0,323	10340
0,075	47,45	0,0349	0,288	1214
0,1	49,46	0,0321	0,265	265
0,125	51,07	0,0301	0,249	81,6
0,15	52,42	0,0286	0,236	31,18
0,2	54,62	0,0263	0,217	6,78
0,25	56,40	0,0247	0,204	2,11

Окончание табл. 3.5

d , м	C	λ	$a \cdot 10^2$	b^*
0,3	57,9	0,0234	0,193	0,794
0,35	59,18	0,0224	0,185	0,354
0,4	60,31	0,0216	0,178	0,174
0,45	61,35	0,0209	0,172	0,0932
0,5	62,28	0,0202	0,167	0,0532
0,6	63,91	0,0192	0,159	0,0204
0,7	65,32	0,0184	0,152	0,00904
0,8	66,58	0,0177	0,146	0,00495
0,9	37,7	0,0171	0,141	0,00239
1	68,72	0,0166	0,137	0,00137

Примечание. $b^* = a/d^5 = \Delta h_f / (LQ^2)$.

Таблица 3.6. Скорости движения воды в зависимости от диаметра трубопровода

Диаметр труб, мм	Скорость в трубопроводе, м/с	
	всасывающем	напорном
До 250	0,7—1	1—1,5
250—800	1—1,5	1,3—2
Более 800	1,5—2	1,8—3

3.8. Основные характеристики центробежных насосов типов АК, АЦКМ (фирмы «Линас» и «EBARA»)

В настоящее время широким спросом пользуются одноступенчатые консольные насосы АК (табл. 3.7) фирмы «Линас» для подачи чистой и технической воды, растворов гликоля и других жидкостей, сходных с водой по вязкости, плотности и химической активности. Их область применения — водоснабжение, теплоснабжение, отопление, горячее водоснабжение, системы охлаждения, кондиционирования, системы орошения и ирригации, системы пожаротушения.

Общие технические характеристики: подача (расход) — до $270 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор — до 79 м; температура жидкости — от -10 до $+140$ °С; температуры окружающей среды — до 40 °С.

Конструктивные данные — одноступенчатый насос с горизонтальным расположением вала, осевым всасывающим и радиальным напорными патрубками; уплотнение вала торцевое, соединение вала электродвигателя и насоса через эластичную муфту; насос и электродвигатель смонтированы на общей стальной раме.

Центробежные насосы этой серии изготовлены из нержавеющей стали AISI 304. Предназначены для использования в системах отопления, холод-

Таблица 3.7. Основные характеристики насосов серии АК (при $n = 2900 \text{ мин}^{-1}$)

Марка агрегата	$N_{\text{дв}}$, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД, %	Масса, кг
АК 32-160/177/7,5/2	7,5	35,5	29,5	60,4	175
АК 32-200.1/207/7,5/2	7,5	44	20	47,3	185
АК 32-200/190/7,5/2	7,5	25	38	58,4	185
АК 32-200/200/7,5/2	7,5	28	42	57,5	185
АК 32-200/210/11,0/2	11	31	47,5	58,5	230
АК 32-200/219/11,0/2	11	34,5	53	61,3	230
АК 40-160/161/7,5/2	7,5	45	29,5	68,5	165
АК 40-160/169/7,5/2	7,5	33,5	48,5	70	165
АК 40-160/177/11,0/2	11	54	37	70,6	200
АК 40-200/180/7,5/2	7,5	41	33	67,7	176
АК 40-200/190/11,0/2	11	44	37,5	67,5	235
АК 40-200/200/11,0/2	11	47	42	66,9	235
АК 40-200/210/15,0/2	15	52	46,5	67,9	235
АК 40-200/219/15,0/2	15	57	50,5	68,6	235
АК 40-250/220/15,0/2	15	52	52,5	61,5	260
АК 40-250/230/18,5/2	18,5	55	57,5	61,6	280
АК 40-250/240/18,5/2	18,5	57,5	63	61,6	280
АК 40-250/250/22,0/2	22	60,5	69	61,7	331
АК 40-250/260/30,0/2	30	60	78	61,8	435
АК 50-160/137/7,5/2	7,5	67,5	20	74,5	168
АК 50-160/145/7,5/2	7,5	73	23	75,8	168
АК 50-160/153/11,0/2	11	75	26	76,3	228
АК 50-160/161/11,0/2	11	80	29,5	76,1	228
АК 50-160/169/15,0/2	15	85	33	75,8	248
АК 50-160/177/15,0/2	15	87	37	76	248
АК 50-200/170/11,0/2	11	55	33	71,6	252
АК 50-200/180/15,0/2	15	62,5	37	71,7	252
АК 50-200/190/15,0/2	15	67,5	41	71,7	252
АК 50-200/200/18,5/2	18,5	73	46	71,8	272
АК 50-200/210/18,5/2	18,5	77	50,5	71,8	272
АК 50-200/219/22,0/2	22	82,5	55,5	71,8	303
АК 50-250/220/22,0/2	22	72	55,5	67,5	334
АК 50-250/230/30,0/2	30	75,5	61	67,9	396
АК 50-250/240/30,0/2	30	81	66	68,9	396
АК 50-250/250/30,0/2	30	85	72,5	69,5	396
АК 50-250/263/37,0/2	37	92	79	69,3	402
АК 65-160/137/7,5/2	7,5	86	18,5	75,4	202
АК 65-160/145/11,0/2	11	92	21,7	76,1	254
АК 65-160/153/11,0/2	11	101	24,5	77,5	254

Окончание табл. 3.7

Марка агрегата	$N_{дв}$, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД, %	Масса, кг
АК 65-160/161/15,0/2	15	110	27,1	78	264
АК 65-160/169/15,0/2	15	117	30,5	78,9	264
АК 65-160/177/18,5/2	18,5	121	34,6	79,7	282
АК 65-200/170/15,0/2	15	86	33	75,7	286
АК 65-200/180/18,5/2	18,5	97	37,5	75,9	306
АК 65-200/190/22,0/2	22	105	42,5	76,6	322
АК 65-200/200/30,0/2	30	112	48,5	77,4	384
АК 65-200/210/30,0/2	30	121	53	77,5	384
АК 65-200/219/30,0/2	30	123	59	78,2	384
АК 65-250/220/30,0/2	30	102	54	69,9	442
АК 65-250/230/30,0/2	30	110	59,5	70,7	442
АК 65-250/240/37,0/2	37,5	116	65	70,8	442
АК 65-250/250/45,0/2	45	121	71,5	71,6	510
АК 65-315/270/45,0/2	45	95	83	61,6	538
АК 80-160/147-127/11,0/2	11	155	16,5	71,8	251
АК 80-160/153-136/15,0/2	15	163	19	73,7	251
АК 80-160/153/18,5/2	18,5	165	22	74,9	271
АК 80-160/161/22,0/2	22	167	25,2	75,9	322
АК 80-160/169/22,0/2	22	183	29	76,9	322
АК 80-160/177/30,0/2	30	199	33	78,9	380
АК 80-200/170/22,0/2	22	151	29	73	362
АК 80-200/180/30,0/2	30	161	35,2	74,9	432
АК 80-200/190/37,0/2	37	170	40	76	432
АК 80-200/200/37,0/2	37	180	45,5	77,4	432
АК 80-200/210/45,0/2	45	190	50,5	78	494
АК 80-250/220/45,0/2	45	172	57	74,8	514
АК 100-200/180/37,0/2	37	251	32,5	77,1	442
АК 100-200/190/45,0/2	45	270	37	78,1	504

ного и горячего водоснабжения, кондиционирования, а также для других промышленных применений; максимальное рабочее давление — 1 МПа, температура перекачиваемой жидкости от –20 до +110 °С.

В табл. 3.8 приведены марки и технические характеристики центробежных моноблочных консольных насосов АЦМК фирмы «Линас», которые изготовлены на базе импортных насосных частей и электродвигателей серии АИР отечественного производства.

Основные технические характеристики: подача (расход) — до 160 м³/ч; напор — до 64 м; температура жидкости — от –15 до +140 °С; температура окружающей среды — 40 °С.

Область применения — установки водоснабжения, теплоснабжения, ото-

Таблица 3.8. Основные характеристики насосов серии АЦМК (фирма «Линас»)

Марка агрегата	$N_{\text{дв}}$, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД, %	Δh , м
$n = 3000 \text{ мин}^{-1}$					
АЦМК 50-32-125/132/2	1,1	12	18	60	1
АЦМК 50-32-125/142/2	1,5	12,5	20	61	1
АЦМК 50-32-160/152/2	2,2	15	25	57	1,5
АЦМК 50-32-160/165/2	3	17,5	29	58	2
АЦМК 50-32-200/185/2	4	17,5	37	52	2
АЦМК 50-32-200/205/2	5,5	20	46	54	2
АЦМК 65-40-125/104/2	1,5	20	13	64	0,5
АЦМК 65-40-125/117/2	2,2	25	16	68	0,7
АЦМК 65-40-125/128/2	3	30	18	69	1
АЦМК 65-40-160/154/2	4	25	27	60	1,5
АЦМК 65-40-160/165/2	5,5	28	32	61	1,7
АЦМК 65-40-200/189/2	5,5	25	35	55	1,5
АЦМК 65-40-200/202/2	7,5	27	46	58	1,5
АЦМК 65-50-125/124/2	3	44	16	76	1
АЦМК 65-50-125/133/2	4	48	20	77	1
АЦМК 65-50-160/146/2	5,5	50	25	76	1,5
АЦМК 65-50-160/161/2	7,5	55	30	78	1,7
АЦМК 65-50-200/180/2	11	50	40	70	1,5
АЦМК 65-50-200/202/2	15	60	49	70	2
АЦМК 80-65-125/121/2	4	80	13	75	2
АЦМК 80-65-125/130/2	5,5	90	16	82	2,5
АЦМК 80-65-125/137/2	7,5	100	19	83	3
АЦМК 80-65-160/152/2	11	90	27	77	3
АЦМК 80-65-160/168/2	15	100	33	77	3,5
АЦМК 80-65-200/183/2	18,5	95	41	75	3
АЦМК 80-65-200/191/2	22	105	45	76	3,5
АЦМК 80-65-200/210/2	30	115	57	79	4
$n = 1500 \text{ мин}^{-1}$					
АЦМК 50-32-125/142/2	0,25	6	5,2	56	0,8
АЦМК 50-32-160/150/2	0,25	7	6,2	56	0,75
АЦМК 50-32-160/165/2	0,37	8	7,5	58	0,75
АЦМК 50-32-200/191/2	0,55	9	10	54	1
АЦМК 50-32-200/205/2	0,75	11	10	51	1

Окончание табл. 3.8

Марка агрегата	$N_{дв}$, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД, %	Δh , м
АЦҚМ 65-40-125/128/2	0,37	13	4,7	69	0,3
АЦҚМ 65-40-160/154/2	0,55	12,5	6,6	52	0,5
АЦҚМ 65-40-160/165/2	0,75	13,5	7,6	55	0,5
АЦҚМ 65-40-200/189/2	0,75	112	8,5	53	0,7
АЦҚМ 65-40-200/202/2	1,1	14	11,3	57	0,7
АЦҚМ 65-50-125/133/2	0,55	25	4,7	71	0,3
АЦҚМ 65-50-160/154/2	0,75	28	6,3	75	0,2
АЦҚМ 65-50-160/168/2	1,1	30	7,6	72	0,2
АЦҚМ 65-50-200/187/2	1,5	25	11	71	0,6
АЦҚМ 65-50-200/202/2	2,2	28	12,3	74	0,6
АЦҚМ 80-65-125/136/2	0,75	45	4,3	76	0,7
АЦҚМ 80-65-125/140/2	1,1	50	5	76	1
АЦҚМ 80-65-160/162/2	1,5	50	7	78	0,6
АЦҚМ 80-65-160/168/2	2,2	55	7,7	80	0,8
АЦҚМ 80-65-200/187/2	2,2	45	10,5	75	0,5
АЦҚМ 80-65-200/200/2	3	50	12	77	0,6
АЦҚМ 80-65-200/210/2	4	55	13,5	77	0,9

Таблица 3.9. Уровни шума насосов марки ЗМ фирмы «EBARA»

Мощность двигателя, кВт.....	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15
Уровень звукового давления, дБ	< 70	< 70	< 70	71	71	75	75	80	80

пления, откачки конденсата, системы охлаждения, орошения, ирригации, дренажа.

Характеристики моноблочных центробежных насосов (консольных) ЗМ фирмы «EBARA» (рис. 3.15), представлены в табл. 3.9, 3.10.



Рис. 3.15. Общий вид моноблочного насоса фирмы «EBARA»

Таблица 3.10. Основные характеристики консольных центробежных насосов (моноблочных) ЗМ фирмы «ЕВАРА» ($n = 2900 \text{ мин}^{-1}$)

Тип	N, кВт	I, А		Напор, м, при подаче (л/мин)/(м³/ч)															
		220В	380В	100/ 6	150/ 9	200/ 12	250/ 15	300/ 18	333/ 20	400/ 24	450/ 27	500/ 30	550/ 33	600/ 36	650/ 39	700/ 42	800/ 48	1000/ 60	1200/ 72
32-125/1,1	1,1	5	2,9	21	20	18,5	17	15	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1,5	5,9	3,4	28	26,5	24,5	22	19	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32-160/2,2	2,2	8,3	4,8	35,5	34,5	32,5	30,5	27,5	25,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	11,8	6,8	42,5	41	38,5	35	31,5	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32-200/4,0	4	15,6	9	53	51,5	49,5	47	43,5	40,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,5	—	11,8	69	67,6	65,5	63	60	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40-125/1,5	1,5	5,9	3,44	—	—	18	27,5	17	16	15	14	12,5	11	9,5	8	6	—	—	—
	2,2	8,3	4,8	—	—	26	25	24,2	23	22	21	19	17,5	16	14,3	13	—	—	—
40-160/3,0	3	11,8	6,8	—	—	30	29	28,5	27,3	26,2	25,4	24	22,5	21	20,2	17,5	—	—	—
	4	15,9	9,2	—	—	38	37	36	35	34	33	31,3	30	28,5	27	25	—	—	—
40-200/5,5	5,5	—	11,1	—	—	36	45	44	43,5	42	41	40	38,5	37	35,1	33	—	—	—
	7,5	—	15,1	—	—	56,5	56	55,3	55	53,5	52,5	51,2	49,8	48,5	47	45	—	—	—
40-200/11,0	11	—	20	—	—	71	70	69,3	68,8	67,5	66,2	65	63,5	62	60	58	—	—	—
	2,2	8,3	4,8	—	—	—	—	—	—	17	16,6	16,1	15,5	14,9	14,2	13,4	11,8	8	—
50-125/3,0	3	11,8	6,8	—	—	—	—	—	—	20,5	20	19,5	19	18,5	18	17,3	15,5	12,3	8
	4	15,9	9,2	—	—	—	—	—	—	26	25,9	25,7	25,3	24,7	24,2	23,3	22,2	20	14
50-160/5,5	5,5	—	11,5	—	—	—	—	—	—	31	30,5	30	29,5	29	28	27,6	26	22,5	18
	7,5	—	15,5	—	—	—	—	—	—	39	38,5	38	37,5	37	36,5	36	34,5	31	26
50-200/9,2	9,2	—	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	50	49,5	49	48,4	47,5	46	41	34
	11	—	22	—	—	—	—	—	—	—	—	56	55,5	55	54,5	53,8	52	48	42
50-200/15	15	—	31,3	—	—	—	—	—	—	—	—	70	69,5	69	68,5	68	66	62	57

3.9. Насосы для перекачивания воды и пароконденсата (ЗАО «Гидромаш-Холдинг»)

Центробежные консольные насосы типа К и моноблочные типа КМ

Это насосы горизонтальные, одноступенчатые, с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу (рис. 3.16). Предназначены для перекачивания в стационарных условиях чистой воды и других жидкостей, сходных с водой по плотности, вязкости и химической активности с температурой: для насоса типа К — от 0 до +105 °С; для КМ — от 0 до 85 °С, содержащих твердые включения размером до 0,2 мм, объемной концентрацией до 0,1% (табл. 3.11).

Центробежные консольные насосы типа ЛМ

Это линейные моноблочные насосы, встраиваемые в магистральные трубопроводы. Предназначены для перекачивания чистой воды производственно-технического назначения с температурой от 0 до 85 °С и других жидкостей, сходных с чистой водой по плотности, вязкости и химической активности, с содержанием твердых включений не более 0,1% по объему и размерам частиц не более 0,2 мм (табл. 3.12).

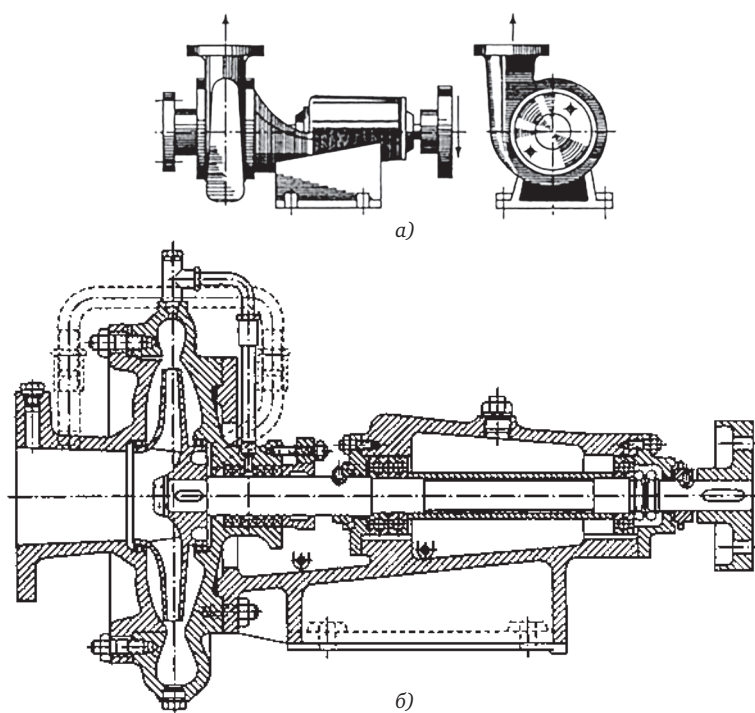


Рис. 3.16. Центробежный насос типа К с напорным патрубком, обращенным вверх:
а — общий вид; б — продольный разрез

Таблица 3.11. Основные характеристики центробежных консольных насосов типа К и КМ

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
<i>Консольные</i>				
К 8/18	8	18	2,2	3000
К 50-32-125	12,5	20	2,2	3000
К 20/18	20	18	3	3000
К 20/30	20	30	3	3000
К 65-40-250	25	80	18	3000
К 65-50-125	25	20	3	3000
К 65-50-160	25	32	5,5	3000
К 80-50-200	50	50	15	3000
К 80-50-250	50	80	22	3000
К 80-65-160	50	32	7,5	3000
К 100-65-200	100	50	30	3000
К 100-65-250	100	80	45	3000
К 100-80-160	100	32	15	3000
К 150-125-250	200	20	18,5	1500
К 160-30	160	30	30	1500
К 200-150-250	315	20	30	1500
К 200-150-315	315	32	45	1500
К 200-150-400	400	50	90	1500
К 290-30	290	30	37	1500
<i>Моноблочные</i>				
КМ 50-32-125	12,5	20	2,2	3000
КМ 65-50-125	25	20	3	3000
КМ 65-50-160	25	32	5,5	3000
КМ 80-65-160	50	32	7,5	3000
КМ 80-50-200	50	50	15	3000
КМ 100-65-200	100	50	30	3000
КМ 100-80-160	100	32	15	3000
КМ 160/20	160	20	15	3000
КМ150-125-250	200	20	18,5	3000

Таблица 3.12. Основные характеристики насосов типа ЛМ

Тип насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ЛМ 32-3,15/5	3,15	5	0,25	1500
ЛМ 32-6,3/20	6,3	20	1,5	3000
ЛМ 50-16/12,5	16	12	1,5	3000
ЛМ 65-25/32	25	32	5,5	3000
ЛМ 80-50/32	50	32	7,5	3000

Центробежные насосы двухстороннего входа типа Д

Это насосы горизонтальные одноступенчатые двухстороннего входа с полуспиральным подводом жидкости к рабочему колесу (рис. 3.17). Предназначены для перекачивания воды и жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, температурой до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, с содержанием твердых включений до 0,05 % по объему, размером до 0,2 мм и микротвердостью до 6,5 ГПа (табл. 3.13).

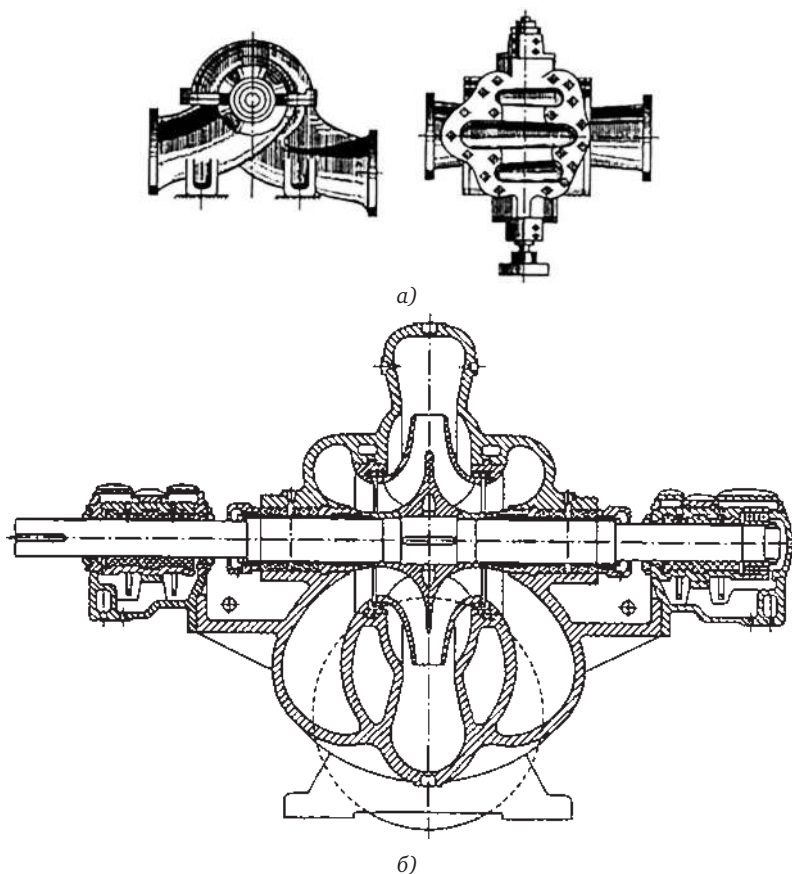


Рис. 3.17. Центробежный насос типа Д:
а — общий вид без крышки; б — вид в разрезе

Таблица 3.13. Основные характеристики насосов типа Д

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
Д 200-36	200	36	37	1500
1Д 200-90	200	90	90	3000
1Д 250-125	250	125	160	3000

Окончание табл. 3.13

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
1Д 315-50	315	50	75	3000
1Д 315-71	315	71	110	3000
Д 320-50	320	50	75	1500
1Д 500-63	500	63	160	1500
1Д 630-90	630	90	250	1500
1Д 630-125	630	125	400	1500
1Д 800-56	800	56	200	1500
1Д 1250-63	1250	63	315	1500
1Д 1250-125	1250	125	630	1500
1Д 1600-90	1600	90	630	1500
2Д 2000-21	2000	21	160	1000
Д2000-100-2	2000	100	800	1000
Д2500-62-2	2500	62	630	1000
Д3200-33-2	3200	33	400	1000
Д3200-75-2	3200	75	1000	1000
Д4000-95-2	4000	95	1600	1000
Д6300-27-3	6300	27	630	750
Д6300-80-2	6300	80	2000	750

Центробежные скважинные электронасосы типа ЭЦВ

Это насосы одно- и многоступенчатые с вертикальным расположением вала. Предназначены для подъема воды с минерализацией не более 1500 мг/л; рН = 6,5 ÷ 9,5 с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01%, с содержанием хлоридов не более 350 г/л, сульфатов не более 500 мг/л и сероводородов не более 1,5 мг/л (табл. 3.14).

Таблица 3.14. Основные характеристики электронасосов типа ЭЦВ

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ЭЦВ 4-1,5-35	1,5	35	0,25	3000
ЭЦВ 4-1,5-50	1,5	50	0,37	3000
ЭЦВ 5-4-125	4	125	3	3000
ЭЦВ 6-4-80	4	80	2,2	3000
ЭЦВ 6-4-130	4	130	2,8	3000
ЭЦВ 6-4-190	4	190	4	3000
ЭЦВ 5-6,5-80	6,5	80	3	3000
ЭЦВ 5-6,5-120	6,5	120	4	3000

Окончание табл. 3.13

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ЭЦВ 6-6,5-60	6,5	60	2,2	3000
ЭЦВ 6-6,5-85	6,5	85	3	3000
ЭЦВ 6-6,5-125	6,5	120	4,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-140	6,5	140	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-160	6,5	160	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-180	6,5	180	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-200	6,5	200	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-225	6,5	225	7,5	3000
ЭЦВ 6-10-50	10	50	2,2	3000
ЭЦВ 6-10-80	10	80	4,5	3000
ЭЦВ 6-10-110	10	110	5,5	3000
ЭЦВ 6-10-140	10	140	6,3	3000
ЭЦВ 6-10-185	10	185	8	3000
ЭЦВ 6-10-235	10	235	11	3000
ЭЦВ 6-16-75	16	75	5,5	3000
ЭЦВ 6-16-90	16	90	8	3000
ЭЦВ 6-16-110	16	110	7,5	3000
ЭЦВ 6-16-140	16	140	11	3000
ЭЦВ 6-16-160	16	160	13	3000
ЭЦВ 8-16-80	16	80	5,5	3000
ЭЦВ 8-16-100	16	100	8	3000
ЭЦВ 8-16-140	16	140	11	3000
ЭЦВ 8-16-160	16	160	11	3000
ЭЦВ 8-16-180	16	180	13	3000
ЭЦВ 8-16-200	16	200	22	3000
ЭЦВ 8-16-220	16	220	16	3000
ЭЦВ 8-25-35	25	35	4,5	3000
ЭЦВ 8-25-70	25	70	7,5	3000
ЭЦВ 8-25-90	25	90	11	3000
ЭЦВ 8-25-100	25	100	11	3000
ЭЦВ 8-25-110	25	110	11	3000
ЭЦВ 8-25-125	25	125	13	3000
ЭЦВ 8-25-150	25	150	17	3000

Центробежные конденсатные насосы типа КС

Это насосы многоступенчатые одно- или двухкорпусные горизонтальные типа КС и вертикальные типа КСВ. Предназначены для перекачивания парового конденсата или пресной воды температурой до 160 °С, pH = 6,3÷9,2 в пароводяных сетях электростанций, с содержанием твердых включений не более 5 мг/л и размером не более 0,1 мм (табл. 3.15).

Таблица 3.15. Основные характеристики насосов типа КС

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
<i>Горизонтальные</i>				
КС 12-50	12	50	5,5	3000
КС 12-110	12	110	11	3000
КС 20-50	20	50	7,5	3000
КС 20-110	20	110	18,5	3000
1 КС 32-150	32	150	30	3000
1 КС 50-55	50	55	15	3000
1 КС 50-110	50	110	30	3000
1 КС 80-100	80	100	45	3000
1 КС 80-155	80	155	75	3000
<i>Вертикальные двухкорпусные</i>				
КСВ 125-55	125	55	30	3000
1 КСВ 125-71	125	71	45	3000
1КСВ 125-140	125	140	90	3000
1 КСВ 200-130	200	130	132	3000
КСВ 200-220	200	220	250	1500
1 КСВ 315-80	315	80	110	3000
1 КСВ 315-160	315	160	250	3000
КСВ 320-50/160	320	50/160	315	1500
КСВ 320-160	320	160	250	1500
1 КСВ 500-85	500	85	200	1000
КСВ 500-150	500	150	315	1500
КСВ 500-220	500	220	500	1500
КСВ 1150-90	1150	90	500	1500
КСВ 1250-45	1250	45	250	1500
КСВ 1500-140	1500	140	1000	1500
КСВА 200-220	200	220	200	1500
КСВА 360-160	360	160	250	1500
КСВА 500-220	500	220	500	1500
КСВА 630-125	630	125	315	1500
КСВА 650-13 5	650	135	500	1500

Сетевые насосы типа СЭ

Это насосы центробежные горизонтальные спирального типа с колесами двухстороннего входа одно- и двухступенчатые. Предназначены для питания тепловых сетей водой с температурой до 180 °С, содержащей твердые частицы размером не более 0,2 мм (табл. 3.16).

Таблица 3.16. Основные характеристики насосов типа СЭ

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
<i>Одноступенчатые</i>				
СЭ 500-70-16	500	70	160	3000
СЭ 800-55-11	800	55	132	1500
СЭ 800-100-8	800	100	315	3000
СЭ 1250-140-8	1250	140	800	3000
СЭ 1250-70-11	1250	70	315	1500
СЭ 2500-60-8	2500	60	630	1500
СЭ 2500-60-11	2500	60	630	1500
СЭ 2500-60-16	2500	60	630	1500
СЭ 2500-180-8	2500	180	1600	3000
СЭ 2500-180-10	2500	180	1600	3000
СЭ 2500-180-25	2500	180	1600	3000
СЭ 5000-70-5	5000	70	1250	3000
СЭ 5000-160-8	5000	160	3150	3000
СЭ 5000-160-10	5000	160	3150	3000
СЭ 5000-160-25	5000	160	3150	3000
<i>Двухступенчатые</i>				
СЭ 800-100-11	800	100	315	1500
СЭ 1250-140-11	1250	140	630	1500

3.10. Насосы для перекачивания нефти и нефтепродуктов

Консольные насосы типа НК

Это центробежные одно- и двухступенчатые насосы. Предназначены для перекачивания нефти и нефтепродуктов, сжиженных углеродных газов и других жидкостей, сходных с указанными по физическим свойствам с температурой от 80 до 400 °С (определяется типом торцевого уплотнения).

Таблица 3.17. Основные характеристики консольных насосов типа НК

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
4НК-5x1	50	60	18,5	3000
5НК-5x1	70	108	55	3000
5НК-9x1	70	54	22	3000
6НК-6x1	90	125	75	3000
6НК-9x1	120	65	40	3000
НК 12/40	12	40	5,5	3000
НК 65/35-70	65	70	30	3000
НК 65/35-125	65	125	55	3000
НК 65/35-240	65	240	100	3000
НК 200/120	200	120	100	3000

Окончание табл. 3.17

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
НК 200/210	200	210	200	3000
НК 560/180	560	180	400	3000
НК 560/300	560	300	800	3000
ТКА 32/80	32	80	22	3000
ТКА 32/125	32	125	37	3000
ТКА 63/80	63	80	30	3000
ТКА 63/125	63	125	45	3000
ТКА 120/80	120	80	45	3000
ТКА 210/80	210	80	75	3000
НКВ 360/80	360	80	132	3000
НКВ 360/125	360	125	250	3000
НКВ 360/200	360	200	400	3000
НКВ 360/320	360	320	500	3000
НКВ 600/125	600	125	315	3000
НКВ 600/200	600	200	500	3000
НКВ 600/320	600	320	800	3000
НКВ 1000/200	1000	200	800	3000
НКВ 1000/320	1000	320	1250	3000

3.11. Насосы для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод

Электронасосы типа «Гном» и «Скат»

Это переносные погружные моноблочные аппараты. Предназначены для откачивания загрязненных вод, содержащих механические примеси (песок, цемент, глину) массовой концентрацией до 10% с частицами размером до 5 мм, с температурой перекачиваемой среды до 35 °С. Насосы с маркировкой В2ТЗ выпускаются во взрывозащитном исполнении (табл. 3.18).

Таблица 3.18. Основные характеристики электронасосов типа «Гном» и «Скат»

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ГНОМ 6/10	6	10	0,55	3000
ГНОМ 10/10	10	10	1,1	3000
ГНОМ 16/16 (В2ТЗ)	16	16	2,2	3000
ГНОМ 25/20	25	20	3	3000
ГНОМ 40/25	40	25	5,5	3000
ГНОМ 53/10	53	10	4	3000
ГНОМ 100/25 (В2ТЗ)	100	25	11	3000
СКАТ 40/12	40	12	5,5	3000
СКАТ 50/15	50	15	7,5	3000
СКАТ 180/30	180	30	30	1500

Насосы типа СМ

Это насосы консольные горизонтальные одноступенчатые. Предназначены для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод и других загрязненных жидкостей с водородным показателем $pH = 6 \div 8,5$, плотностью до 1100 кг/м^3 , температурой до 90°C , с содержанием абразивных частиц не более 1% по объему, размером частиц до 5 мм (табл. 3.19).

Таблица 3.19. Основные характеристики насосов типа СМ

Тип	Подача, $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин^{-1}
СМ 80-50-200	50	50	18,5	3000
СМ 80-50-200/4	25	12,5	4	1500
СМ 100-65-200/4	50	12,5	5,5	1500
СМ 100-65-250/4	50	20	7,5	1500
СМ 125-80-315/4	80	32	22	1500
СМ 100-65-200	100	50	37	3000
СМ 150-125-315/6	100	14	15	1500
СМ 150-125-315/4	200	32	37	1500
СМ 200-150-500/4	400	80	200	1500
СМ 250-200-400/6	530	22	75	1500
СМ 250-200-400/4	800	50	200	1500
СМ 300-250-500	800	32	160	1000
СМО 100-65-250/4	50	20	7,5	1500
СМО 125-80-315/4	80	32	15	1500
СМО 125-80-250/4	100	20	15	1500
СМО 150-125-315/6	132	14	15	1000
СМО 150-125-315/4	200	32	45	1500
СМО 125-125-400/4	200	50	75	1500
СМО 200-150-315	400	32	75	1500
СМОВ 125-80-315	80	32	22	1500
СМОВ 100-65-250	50	20	7,5	1500
СМОВ 125-80-250	100	20	15	1500

Насосы типов СЖ, СД

Это консольные одноступенчатые насосы. Предназначены для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод с содержанием абразивных частиц не более 1% по объему, с водородным показателем $pH = 6 \div 8,5$, плотностью до 1100 кг/м^3 , температурой до 90°C (табл. 3.20).

Таблица 3.20. Основные характеристики насосов типа СЖ, СД

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
СД 16/10	16	10	1,5	1500
СД 16/25	16	25	4	3000
СД 25/14	25	14	3	1500
СД 32/40	32	40	11	3000
СД 50/56	50	56	22	3000
СД 50/10	50	10	4	1500
СД 70/80	70	80	30	3000
СДВ 80/18	80	18	11	1500
СД 80/32	80	32	22	1500
СД 100/40	100	40	30	3000
СД 160/10	160	10	11	1000
СДВ 160/45	160	45	37	1500
СД 250/22,5	250	22,5	37	1500
СД 450/22,5	450	22,5	75	1000
СД 450/56	450	56	132	1500
СД 800/32	800	32	160	1000
1СД 2400/75	2400	75	800	750
СЖ 8/18	8	18	2,2	1500
СЖ 20/30	20	30	7,5	1500
СЖ 45/30	45	30	11	1500
СЖ 500/65	500	65	200	1000

3.12. Насосы для перекачивания высокоабразивных гидросмесей

Песковые насосы типа ПРВП, ПКВП

Это одноступенчатые насосы с открытым рабочим колесом одностороннего входа. Предназначены для перекачивания гидросмесей с водородным показателем рН = 6 ÷ 8, плотностью до 1300 кг/м³, с температурой до 60 °С, объемной концентрацией твердых включений до 25%. ПК, ПР — горизонтальные; ПКВП, ПРВП — вертикальные погружные (табл. 3.21).

Таблица 3.21. Основные характеристики насосов типов ПРВП, ПКВП

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
<i>Корпус футерован одним абразивным материалом</i>				
ПК 63/22,5	63	22,5	15	1500
ПКВП 63/22,5	63	22,5	15	1500
<i>Корпус футерован резиной или полиуретаном</i>				
ПР 12,5/12,5	12,5	12,5	2,2	1500

Окончание табл. 3.21

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ПР 63/22,5	63	22,5	11	1 500
ПРВП 63/22,5	63	22,5	11	1 500
Корпус из износостойкого сплава ИЧХ28Н2				
ПВП 125/60	125	60	75	1 500

Грунтовые насосы типов ГрАТ, ГрАК, 1ГрТ, ГрАУ

Это центробежные одноступенчатые одно- и двухкорпусные насосы с внутренним корпусом из износостойкого сплава (ГрАТ, ГрТ, 1ГрТ) или футерованным абразивным материалом (ГрАК, ГрАУ). Предназначены для перекачивания абразивных гидросмесей плотностью до 1600 кг/м³, с температурой до 70 °С, с максимальным размером твердых включений от 1 до 20 мм и объемной концентрацией твердых включений до 30% (табл. 3.22).

Таблица 3.22. Основные характеристики грунтовых насосов типов ГрАТ, ГрАК, 1ГрТ, ГрАУ

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
ГрАК 85/40	85	40	45	1 500
ГрАТ 85/40	85	40	45	1 500
ГрАК 170/40	170	40	75	1 500
ГрАТ 170/40	170	40	75	1 500
ГрАТ 225/67	225	67	160	1 500
ГрАК 350/40	350	40	132	1 000
ГрАТ 350/40	350	40	132	1 000
ГрАУ 400/20	400	20	75	1 000
ГрАТ 450/67	450	67	250	1 000
ГрАК 700/40	700	40	250	1 000
ГрАТ 700/40	700	40	250	1 000
ГрУ 800/40	800	40	200	750
ГрАТ 900/67	900	67	630	1 000
ГрАТ 950/120	950	120	1 000	1 000
ГрТ 1250/71	1 250	71	630	1 000
ГрАК 1400/40	1 400	40	500	750
ГрАТ 1400/40	1 400	40	500	750
ГрАТ 1800/67	1 800	67	800	750
ГрАУ 1600/25	1 600	25	315	750
1 ГрК 1600/50	1 600	50	500	750
1 ГрТ 1600/50	1 600	50	500	750
ГрАУ 2000/63	2 000	63	1 000	580
ГрУ 2000/63	2 000	63	800	580
1 ГрТ 4000/71	4 000	71	1 600	500

3.13. Насосы для перекачивания морской воды

Морские насосы типов НЦВ, НЦВС

Это электронасосы центробежные вертикальные (С — самовсасывающие). Предназначены для перекачивания морской воды с температурой до 35 °С и пресной воды с температурой до 70 °С. Насосы типа НЦВС — самовсасывающие (табл. 3.23).

Таблица 3.23. Основные характеристики морских насосов типов НЦВ и НЦВС

Тип	Поддача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
НЦВ 25/20	25	20	4	3000
НЦВ 25/30	25	30	5,5	3000
НЦВ 25/65	25	65	11	3000
НЦВС 25/65	25	65	11	3000
НЦВ 25/80	25	80	15	3000
НЦВ 40/20	40	20	5,5	3000
НЦВС 40/20	40	20	6	3000
НЦВС 40/30	40	30	8	3000
НЦВ 40/65	40	65	15	3000
НЦВС 40/65	40	65	14	3000
НЦВ 40/80	40	80	22	3000
НЦВ 63/20	63	20	7,5	3000
НЦВ 63/30	63	30	11	3000
НЦВС 63/30	63	30	11	3000
НЦВ 63/80А	63	80	25	3000
НЦВ 63/100А	63	100	35	3000
НЦВ 100/20А	100	20	11	3000
НЦВ 100/30А	100	30	15	3000
НЦВС 100/30А	100	30	14	3000
НЦВ 100/80А	100	80	42	3000
НЦВ 100/100А	100	100	55	3000
НЦВ 160/10А	160	10	11	1500
НЦВ 160/20А	160	20	18,5	1500
НЦВ 160/30А	160	30	22	1500
НЦВС 160/30А	160	30	22	1500
НЦВ 160/80А	160	80	73	3000
НЦВ 160/100А	160	100	73	3000
НЦВ 220/100А	220	100	100	3000
НЦВ 250/20А	250	20	22	1500
НЦВ 250/100А	250	100	125	3000
НЦВ 250/30А	250	30	30	1500
НЦВС 250/30А	250	30	30	1500
НЦВ 315/10А	315	10	15	1500
НЦВ 400/20А	400	20	30	1500
НЦВ 400/30А	400	30	45	1500
НЦВ 630/15А	630	15	37	1500
НЦВ 630/30А	630	30	70	3000
ДПЖН-14	1000/500	100/200	425	3000

3.14. Насосы центробежные химические (ОАО «Насосный завод», г. Екатеринбург)

Насосы предназначены для перекачивания химически активных и нейтральных жидкостей плотностью не более 1850 кг/м³ (табл. 3.24—3.27).

Таблица 3.24. Основные характеристики насосов типа X и TX

Тип	Подача м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м	Мощность электродви- гателя, кВт	Масса насоса/ агрегата, кг
X50-32-125	12,5	20	48 (2900)	3,5	3—4	33/95
X65-50-125	25	20	48 (2900)	4	4—5,5	36/100
434X65-50-160	25	32	48 (2900)	4	5,5—11	42/155
X80-65-160	50	32	48 (2900)	4,5	11—18,5	46/200
X80-50-250	50	80	48 (2900)	4,5	30—45	120/440
X150-80-160	100	32	48 (2900)	5,5	22—37	96/400
X150-125-315	200	32	24 (1450)	5,5	45—75	230/715
TX125-80-250	80	20	24 (1450)	5	11—15	160/306

Таблица 3.25. Основные характеристики насосов консольных в пластмассовом исполнении

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота враще- ния, с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допусти- мый кави- тационный запас, м	Мощность электро- двигате- ля, кВт	Габариты, мм	Масса агрегата, кг
X40-32-125П	6,3	20	48 (2900)	3,5	2,2—3	850×400×335	34/87
X65-50-125П	25	20	48 (2900)	4,5	3,0—5,5	885×400×395	29/90
X65-5 0-160П	25	32	48 (2900)	4,5	5,5—11	985×400×480	40/121
X80-65-160П	50	32	48 (2900)	5	11—18,5	1185×440×395	42/176

Таблица 3.26. Основные характеристики насосов моноблочных в пластмассовом исполнении (ХМ)

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота враще- ния, с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допусти- мый кави- тационный запас, м	Мощность электро- двигателя, кВт	Габариты, мм	Масса агрегата, кг
ХМ40-32-126П	6,3	20	48 (2900)	3,5	3,6	520×370×320	39
ХМ65-50-125П	25	20	48 (2900)	4,5	4	525×370×330	35
ХМ80-65-160П	50	32	48 (2900)	5	11	695×370×385	76
ХМ65-50-160П	25	32	48 (2900)	4,5	5,5	595×370×360	45

Таблица 3.27. Основные характеристики электронасосов типа ЦГМ

Тип	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м	Мощность элек- тродвигателя, кВт	Масса агрегата, кг
ЦГМ-12,5/20	12,5	20	48 (2900)	3	3—4	165
ЦГМ-25/20	25	20	48 (2900)	4	4—5,5	175
ЦГМ-25/32	25	32	48 (2900)	4	7,5—11	280
ЦГМ-50/32	50	32	48 (2900)	4	15—18,5	310

3.15. Насосы химические герметичные типа ЦГ, БЭН и ТЭ (ЗАО «Вентиляция, водоснабжение, теплоснабжение», далее «ВВТ»)

Применяются в химической, нефтяной, нефтехимической, газовой, топливноэнергетической, оборонной, микробиологической и химико-фармацевтической, пищевой, мясомолочной, холодильной и перерабатывающей промышленности, металлургии, энергетике.

Моноблочная бессальниковая взрывозащищенная конструкция и специальные материалы насоса обеспечивают полную герметичность технологического процесса, отсутствие утечек, сохранение стерильности и чистоты перекачиваемого продукта, безопасность персонала и окружающей природной среды, долговечность, надежность и экономичность в эксплуатации, практически отсутствие шума и вибрации.

Предназначены для перекачивания в стационарных условиях более 500 наименований нейтральных (в том числе сжиженных) газов, пары которых могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.

Плотность перекачиваемой жидкости не более 1,6 т/м³ (табл. 3.28—3.30).

Таблица 3.28. Основные характеристики герметичных насосов типа ЦГ

Марка	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Давление в рабо- чем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачиваемой жидкости, °C
ЦГ 6,3/20-1,1-2	6,3	20	1,1	1,6	-50—+100
ЦГ 6,3/32-2,2-2	6,3	32	2,2	1,6	-50—+100
ЦГ 6,3/32-2,2-5	6,3	32	2,2	5	-50—+100
1 ЦГ 12,5/50-4-2	12,5	50	4	1,6	-50—+100
1 ЦГ 12,5/50-4-3	12,5	50	4	1,6	+100—+360
1 ЦГ 12,5/50-4-5	12,5	50	4	5	-50—+100
1 ЦГ 12,5/50-4-6	12,5	50	4	5	+100—+360
1 ЦГ 25/12,5-3Б-1	25	12,5	3	1,6	-50—+50

Окончание табл. 3.28

Марка	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Давление в рабо- чем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачиваемой жидкости, °С
ЦГ 25/20-3-3	25	20	3	1,6	+100—+360
2 ЦГ 25/50-5,5-1	25	50	5,5	1,6	-50—+50
2 ЦГ 25/50-5,5-2	25	50	5,5	1,6	+50—+100
2 ЦГ 25/50-5,5-3	25	50	5,5	1,6	+100—+360
2 ЦГ 25/50-5,5-4	25	50	5,5	5	-50—+50
2 ЦГ 25/50-5,5-5	25	50	5,5	5	+50—+100
2 ЦГ 25/50-5,5-6	25	50	5,5	5	+100—+360
1 ЦГ 25/80-11-4	25	80	11	5	-50—+50
1 ЦГ 25/80-11-5	25	80	11	5	+50—+100
1 ЦГ 25/80-11-5С	25	80	11	5	+50—+100
ЦГ 50/12,5-5,5-1	50	12,5	5,5	1,6	-50—+50
4 ЦГ 50/50-11-1	50	50	11	1,6	-50—+50
4 ЦГ 50/50-11-2	50	50	11	1,6	+50—+100
4 ЦГ 50/50-11-3	50	50	11	1,6	+100—+360
4 ЦГ 50/50-11-4	50	50	11	5	-50—+50
4 ЦГ 50/50-11-5	50	50	11	5	+50—+100
4 ЦГ 50/50-11-5С	50	50	11	5	+50—+100
4 ЦГ 50/50-11-6С	50	50	11	5	+100—+360
5 ЦГ 50/80-К-18,5М-4Л	50	80	18,5	5	-100—+50
4 ЦГ 50/80-22-4	50	80	22	5	-50—+50
4 ЦГ 50/80-22-5	50	80	22	5	+50—+100
1 ЦГ 100/32-11-1	100	32	11	1,6	-50—+50
1 ЦГ 00/32-11-2	100	32	11	1,6	+50—+100
1 ЦГ 100/32-11-3	100	32	11	1,6	+100—+360
1 ЦГ 100/32-11-4	100	32	11	5	-50—+50
1 ЦГ 100/32-11-5	100	32	11	5	+50—+100
1 ЦГ 100/32-11-6	100	32	11	5	+100—+360
2 ЦГ 00/80-37-5	100	80	37	5	-50—+100
4 ЦГ 100/125-Н-К-55М-4Л	100	125	55	5	-70—+30
5 ЦГ 100/125-75-5	100	125	75	5	-50—+100
3 ЦГ 200/50-37-5	200	50	37	5	-50—+100
2 ЦГ 200/80-75-6	200	80	75	4,7	+100—+360

Таблица 3.29. Основные характеристики герметичных насосов типа БЭН

Марка	Перекачиваемый продукт	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Давление в рабочем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачиваемой жидкости, °С
БЭН-97	Вакуумное масло	50	250	75	9,5	–50—+100
БЭН-213	Углеводороды	8,5	150	18,5	2,5	+40
БЭН-220	Хладон-11	200	40	55	1	–40—+35
БЭН-221	Перегретая вода	550	75	132	6,3	+100—+260
БЭН-224	Щелочь	140	32	22	2,5	+100—+160
БЭН-235	ШФЛУ	200	440	200	3,5	до +30
БЭН-250	Вода с аминами	15	230	45	2,5	до +20
БЭН-251	Промывочная вода	20	18	3	7,2	до +45
БЭН-254	Рафинадный раствор	30	150	37	2	до +30
БЭН-255	Вода с аминами	15	280	45	2,5	до +40
БЭН-256	Сжиженные газы	60	85	15	5	–40—5
БЭН-257	Щелочь 20%-ная	70	70	30	2,5	+50
БЭН-262	Сжиженные газы	50	380	75	4	0—+40
БЭН-262/1	Сжиженные газы	50	400	75	5	0—+30
БЭН-262/2	Сжиженные газы	38	440	75	5	0—+30
БЭН-265	Щелочь 20%-ная	15	300	75	4	+50
БЭН-270	Холодильный агент	20	30	4	2,5	–40—+45
БЭН-273	Сжиженные газы	25	45	4	4	–96—5
БЭН-275	Жидкий аммиак	20	44	4	1,6	–40—+20
БЭН-276	Сжиженные газы	200	125	75	3,5	+50—+60
БЭН-277	Сжиженные газы	300	100	75	2,6	+50—+60
БЭН-280	Пирокоденсат	50	135	37	2,5	0—+40
БЭН-280/1	Химически активная жидкость	40	100	37	1,6	0—+100
БЭН-281	Бензин	70	175	55	2,5	0—+40
БЭН-282	Гидрогенизат	40	100	37	7,5	+100—+180
БЭН-283	Сжиженные газы	150	82	45	5	–40—+60
БЭН-284	Сжиженные газы	90	260	75	4	–30—25
БЭН-284/1	Сжиженные газы	90	250	75	4	–30—25
БЭН-284/2	Сжиженные газы	100	270	90	5	–30—+30
БЭН-285**	Сжиженные газы	300	23	30	1,6	+120—+172
БЭН-286	Сжиженные газы	12,5	100	7,5	1,6	+90—+100
БЭН-287	Сжиженные газы	50	200	45	3,2	+30—+35
БЭН-293	Дифенильная смесь	120	65	30	1,6	+100+360
БЭН-296	Сжиженные газы	120	240	75	5	+25—+50
БЭН-296/1	Сжиженные газы	120	220	75	5	–30—+60
БЭН-297	Сжиженные газы и конденсат	5	270	15	4	0—+50
БЭН-299	Гептан-полипропилен	80	460	132	5	+10—+65

Продолжение табл. 3.29

Марка	Перекачиваемый продукт	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Давление в рабочем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачиваемой жидкости, °C
БЭН-300	Сжиженные газы	20	81	7,5	0,8	+30
БЭН-301	Сжиженные газы	30	400	75	2,5	+25
БЭН-301/3	Флегма	30	450	110	5	+60—+120
БЭН-302	Сжиженные газы	32	83	15	1,2	−93
БЭН-303	Сжиженные газы	45	95	15	1	+35
БЭН-304	Сжиженные газы	45	100	30	0,2	+40
БЭН-305	Ацетонитрил	50	65	15	0,9	+20
БЭН-306	Сжиженные газы	75	73	22	0,9	+70
БЭН-308	Щелочь 10%-ная	28	20	3	5	+20—+40
БЭН-309	Сжиженные газы	15	130	15	1	+10—+20
БЭН-313	Метанол	12	60	4	1,6	+65
БЭН-314	Пирооконденсат	40	90	22	1,6	+100—+130
БЭН-314/2	Пирооконденсат	45	85	22	1,6	+100–135
БЭН-316	Сжиженные углеводороды	100	40	22	5	−30—+30
БЭН-317	Сжиженные углеводороды	15	70	11	5	−30—+30
БЭН-320	Сжиженные газы	460	125	110	3,2	−50—+30
БЭН-322*	Сжиженные газы	300	145	110	4,5	+60—+70
БЭН-322	Сжиженные газы	300	145	132	4	−18—+37
БЭН-323*	Сжиженные газы	400	125	132	3,7	+45—+60
БЭН-329	Сжиженные углеводороды	170	160	90	2,5	0—+80
БЭН-330	Сжиженные углеводороды	30	650	110	6	−30—+40
БЭН-332/1	Жидкие углеводороды	50	270	75	3,5	−40—+40
БЭН-333	Сернисто-щелочной раствор 20%-ный	12	66	11	1,6	+100—+125
БЭН-335	Сжиженные газы	320	100	75	1,5	+130
БЭН-336	Сжиженные газы	320	200	132	2,2	+90
БЭН-337	Сжиженные газы	160	200	110	4	−45—+30
БЭН-339	Пирооконденсат	30	105	18,5	1	до 60
БЭН-340	Раствор щелочи	80	45	30	3	до 55
БЭН-345	ДМФА-96%, смола 2%	32	75	15	1	до + 165
БЭН-346	Сжиженные газы	5	50	2,2	2,5	−45
БЭН-348	Сжиженные газы	5,2	310	11	3	0—+40
БЭН-349	Бензол	40	320	110	4	+90—+100
БЭН-349/1	Толуол с МЭК	40	340	110	5	+70—+90
БЭН-349/2	Щелочь 20%-ная	20	365	110	5	+10—+40
БЭН-350	Бензол	8	45	4	1,6	+180

Окончание табл. 3.29

Марка	Перекачиваемый продукт	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Давление в рабочем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачиваемой жидкости, °С
БЭН-356	Сжиженные углеводороды	50	125	30	5	–30—+60
БЭН-358	Бензол	35	125	30	5	+10—+45
БЭН-359	БТК-фракция	15	650	110	6	до 60
БЭН-359/1	Сжиженные газы	25	610	110	6	–30—+45
БЭН-361	Фракция С9	10	130	15	2	+180
БЭН-362	Легкий бензин	15	550	75	5	+20
БЭН-363	Бензин	70	150	75	1,6	–30—+30
БЭН-364	Щелочь 20%-ная	70	25	11	2,5	+40—+50
БЭН-371	Сжиженные углеводороды	30	525	132	5	+100—+350
БЭН-374	Метан	45	90	22	5	–100
БЭН-375	Бензол	90	85	37	1,6	+30—+90
БЭН-377	Легкий бензин	90	190	90	2	–44—+55
БЭН-378	Бутан	6	400	22	2,5	–30—+40
БЭН-380	Сжиженные газы	45	85	11	5	–40—5
БЭН-381*	Ацетонитрил	400	230	280	3,5	до +70
БЭН-383	Сжиженные газы	90	170	45	25	от –30
БЭН-384	Пирокоденсат	25	48	5,5	5	+30—+50
БЭН-385/1	Щелочь	1,5	190	15	3	0—+50
БЭН-385/3	Оксид этилена	1,4	100	4	2,5	+10—+40
БЭН-386	Толуол	6	640	55	5	+40—+90
БЭН-387	БТ-фракция	50	550	132	5	0—+57
БЭН-388	Бензол	5	400	30	5	+40—+120
БЭН-389	Сжиженные углеводороды	15	200	22	3	+30—+40
БЭН-389/1	Пропан-бутан	30	200	37	3	+30—+50
БЭН-390**	Пропан-бутан	50	25	5,5	4	–30—+37
БЭН-392	Сжиженные газы	30	280	45	4	–30—+30
БЭН-394	Химически активные жидкости	12,5	150	22	1,6	0—+100
БЭН-396	Химически активные жидкости	50	50	22	1,6	+100—+130
БЭН-421	Эфир	8	50	4,0	1	0—+45
БЭН-422	Сжиженные углеводороды	40	50	11	1	0—+40
БЭН-441	Дихлорэтан	20	120	30	2,5	0—+50
БЭН-445	Смесь керосина и дизельного топлива	0,5	85	4	1,6	до +40
БЭН-446	Вода	10	85	11	1,6	0—+40

* Напряжение 660 В.

** $n=1500 \text{ мин}^{-1}$.

Таблица 3.30. Основные характеристики электронасосов типа ТЭ

Марка	Перекачиваемый продукт	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощ- ность, кВт	Давление в рабочем контуре p_y , МПа, не более	Температура перекачи- ваемой жидкости, °С
2 ТЭ 100/8	Трансформаторное масло	100	8	3	0,4	80
2 ТЭ 100/15	Трансформаторное масло	100	15	7,5	0,4	80
2 ТЭ 100/20	Трансформаторное масло	100	20	7,5	0,4	80

3.16. Насосы химические типов Х, ХО и АХ (ЗАО «ВВТ»)

Предназначены для перекачивания химически активных и нейтральных жидкостей (в том числе горячих и кристаллизующихся жидкостей — исполнение О, а также для взрыво- и пожароопасного производства — исполнение Е) плотностью не более 1850 кг/м³, вязкостью до $30 \cdot 10^{-6}$ м²/с, содержащих твердые включения: насосы Х 0151 — размером до 0,2 мм, объемная концентрация которых не превышает 0,1%, насосы АХ — размером до 1 мм, объемная концентрация которых не превышает 1,5%.

Центробежные горизонтальные одноступенчатые консольные насосы (ХМ — моноблочные) с опорой на корпусе имеют различное исполнение по материалу проточной части и типу уплотнения.

Температура перекачиваемой жидкости зависит от исполнения проточной части: материал А — от –40 до +90 °С; материал К, Е, И, М, Т — от –40 до +120 °С; материал Д — от 0 до +90 °С; материал Л — от 0 до +70 °С. Насосы исполнения О изготавливают с охлаждением подшипникового узла и применяют для перекачивания жидкостей температурой от 0 до +250 °С (табл. 3.31—3.33).

Таблица 3.31. Основные характеристики насосных агрегатов типа Х

Марка агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м, не более	Мощность двигателя, кВт, с плотностью жидкости		Масса, кг		
							двигателя	агрегата с плотностью жидкости	
					до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³		до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³
Х50-32-125	12,5	20	48 (2900)	3,5	3	4	37	125	130
Х50-32-125а	10,5	14	48 (2900)	3,5	3	4	37	125	130
Х50-32-250	12,5	80	48 (2900)	3,5	18,5	30	90	300	350
Х50-35-250а	11,5	67	48 (2900)	3,5	15	22	90	285	330
Х65-50-125	25	20	48 (2900)	4	4	5,5	40	135	145
Х65-50-125а	23	17	48 (2900)	4	3	5,5	40	130	145

Окончание табл. 3.31

Марка агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м, не более	Мощность двигателя, кВт, с плотностью жидкости		Масса, кг		
							двигателя	агрегата с плотностью жидкости	
					до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³		до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³
X65-50-160	25	32	48 (2900)	4	7,5	11	55	190	225
X65-50-160a	22,5	26	48 (2900)	4	5,5	7,5	55	145	190
X80-65-160	50	32	48 (2900)	4,5	15	18,5	60	270	285
X80-65-160a	45	26	48 (2900)	4,5	11	15	60	230	270
X80-50-200	50	50	48 (2900)	4,5	18,5	30	73	305	355
X80-50-200a	45	40	48 (2900)	4,5	15,5	30	73	290	355
X80-50-250	50	80	48 (2900)	4,5	37	55	119	445	570
X80-50-250a	45	67	48 (2900)	4,5	30	45	119	380	465
X100-80-160	100	32	48 (2900)	5	22	30	83	320	340
X100-80-160a	90	26	48 (2900)	5	18,5	30	83	300	340
X100-65-200	100	50	48 (2900)	5	37	55	130	420	545
X100-65-200a	90	40	48 (2900)	5	22	30	130	355	375
X100-65-250	100	80	48 (2900)	5	75	90	135	772	810
X100-65-250a	90	67	48 (2900)	5	55	75	135	620	770
X100-65-315	100	125	48 (2900)	5	132	200	180	1120	1470
X100-65-315a	90	105	48 (2900)	5	110	160	180	1090	1240
X150-125-315	200	32	24 (1450)	4,5	45	75	205	700	910
X150-125-315a	180	26	24 (1450)	4,5	37	55	205	675	780
X150-125-400	200	50	24 (1450)	4,5	75	110	272	910	1235
X150-125-400a	180	40	24 (1450)	4,5	75	90	272	910	955
X200-150-315	315	32	24 (1450)	5	55	75	245	790	930
X200-150-315a	290	26	24 (1450)	5	45	55	245	700	790

Таблица 3.32. Основные характеристики насосных агрегатов типа ХО

Марка агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м, не более	Мощность двигателя, кВт, с плотностью жидкости		Масса, кг		
							двигателя	агрегата с плотностью жидкости	
					до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³		до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³
ХО50-35-250a	11,5	67	48 (2900)	3,5	15	22	95	290	335
ХО80-50-200	50	50	48 (2900)	4,5	18,5	30	72	310	360
ХО80-50-200a	45	40	48 (2900)	4,5	15	30	72	395	360
ХО100-80-160	100	32	48 (2900)	5	22	30	95	340	360
ХО100-80-160a	90	26	48 (2900)	5	18,5	30	95	320	360
ХО100-65-200	100	50	48 (2900)	5	37	55	100	495	465
ХО100-65-200a	90	40	48 (2900)	5	22	30	100	400	420
ХО100-65-250	100	80	48 (2900)	5	75	90	115	790	830

Окончание табл. 3.32

Марка агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м, не более	Мощность двигателя, кВт, с плотностью жидкости		Масса, кг		
					до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³	двигателя	агрегата с плотностью жидкости	
								до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³
ХО100-65-250а	90	67	48 (2900)	5	55	75	115	675	790
ХО80-50-250	50	80	48 (2900)	4,5	37	55	135	480	590
ХО80-50-250а	45	67	48 (2900)	4,5	30	45	135	435	445
ХО80-50-315	50	125	48 (2900)	4,5	75	90	160	760	800
ХО80-50-315а	45	100	48 (2900)	4,5	55	75	160	625	760
ХО150-125-315	200	32	24 (1450)	4,5	45	75	215	725	930
ХО150-125-315а	180	26	24 (1450)	4,5	37	55	215	700	795
ХО200-150-315	315	32	24 (1450)	5	55	75	260	800	975
ХО200-150-315а	290	26	24 (1450)	5	45	55	260	715	800

Таблица 3.33. Основные характеристики насосных агрегатов типа АХ

Марка агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения с ⁻¹ , (мин ⁻¹)	Допустимый кавитационный запас, м, не более	Мощность двигателя, кВт, с плотностью жидкости		Масса, кг		
					до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³	двигателя	агрегата с плотностью жидкости	
								до 1,3 т/м ³	до 1,85 т/м ³
АХ50-32-160	12,5	32	48 (2900)	3,5	5,5	7,5	49	145	180
АХ50-32-200	12,5	50	48 (2900)	3,5	15	18,5	60	285	295
АХ65-40-200	25	50	48 (2900)	4	15	22	57	290	335
АХ100-65-315	50	32	24 (1450)	3	15	22	125	400	460
АХ100-65-315а	44,5	25	24 (1450)	3	11	15	125	345	400
АХ100-65-315б	39	20	24 (1450)	3	11	11	125	345	345
АХ 100-65-400	50	50	24 (1450)	3	30	37	186	610	695
АХ100-65-400а	44	39	24 (1450)	3	22	30	186	590	610
АХ100-65-400б	40	33	24 (1450)	3	18,5	22	186	565	590
АХ125-80-250	80	20	24 (1450)	4	15	18,5	105	370	385
АХ125-100-315	125	32	24 (1450)	4	37	45	160	575	600
АХ125-100-315а	112	26	24 (1450)	4	30	37	160	520	575
АХ125-100-315б	102	21,5	24 (1450)	4	22	30	160	500	520
АХ125-100-400	125	50	24 (1450)	4,5	55	75	200	805	940
АХ125-100-400а	112	41	24 (1450)	4,5	45	55	200	760	805
АХ125-100-400б	105	35	24 (1450)	4,5	45	45	200	760	760
АХ150-125-315	200	32	24 (1450)	6	55	75	185	790	925
АХ150-125-315а	180	27	24 (1450)	6	45	55	185	735	790
АХ150-125-315б	165	21	24 (1450)	6	30	37	185	605	705

3.17. Вентиляторы

Работа центробежного вентилятора, общий вид и аэродинамическая схема которого приведены на рис. 3.18, при заданном числе оборотов характеризуется объемной подачей, полным давлением p , мощностью N и полным КПД η .

Полное давление вентилятора обычно определяют экспериментальным путем как разность полных давлений на выходе и входе вентилятора:

$$p = (p_{2\text{ст}} - p_{1\text{ст}}) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2}, \quad (3.31)$$

где $p_{1\text{ст}}$, $p_{2\text{ст}}$ — статическое давление потока на входе и выходе вентилятора соответственно, Па; v_1 и v_2 — абсолютные скорости потока, м/с.

Полезная мощность, кВт, вентилятора определяется по формуле

$$N_{\text{пол}} = pQ, \quad (3.32)$$

где Q — объемная подача (производительность) вентилятора, м³/с.

Мощность на валу (эффективная мощность) $N_{\text{в}}$ обычно определяется при испытании вентилятора.

Вентиляторы характеризуются полным и статическим КПД, так как в некоторых случаях для вентиляторов характерно не полное давление, ими развиваемое, а лишь его статическая часть $p_{\text{ст}}$ или соответственно статический напор $H_{\text{ст}}$:

$$\eta = \frac{pQ}{N_{\text{в}}};$$

$$\eta_{\text{ст}} = \frac{p_{\text{ст}}Q}{N_{\text{в}}},$$

где $p_{\text{ст}} = p_{2\text{ст}} - p_{1\text{ст}}$.

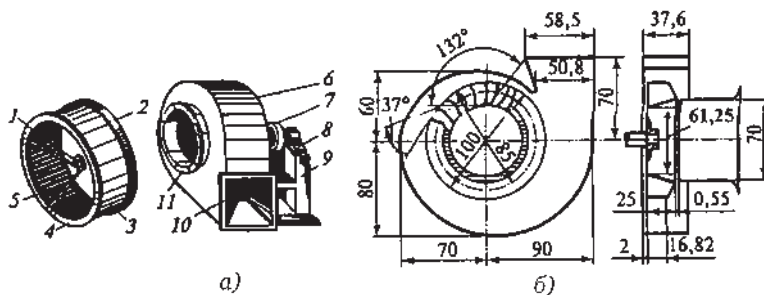
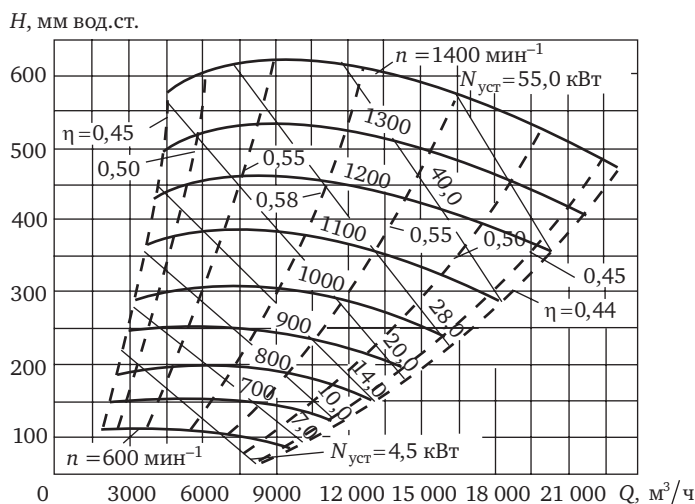


Рис. 3.18. Центробежный вентилятор:

a — устройство; b — аэродинамическая схема; 1 — ступица; 2 — основной диск; 3 — рабочие лопасти; 4 — передний диск; 5 — лопастная решетка; 6 — корпус; 7 — шкив; 8 — подшипники; 9 — станина; 10, 11 — фланцы

Рис. 3.19. Размерные характеристики вентилятора ВВД № 11 при $n = \text{var}$

Статический КПД дополняет оценку эффективности вентилятора, так как в полной энергии, сообщаемой потоку газа, существенную долю составляет кинетическая энергия. Ориентировочно $\eta_{\text{ст}}$ меньше η на 20—30%.

Мощность двигателя для привода вентилятора, кВт, выбирают с запасом на возможные отклонения рабочего режима от расчетного:

$$N_{\text{эл}} = \frac{(1,05 - 1,2)pQ}{1000\eta_{\text{пер}}}, \quad (3.34)$$

где η — полный КПД вентилятора; $\eta_{\text{пер}}$ — КПД передачи. При непосредственном соединении валов двигателя и вентилятора $\eta_{\text{пер}} = 1$; при клиноременной передаче $\eta_{\text{пер}} = 0,92$.

На рис. 3.19 представлены характеристики общепромышленного вентилятора ВВД № 11.

Тягодутьевые машины ОАО «Дальэнергомаш»

Основные данные вентиляторов и дымососов ОАО «Дальэнергомаш» даны в табл. 3.34—3.36.

Таблица 3.34. Основные характеристики вентиляторов (режим подачи)

Тип	Q , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	p , мм вод.ст.	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В)	m , т	$N_{\text{дв}}$, кВт	n , мин^{-1}	U , В
Д-15/140	7,5—15— 28	212—225— 210	7—14—27	2×2×1,7	1,5	30	750	220/380
	10—20— 37	380—405— 375	17—32—63			75	1000	

Окончание табл. 3.34

Тип	Q , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	p , мм вод.ст.	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В)	m , т	$N_{\text{дв}}$, кВт	n , мин^{-1}	U , В
Д-60/310	21—36— 53	165—180— 170	15—25—40	2,1×2,2×2	1,6	55	600	220/380
	26—45— 66	260—286— 270	30—50—78			110	750	
	35—60— 88	460—500— 480	70—118— 184			200	1000	380/600
Д-90/410	30—54— 78	215—240— 230	28—50—78	2,3×2,6×2,2	1,9	90	600	220/380
	38—68— 100	335—375— 360	55—100— 156			160	750	380/660
	50—90— 130	600—666— 640	130—233— 360			400	1000	6000
ДН-15У	20—38— 55	240—215— 140	20—28—30	2,2×2,5×2,4	2,11	55	750	220/380
	27—50— 73	425—380— 245	45—62—70			75	1000	
	40—75— 110	960—860— 560	150—210— 240			250		380/660
						315	1500	6000
ДН-17У	30—55— 80	300—270— 170	35—50—55	2,3×2,8×2,6	2,38	90	750	220/380
	40—73— 107	535—480— 300	82—115— 125			160	1000	380/660
	60—110— 160	1200—1080— 680	275—385— 425			500	1500	6000
						630		

Таблица 3.35. Основные характеристики дымососов (режим отсасывания)

Тип	Q , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	p , мм вод.ст.	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В)	m , т	$N_{\text{дв}}$, кВт	n , мин^{-1}	U , В
Д-15/140	7,5—15— 28	136—145— 135	5—9—17	2×2×1,7	1,5	30	750	220/380
	10—20— 37	242—255— 240	11—21— 40			75	1000	
Д-60/310	21—36— 53	106—115— 109	10—16— 23	2,1×2,2×2	1,6	55	600	220/380
	26—45— 66	166—183— 173	20—35— 50			110	750	
	35—60— 88	295—320— 307	45—75— 118			200	1000	380/600
Д-90/410	30—54— 78	135—154— 145	18—32— 50	2,3×2,6×2,2	1,9	90	600	220/380
	38—68— 100	215—240— 230	35—64— 100			160	750	380/660
	50—90— 130	385—426— 410	84—150— 230			400	1000	6000

Окончание табл. 3.35

Тип	Q, тыс. м ³ /ч	p, мм вод.ст.	N _в , кВт	Габариты (Д×Ш×В)	m, т	N _{дв} , кВт	n, мин ⁻¹	U, В
ДН-15У	20—38— 55	240—215— 140	12—18— 20	2,2×2,5×2,4	2,11	55	750	
	27—50— 73	425—380— 245	30—40— 45			75	1000	220/380
	40—75— 110	620—560— 360	95—138— 152			250	1500	380/660
						315		6000
ДН-17У	30—55— 80	195—175— 110	22—32— 35	2,3×2,8×2,6	2,38	90	750	220/380
	40—73— 107	345—310— 195	52—75— 82			160	1000	380/660
						500	1500	6000
	60—110— 160	780—700— 440	180— 250—275			630		

Таблица 3.36. Основные характеристики вентиляторов мельничных горячего дутья

Тип	Q , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	p , мм вод.ст.	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В)	m , т	Тип двигателя	$N_{\text{дв}}$, кВт	n , мин^{-1}	U , В
ВМ-40/ 750-ПУ	13— 27—39	165— 170—138	10— 18—25	1,8×2× 1,9	1,75	4АМ250S6У3	45	1000	220/ 380
	20— 40—59	370— 382—310	35— 60—84			4АМ280S4У3	110	1500	
ВМ-50/ 1000-ПУ	16— 36—53	230— 242—205	17— 33—50	1,8×2,4× 2,5	2,05	АИР315М6У3	132	1000	380/ 660
	24— 54—80	518— 545—460	56— 112—167			АИР355М4У3	315	1500	

Мельничные вентиляторы предназначены для перемещения воздуха и других неагрессивных газов температурой до 400 °С с концентрацией твердых частиц до 1 кг/м³. Значения параметров вентиляторов даны при начальных условиях:

Начальное абсолютное давление, Па (мм рт.ст.) 101325 (760)

Начальная температура, °С 400

Плотность перемещаемой среды, кг/м³ 0,522

Вентиляторы общепромышленного назначения

Предназначены для перемещения воздуха или газозоодушных смесей в системах вентиляции (притока и вытяжки воздуха в помещениях), кондиционирования и воздушного отопления производственных и технологических помещений.

Вентиляторы выпускаются в радиальном (центробежном) и осевом исполнении. В зависимости от полного давления, создаваемого вентилятором при перемещении воздуха, они подразделяются на вентиляторы:

- низкого давления — до 1000 Па (до 100 кгс/м²);
- среднего давления — от 1000 Па до 3000 Па (от 100 до 300 кгс/м²);
- высокого давления — свыше 3000 Па (свыше 300 кгс/м²).

В обозначении вентиляторов буквы и цифры обозначают:

- *V* — вентилятор;
- *P(Ц)* — радиальный (центробежный); *O* — осевой;
- стократное значение коэффициента полного давления;
- коэффициент быстроходности;
- номер (диаметр рабочего колеса в дм (1 дм = 10 см = 100 мм)).

Вентиляторы общего назначения изготавливаются из углеродистой стали:

- для обычных сред (без обозначения С);
- теплостойкие (жаростойкие) для сред с температурой до +200 °С.

Вентиляторы специального назначения:

- коррозионностойкие из нержавеющей стали (12Х18Н10Т) для агрессивных невзрывоопасных сред с температурой до 40 °С и до 80 °С для радиальных вентиляторов (К1, К);

- коррозионностойкие теплостойкие (жаростойкие) из нержавеющей стали 12Х18Н10Т для агрессивных невзрывоопасных сред с температурой до 200 °С (К1Ж и КЖ2, К1Ж2, К1Ж3).

В табл. 3.37—3.41 представлены основные характеристики вентиляторов ЗАО «ВВТ». Это вентиляторы общего назначения из оцинкованной или углеродистой стали, теплостойкие из углеродистой стали (Ж), коррозионностойкие из нержавеющей стали (К1), коррозионностойкие теплостойкие из нержавеющей стали (К1Ж).

Таблица 3.37. Характеристики вентиляторов радиальных ВР-300-45

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР-300-45-2	АИР56В4	0,18	1330	0,6—0,9	260—270	14,5	Д038*	4*
ВР-300-45-2Ж	АИР63А4	0,25	1330	0,6—1,15	260—265	15,8	Д038*	4*
ВР-300-45-2К	АИР63В4	0,37	1330	0,6—1,15	260—265	16,7	Д038*	4*
ВР-300-45-2К1Ж	АИР80А2	1,5	2850	1,3—2	1200—1250	25	Д038*	4*
	АИР80В2	2,2	2850	1,3—2,5	1200—1200	26,9	Д038*	4*
ВР-300-45-2,5	АИР71А4	0,55	1350	1,1—1,8	430—500	27,1	Д038*	4*
ВР-300-45-2,5Ж	АИР71В4	0,75	1350	1,1—2,2	430—510	27,4	Д038*	4*
ВР-300-45-2,5К1	АИР90Л2	3	2850	2,4—2,7	1950—2000	36,6	Д038*	4*
ВР-300-45-2,5К1Ж	АИР100С2	4	2850	2,4—3,4	1950—2200	42,1	Д038*	4*
	АИР100Л2	5,5	2850	2,4—4,4	1950—2300	48	Д038*	4*

Окончание табл. 3.37

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР-300-45-3,15	АИР71В6	0,55	920	1,5—2,7	330—370	34	Д038	4
ВР-300-45-3,15Ж	АИР80А6	0,75	920	1,5—3,5	330—360	36,2	Д038	4
ВР-300-45-3,15К1	АИР80В4	1,5	1400	2,3—3,5	800—880	38,4	Д038	4
ВР-300-45-3,15К1Ж	АИР90Л4	2,2	1400	2,3—5,1	800—850	43,2	Д038	4
ВР-300-45-4	АИР90Л6	1,5	930	3,5—5,2	550—620	58,7	Д039	4
ВР-300-45-4Ж	АИР100Л6	2,2	930	3,5—7,3	550—630	68,7	Д039	4
ВР-300-45-4К1	АИР100Л4	4	1430	5,2—6	1320—1400	66,7	Д039	4
ВР-300-45-4К1Ж	АИР112М4	5,5	1430	5,2—8,3	1320—1520	88,9	Д039	4
	АИР132S4	7,5	1430	5,2—8,8	1320—1550	109,5	Д040	4

* Рекомендуется применять виброизоляторы только при комплектации двигателями на 3000 мин⁻¹.

Таблица 3.38. Характеристики вентиляторов радиальных ВР-80-70

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР-80-70-1	АИР160S8	7,5	730	15—28	820—660	600	Д043	5
ВР-80-70-1	АИР160М8	11	730	15—30,5	820—610	620	Д043	5
ВР-80-70-1	АИР180М6	18,5	980	20,5—39	1480—1200	680	Д043	5
ВР-80-70-1	АИР200М6	22	980	20,5—41	1480—1120	720	Д043	5
ВР-80-70-1	АИР132S6	5,5	615	12,8—26	580—430	745	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР132М6	7,5	685	14,2—28	720—540	770	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР160S6	11	770	16—33,7	910—690	810	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР160М6	15	865	18—37	1150—860	840	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР200М8	18,5	730	29,5—35,5	1280—1320	910	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР200Л8	22	730	29,5—50	1280—1200	950	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР225М8	30	730	29,5—60	1280—960	1100	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР160S6	11	536	22—45	700—520	1090	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР160М6	15	602	25—51,5	880—680	1110	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР180М6	18,5	685	27—57	1150—840	1180	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР200М6	22	685	27—57	1150—840	1240	Д043	6
ВР-80-70-1	АИР200Л6	30	768	31—63,5	1450—1120	1270	Д043	6

Таблица 3.39. Характеристики вентиляторов радиальных В-Ц-14-46

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
В-Ц-14-46-5	АИР112МВ6	4	970	6—8,4	950—1070	139	Д040	5
В-Ц-14-46-5Ж2	АИР132S6	5,5	970	6—11,5	950—1120	160	Д040	5
В-Ц-14-46-5К	АИР132М6	7,5	970	6—14,5	950—1180	176	Д040	5
В-Ц-14-46-510К2	АИР132М4	11	1460	9—11	2200—2350	176	Д040	5
	АИР160S4	15	1460	9—14,5	2200—2500	218	Д040	5
	АИР160М4	18,5	1460	9—17	2200—2550	243	Д040	5
	АИР180S4	22	1460	9—20	2200—2500	268	Д040	5
	АИР180М4	30	1460	9—23	2200—2400	278	Д040	5
В-Ц-14-46-6,3	АИР132М8	5,5	730	9,2—13	890—980	214	Д041	5
В-Ц-14-46-6,3Ж2	АИР160S8	7,5	730	9,2—17	890—1040	256	Д041	5
В-Ц-14-46-6,3К	АИР160М8	11	730	9,2—23	890—020	281	Д041	5
В-Ц-14-46-6,3КЖ2	АИР160S6	11	975	12,3—15	1580—1700	268	Д041	5
	АИР160М6	15	975	12,3—19,5	1580—1800	293	Д041	5
	АИР180М6	18,5	975	12,3—24	1580—1820	328	Д042	5
	АИР200М6	22	975	12,3—28,	1580—1800	403	Д042	5
В-Ц-14-46-8	АИР180М8	15	735	19—22,5	1430—1530	398	Д042	5
В-Ц-14-46-8Ж2	АИР200М8	18,5	735	19—27,5	1430—1620	473	Д042	5
В-Ц-14-46-8К	АИР200L8	22	735	19—32	1430—1640	513	Д043	6
В-Ц-14-46-8КЖ2	АИР225М8	30	735	19—41	1430—1630	558	Д043	6
	АИР225М6	37	985	24,5—31	2600—2750	589	Д043	6
	АИР250S6	45	985	24,5—37	2600—2850	724	Д043	6

Примечание. Вентиляторы В-Ц-14-46 — общего назначения из углеродистой стали. Ж2 — общего назначения, теплостойкие из углеродистой стали; К — коррозионностойкие из нержавеющей стали; КЖ2 — коррозионностойкие, теплостойкие из нержавеющей стали.

Таблица 3.40. Характеристики вентиляторов высокого давления ВР-132-30

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР132-30-5,2-02	АИР80А4	1,1	1395	1,1—2,7	1110—880	91	Д039	5
ВР132-30-5К*	АИР112М2	7,5	2850	2,2—4,7	4640—4300	124	Д039	5

Окончание табл. 3.40

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР132-30-6,3,2-02	АИР180S2	22	2940	4,6—7,2	7800—7600	327	Д042	4
ВР132-30-6,3К*	АИР108М2	30	2940	4,6—12	7800—6000	347	Д042	4
ВР132-30-6,3,2-03	АИР132S4	7,5	2040	3,3—4,6	3980—3960	419	Д042	6
ВР132-30-6,3К*	АИР132М4	11	2045	3,3—8,5	3960—3000	444	Д042	6
	АИР132М4	11	2300	3,6—5,6	4940—4750	449	Д042	6
	АИР160S4	15	2300	4,1—6	4940—4000	509	Д042	6
	АИР160S4	15	2600	4,1—8,1	6200—6200	516	Д042	6
	АИР160М4	18,5	2610	4,1—10,8	6200—5800	543	Д042	6
	АИР180S2	22	2620	4,1—10,8	6200—4800	541	Д042	6
	АИР180S2	22	2620	4,1—10,8	6200—4800	541	Д042	6
ВР132-30-8,2-01	АИР132М4	11	1450	4,6—10,3	3100—2600	658	Д043	6
ВР132-30-8К*	АИР132М4	11	1625	5,2—6,9	3900—3800	662	Д043	6
	АИР160S4	15	1625	5,2—10,8	3900—3450	705	Д043	6
	АИР160S4	15	1810	5,8—7,5	4800—4800	701	Д043	6
	АИР160М4	18,5	1810	5,8—10,2	4800—4500	730	Д043	6
	АИР180S4	22	1810	5,8—13,2	4800—4100	745	Д043	6
	АИР180S4	22	2040	6,6—9	6100—6050	767	Д043	6
	АИР180М4	30	2040	6,6—13,8	6100—5400	819	Д043	6
	АИР180М4	30	2300	7,4—9,3	7700—7700	787	Д043	6
	АИР200М4	37	2300	7,4—12,5	7700—7350	894	Д043	6
	АИР200L4	45	2300	7,4—16,8	7700—6500	1038	Д043	6
	АИР200L4	45	2300	7,4—16,8	7700—6500	1038	Д043	6
ВР132-30-10,2-02	АИР180М4	30*	1470	9,2—16,4	4900—4700	550	Д042	6
ВР 132-30-10К*	АИР200М4	37	1470	9,2—22	4900—4000	620	Д042	6
ВР132-30-10,2-01	АИР200М4	37	1650	10,4—15	6200—6150	935	Д043	6
ВР132-30-10К*	АИР200L4	45	1650	10,4—20	6200—5800	975	Д043	6
	АИР225М4	55	1650	10,4—27	6200—4800	1040	Д044	6
	АИР225М4	55	1860	11,7—17,7	7900—7850	1075	Д044	6
	АИР250S4	75	1860	11,7—27,2	7900—6400	1235	Д044	6

* Изготавливают по специальному заказу.

Таблица 3.41. Характеристики вентиляторов пылевых ВР-100-45

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более	Вибро-изоляторы	
	тип	мощность, кВт		подача, м ³ /ч	полное давление, Па		тип	количество
ВР-100-45-5-02	АИР112М4	5,5	1 810	2,7—6,2	1 600—1 220	354	Д042	5
ВР-100-45-5К	АИР112М4	5,5	2 030	3—5,2	2 000—1 840	356	Д042	5
	АИР132S4	7,5	2 030	3,0—7,3	2 000—1 600	376	Д042	5
	АИР132S4	7,5	2 285	3,4—5,8	2 550—2 325	677	Д042	5
	АИР132М4	11	2 285	3,4—8	2 550—2 000	403	Д042	5
	АИР132М4	11	2 575	3,7—7,2	3 250—2 700	414	Д042	5
	АИР160S4	15	2 575	37—9	3 250—2 450	469	Д042	5
	АИР160M4	11	1 615	6,3—10,5	2 100—1 800	480	Д042	6
ВР-100-45-6,3-02 ВР-100-45-6,3К	АИР160S4	15	1 810	7,0—11	2 600—2 300	531	Д042	6
	АИР160M4	18,5	1 810	7,0—13,5	2 600—2 100	546	Д042	6
	АИР160M4	18,5	2 040	7,0—10,4	3 300—3 100	573	Д042	6
	АИР180S4	22	2 040	8,0—13,2	3 300—2 900	557	Д042	6
	АИР180M4	30	1 615	8,7—14	3 200—2 900	729	Д043	5
ВР-100-45-8-01	АИР160M4	18,5	1 450	8—16	2 600—2 200	703	Д043	5
ВР-100-45-8К	АИР180S4	22	1 450	8—19	2 600—1 950	721	Д043	5
	АИР180S4	22	1 615	8,7—14	3 200—2 900	729	Д043	5
	АИР180M4	30	1 615	8,7—22	3 200—2 450	749	Д043	5
	АИР180M4	30	1 810	10—15,5	4 000—3 600	749	Д043	5
	АИР200M4	37	1 615	8,7—22,5	3 200—2 350	830	Д043	6
	АИР200M4	37	1 810	10—20	4 000—3 400	832	Д043	6
	АИР200LA	45	1 810	10—25	4 000—2 900	872	Д043	6

Крышные вентиляторы

Для создания системы вытяжной вентиляции промышленных и общественных зданий применяются крышные вентиляторы ВКРМ (ВКР) (ЗАО «ВВТ») (табл. 3.42).

Они устанавливаются на кровле зданий и предназначены, как правило, для работы без сети воздухопроводов. При обеспечении оптимальной работы, когда производительность больше минимальной, вентиляторы могут работать с сетью воздухопроводов.

Это вентиляторы низкого давления, одностороннего всасывания, лопасти загнуты назад, материал — оцинкованная углеродистая сталь, температура окружающей среды — от –40 до +40 °С, разработаны для умеренного климата 1-й категории.

Таблица 3.42. Характеристики крышных вентиляторов

Тип	Двигатель		Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	Параметры в рабочей зоне		Масса вентилятора, кг, не более
	тип	мощность, кВт		подача, тыс, м ³ /ч	полное давление, Па	
ВКРМ-3,15-01	ДВВ50-6-220/380	0,04	975	0,7—1,4	110—0	15
ВКРМ-4-01	АИР71А6	0,37	915	1,4—3,3	160—0	75,4
ВКРМ-5-03	АИР80А6	0,75	915	2,8—6,5	250—0	90
ВКРМ-6,3-03	АИР100L6	2,2	950	6—13,5	430—0	134
ВКРМ-8-02	АИР112МВ8	3	700	9,4—22	430—430	244
ВКРМ-8*КЛ	АИР112МВ8	3	700	9,4—22	430—430	244
ВКРМ-12,5-02	5А160М16	4	370	11—35	270—0	600
ВКРМ-12,5*КЛ	5А160М12	6,8	470	14—45	430—0	600

* Вентиляторы изготавливаются по специальному заказу

Центробежные, поршневые и винтовые компрессоры

4.1. Центробежные компрессоры

По назначению компрессоры подразделяются на воздушные и газовые (кислородные).

Наибольшее распространение получили *воздушные компрессоры*, или компрессоры общего назначения. Они вырабатывают сжатый воздух давлением до 5 МПа, который широко применяется в промышленности. Например, в металлургии сжатый воздух используется для дутья в доменных и мартеновских печах, вагранках, нагревательных и термических печах и пр.

Сжатый воздух как энергоноситель используется для привода различных пневмомеханизмов, молотов, трамбовок, вибраторов, обрубных молотов, патронов для зажима деталей в станках, пневмоподъемников и т.д.

Воздух широко применяется для транспортирования и перемешивания сыпучих материалов, сепарации пыли и во многих других процессах.

Рост сети газопроводов и увеличение их протяженности способствовали развитию *газовых компрессоров* на высокие давления — до 40 МПа и выше. Для доставки природного газа в пункт потребления через каждые 100—150 км газопроводов необходимо устанавливать компрессорные станции, перекачивающие до нескольких миллионов кубометров газа в сутки.

По принципу действия различают поршневые (объемные) компрессоры и турбокомпрессоры.

В *поршневых* повышении давления происходит из-за уменьшения объема замкнутого пространства, в котором находится газ, за счет перемещения стенки (например, поршня в цилиндре). При сжатии газ практически неподвижен, силы инерции в нем не проявляются (статическое сжатие). Характерной особенностью этих компрессоров является периодичность рабочего процесса.

В *турбокомпрессорах* сжатие происходит вследствие использования сил инерции потока газа. Преобразование энергии в турбокомпрессорах можно условно разделить на два этапа: на первом — газу сообщается кинетическая энергия (например, вращающимся лопаточным аппаратом), а на втором — поток газа тормозится и его кинетическая энергия преобразуется в потенциальную (в диффузоре). Оба этапа могут совершаться одновремен-

но. Характерной особенностью этих турбокомпрессоров является непрерывность рабочего процесса.

Следует заметить, что получение сжатых газов является весьма энергоемким производством. Например, на многих машиностроительных заводах для привода компрессоров расходуется около 30% общих затрат энергии, а на предприятиях горнорудной промышленности еще больше.

Конструктивная схема центробежного компрессора представлена на рис. 4.1. Можно сказать, что центробежный компрессор действует аналогично центробежному насосу.

Реальный компрессорный процесс сжатия считается политропным. Работу политропного сжатия идеального газа (без учета потерь на трение) можно определить по уравнениям термодинамики в специальной литературе (погрешность составляет 2—3 %).

Удельная работа L , совершаемая над потоком в реальном компрессоре, расходуется на сжатие и перемещение газа, изменение его кинетической энергии и внутренние потери.

При наличии потерь в зависимости от интенсивности внешнего охлаждения процесс сжатия в компрессоре может протекать с показателем политропы $n = 1,2 \div 1,7$, меньшим или большим показателя адиабаты.

К основным параметрам компрессора относятся подача, конечное давление, мощность на валу и КПД (относительный), так как совершенство компрессорного процесса оценивают при помощи относительных термодинамических КПД — изотермического $\eta_{из}$ и изоэнтروпного η_a .

Если действительный политропный процесс в компрессоре происходит с показателем n при удельной энергии L , то изотермический и изоэнтропный КПД определяют по формулам:

$$\eta_{из} = \frac{L_{из}}{L}; \quad \eta_a = \frac{L_a}{L}, \quad (4.1)$$

где $L_{из}$ и L_a — удельные энергии изотермического и изоэнтропного процессов.

Центробежные и осевые компрессоры (с неинтенсивным охлаждением) оцениваются при помощи изоэнтропного КПД η_a . Это объясняется тем, что

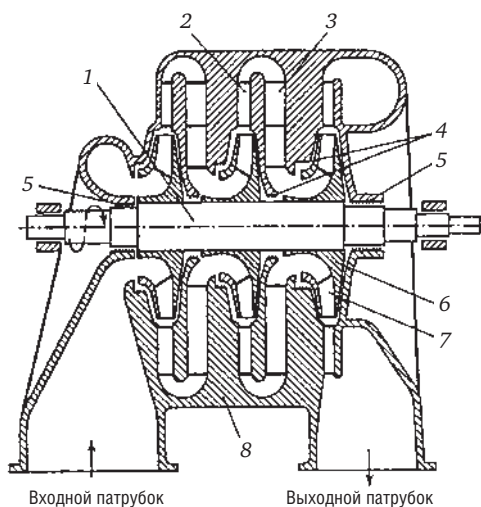


Рис. 4.1. Трехступенчатый центробежный компрессор:

1 — вал; 2 — диффузор; 3 — неподвижные направляющие лопатки; 4 — лабиринтовые уплотнения; 5 — концевые уплотнения; 6 — рабочее колесо; 7 — рабочие лопатки; 8 — корпус компрессора

для компрессоров этого типа изоэнтропный процесс является эталонным и наиболее совершенным.

Подачей называется количество газа (воздуха), подаваемого компрессором в единицу времени. Различают массовую m , кг/с, и объемную Q , м³/с, подачи. В характеристиках машины обычно указывается объемная подача, отнесенная к условиям всасывания либо к нормальным условиям по ГОСТ 2939—63 ($t_n = 20^\circ\text{C}$, $p_n = 101,325$ кПа). Давление p , развиваемое компрессором, можно рассматривать как энергию, сообщаемую одному кубическому метру газа ($1 \text{ Дж/м}^3 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м/м}^3 = 1 \text{ Па}$).

Мощность на валу центробежного компрессора для одной ступени, кВт,

$$N_B = \frac{\rho Q L_a}{1000 \eta_a \eta_{\text{мех}}}, \quad (4.2)$$

где ρ — плотность газа (воздуха), кг/м³; L_a — удельная энергия изоэнтропного процесса сжатия, Дж/кг; $\eta_a = 0,8 \div 0,9$; $\eta_{\text{мех}} = 0,96 \div 0,98$ — механический КПД.

Мощность многоступенчатого компрессора представляет собой сумму мощностей отдельных ступеней.

Характеристиками центробежных компрессоров называются графически изображенные зависимости: $p = f_1(Q)$, $N_B = f_2(Q)$ и $\eta_k = f_3(Q)$. Наиболее важной из них является зависимость между давлением (удельной работой) и подачей $p = f_1(Q)$.

Центробежные компрессоры выполняются с большим разнообразием схем и конструкций проточной части, отдельных узлов и деталей. Их изготавливают одноступенчатыми и многоступенчатыми. Повышение давления, создаваемого одной ступенью центробежного компрессора, ограничивается аэродинамической прочностью рабочего колеса. Поэтому для достижения требуемого конечного давления применяются многоступенчатые компрессоры.

В современных центробежных компрессорах в зависимости от требуемого конечного давления в одном корпусе размещают шесть—восемь ступеней. Многоступенчатые центробежные компрессоры могут иметь промежуточные теплообменники (охладители). После сжатия в секции, состоящей из одной—трех неохлаждаемых ступеней, газ охлаждается в теплообменнике (рис. 4.2).

Центробежные компрессоры общего назначения выпускаются с подачей 1,66; 4,166 и 8,33 м³/с,

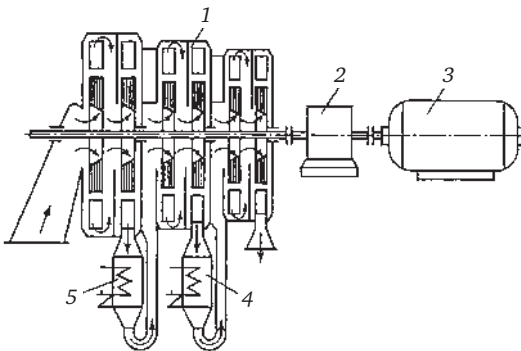


Рис. 4.2. Схема трехсекционного шестиступенчатого центробежного компрессора:

1 — компрессор; 2 — редуктор; 3 — привод; 4 — охладитель II секции; 5 — охладитель I секции

для кислородных блоков — $15 \text{ м}^3/\text{с}$ и выше, для доменных печей — от 50 до $200 \text{ м}^3/\text{с}$. В отдельных случаях производят компрессоры с малой подачей $1,0\text{—}1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (для нефтехимии и др.). Компрессоры с подачей более $50 \text{ м}^3/\text{с}$ имеют в основном паротурбинный привод.

Компрессоры со средней и высокой подачей большей частью выпускаются с разъемом корпуса в горизонтальной плоскости по аналогии с современными паровыми турбинами. Диффузоры и обратные направляющие аппараты составляют одно целое с корпусом или же, что встречается чаще, они размещаются на диафрагмах, плотно вставленных в корпус. Диафрагмы также имеют разъем в горизонтальной плоскости.

Все центробежные компрессоры, как правило, многоступенчатые. Охлаждение корпуса компрессора улучшает его энергетические характеристики.

На рис. 4.3 представлено устройство широко распространенного в промышленности воздушного компрессора К-250-61-1. Компрессор шестиступенчатый, трехсекционный, имеет корпус с горизонтальным разъемом. Все подводящие и отводящие патрубки отлиты как одно целое с нижней половиной корпуса. Диффузоры компрессора канального типа имеют горизонтальный разъем и плотно вставлены в корпус. Привод компрессора электрический и соединен с компрессором через повышающий редуктор.

Регулирование подачи компрессора производят следующими способами: изменением частоты вращения вала, закруткой потока перед рабочим колесом и дросселированием потока на всасывании или нагнетании.

Характеристики турбокомпрессоров и воздуходувок отечественных и зарубежных производителей приведены в табл. 4.1—4.5.

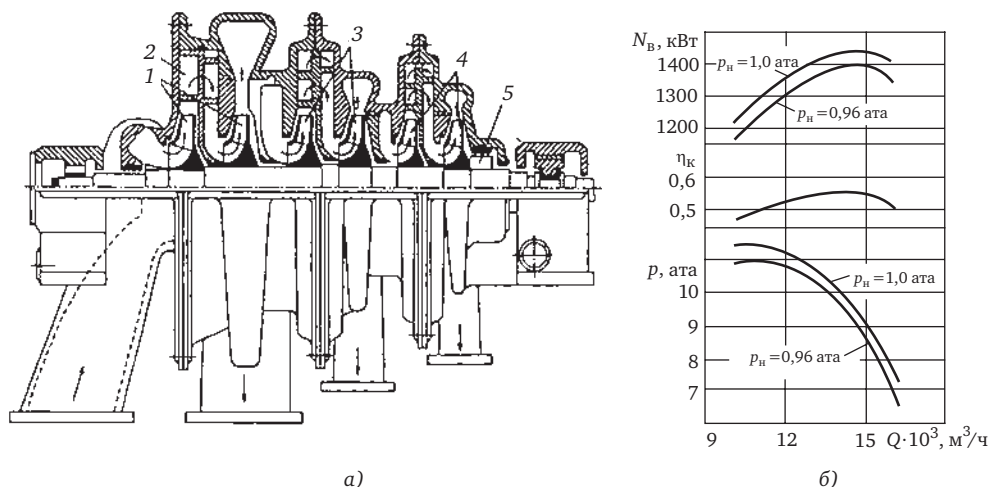


Рис. 4.3. Воздушный компрессор К-250-61-1:

а — 1 — рабочее колесо I секции; 2 — диффузор канального типа первого колеса; 3 — рабочее колесо II секции; 4 — рабочее колесо III секции; 5 — думмис; б — характеристики компрессора при $t_n = 20^\circ\text{C}$; $n = 11230 \text{ мин}^{-1}$

Таблица 4.1. Технические характеристики центробежных компрессоров ТКА

Параметр	ТКА 80/9	ТКА 130/9	ТКА 250/9
Номинальная объемная подача, м ³ /мин	80	130	260
Регулируемый диапазон подачи, м ³ /мин	58—80—86	95—130—140	170—260—276
Конечное абсолютное давление, МПа (кгс/см ²)	0,882 (9)	0,882 (9)	0,882 (9)
Потребляемая мощность в регулируемом диапазоне, кВт	380—500—530	560—745—780	880—1430—1450
Изотермический КПД в рабочем диапазоне, не менее	0,66	0,67	0,68
Частота вращения роторов компрессора, мин ⁻¹	16 815/24 409	16 993/24 581	17 283/24 844
Габариты блока, м	2,3×2,4×1,8	3,1×2,6×2	2,5×3,92×2,3
Габариты агрегата, включая двигатель, м	4,2×2,4×2	9,8×2,6×2,1	7×3×2,6
Масса (без двигателя), т	5,4	7,5	13

Примечание. Компрессоры ТКА 80/9 и ТКА 130/9 — четырехступенчатые (четыре колеса диагонального типа); ТКА 250/9 — трехступенчатые.

Таблица 4.2. Технические характеристики центробежных низконапорных нагнетателей (воздуходувок) ОАО «Дальэнергомаш»

Марка	Q , м ³ /мин	p_k , МПа	N_b , кВт	Габариты (Д×Ш×В), м	Масса m , т	$N_{дв}$, кВт	n , мин ⁻¹	U , В
ЦНВ60/1,2	60—70	0,121—0,12	24—30	1,9×1,6×1,8	4,73	30	2945	220/ 380
ЦНВ100/1,2	90—100— 130	0,1205— 0,12—0,118	36—38—45	2,0×1,6×1,8	4,87	45	2945	
ЦНВ60/1,4	45—60— 100	0,145— 0,14—0,132	42—50—72	2,1×2,1×1,8	7,20	75	4125	
ЦНВ60/1,6	40—60— 80	0,165— 0,16—0,157	50—70—89	2,2×2,1×1,8	7,26	90	4898	
ЦНВ100/1,4	75—100— 150	0,145— 0,14—0,135	65—85— 110	2,4×2,3×1,8	7,60	110	4139	380/ 660
ЦНВ100/1,6	65—100— 150	0,165— 0,16—0,145	74—110— 132	2,5×2,3×1,8	7,67	132	4914	
ЦНВ160/1,4	130— 160—150	0,145— 0,14—0,132	115—130— 150	2,6×2,4×1,8	7,80	160	4139	
ЦНВ160/1,6	120— 160—210	0,165— 0,16—0,146	133—170— 194	2,6×2,3×1,8	8,01	200	4914	
ЦНВ200/1,4	140— 200—230	0,144— 0,14—0,135	119—155— 160	2,6×2,3×1,8	7,82	160	4139	
ЦНВ200/1,6	140— 200—260	0,165— 0,16—0,147	165—215— 245	2,6×2,4×1,8	8,35	250	4914	

Окончание табл. 4.2

Марка	Q , $\text{м}^3/\text{мин}$	P_K , МПа	N_B , кВт	Габариты (Д×Ш×В), м	Масса m , т	$N_{дв}$, кВт	n , мин^{-1}	U , В
ЦНВ80/1,85	70—80— 92	0,192— 0,185—0,177	120—132— 150	2,6×2,3×1,8	4,27	160	16 764	380/ 660
ЦНВ100/1,8	75—100— 110	0,190— 0,18—0,170	125—153— 165	2,6×2,3×1,8	4,55	200		
ЦНВ130/1,85	115— 130—140	0,192— 0,185—0,180	187—207— 222	2,6×2,3×1,8	4,32	250		
ЦНВ160/1,8	120— 160—175	0,190— 0,18—0,170	202—247— 262	2,6×2,3×1,8	4,85	315		
ЦНВ80/3,2	75—80— 105	0,32—0,34— 0,32	230—255— 325	3,3×2,2×1,8	5,70	315		
ЦНВ100/3,2	85—100— 110	0,335— 0,32—0,29	270—310— 335	3,5×2,2×1,8	5,85	400		
ЦНВ130/3,2	120— 135—140	0,34—0,33— 0,32	375—405— 430	3,7×2,4×2,0	5,90	500		6 000
ЦНВ160/3,2	130— 160—170	3,4—3,2— 2,7	410—480— 500	3,8×2,4×2,1	6,60	630		6 000; 10 000

Таблица 4.3. Технические характеристики центробежных компрессоров
ОАО «Казанькомпрессормаш»

Марка компрессора (компрессорной установки)	Сжимаемый газ	Q, м ³ /мин	p, МПа		Привод
			начальное	конечное	
ЦК-135/8М1	Воздух, азот	135	0,1	0,78	Электрический
ЦК-115/9	Воздух, азот	115	0,1	0,9	
543ЦК-450/35М1	Воздух	450	0,1	3,5	
ВЦ1-75/10	Воздух	75	0,1	1	Дизель
32ВЦ-100/9	Воздух, азот	100	0,1	0,9	Электрический
43ВЦ-160/9	Воздух, азот	160	0,1	0,9	
АЭРОКОМ 22-63/9	Воздух	62,6	0,099	0,9	
АЭРОКОМ 2-60/3,5УХЛ 4	Воздух	60	0,102	0,35	
АЭРОКОМ АА-250/9,4	Воздух	262	0,102	0,94	
АЭРОКОМ АА-100/35					
АЭРОКОМ АА-250/9Д	Воздух	253	0,102	—	Дизель
АЭРОКОМ 43-120/9 ОМ5	Воздух	113	0,0985	0,9	Электрический
ЦНОН-160/1,8	Воздух	160	0,1	0,18	
ЦКОН-43-160/9Р			0,098	0,9	
ЦНОН-60/2,5	Воздух	60	0,1033	0,25	
КТК-7/14	Кислород	117	0,1	1,4	

Таблица 4.4. Технические характеристики центробежных компрессоров фирмы «Атлас Копко»

Модель	p , МПа	Q , м ³ /ч	$N_{\text{дв}}$, кВт	Уровень шума, дБ	Масса, кг	Габариты (Д×Ш×В), мм
Компрессоры среднего давления						
<i>Двухступенчатые</i>						
ZH7000	0,35; 0,39; 0,42; 0,46	4 332—7 280	315—500	68	6 500	5 000×2 120×2 400
ZH10000		6 720—10 933	500—710	68	10 500	5 250×2 120×2 400
ZH15000		10 900—17 032	710—1250	68	18 000	5 800×2 370×2 630
<i>Трехступенчатые</i>						
ZH7000	0,7; 0,8; 0,9; 1,04	4 360—7 350	450—800	74	8 000	5 000×2 120×2 400
ZH10000		6 700—11 246	630—1120	74	12 000	5 250×2 120×2 400
ZH15000		10 870—16 910	1120—1850	74	15 000	5 800×2 370×2 630
Безмасляные центробежные компрессоры низкого давления						
ZB80VSD	0,03—0,1	25,4—59,3	80	67	1 130	1 520×1 446×2 076
ZB120VSD	0,03—0,14	23,2—63,7	120	67	1 180	
ZB160VSD	0,03—0,17	23,2—70	160	67	1 230	

Таблица 4.5. Технические характеристики компрессоров серии ТМ компании Samsung

Параметр	ТМ-400	ТМ-500	ТМ-600	ТМ-700	ТМ-800	ТМ-900	ТМ-1000	ТМ-1250	ТМ-1500	ТМ-1750	ТМ-2000	ТМ-2250
Мощность двигателя, кВт	221—2355											
Подача, м³/ч	2200—22000											
Выходное давление (избыточное), МПа	0,25—2											
Габариты (Д×Ш×В), мм	2900×160×1800			3210×1900×1930			3985×2070×1980			5800×2300×2550		
Масса, т	4,5—12											

4.2. Поршневые компрессоры

4.2.1. Устройство и работа поршневого компрессора

Поршневые компрессоры по конструктивным признакам сходны с поршневыми насосами. Конструктивная схема одноступенчатого компрессора с цилиндром двойного действия и индикаторная диаграмма представлены на рис. 4.4. Цилиндр компрессора, закрытый с обеих сторон крышками, имеет две полости. В стенках цилиндра в специальных коробах расположены всасывающий и нагнетательный клапаны, которые открываются и закрываются

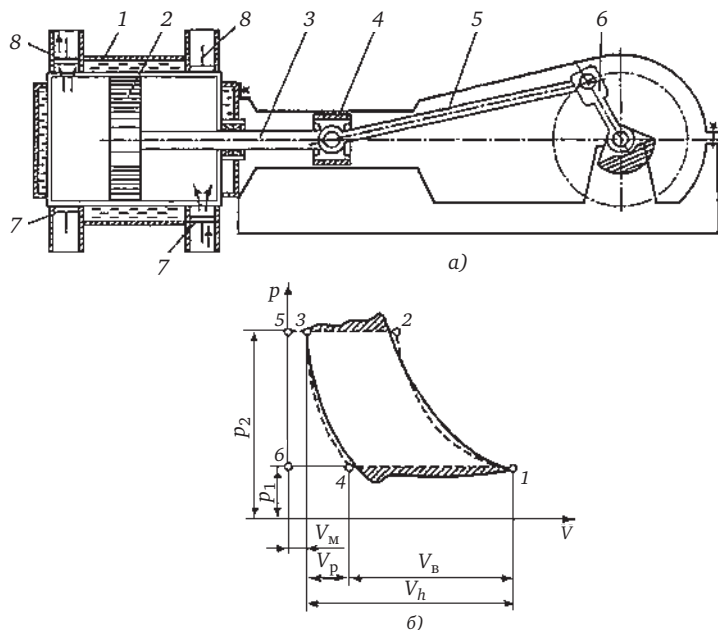


Рис. 4.4. Одноступенчатый поршневой компрессор двустороннего действия:
 а — общая схема: 1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — шток; 4 — крейцкопф; 5 — шатун; 6 — кривошип; 7, 8 — всасывающий и нагнетающий клапаны; б — индикаторная диаграмма: 1...4 — точки процесса; V_P — объем расширения мертвого пространства; V_B — действительный объем всасывания

автоматически под действием перепада давлений между рабочей полостью и соответствующей камерой (всасывающей либо нагнетательной).

Цилиндры поршневых компрессоров чаще всего охлаждаются водой. Для этого в них предусмотрена специальная водяная рубашка. Небольшие компрессоры выполняют с воздушным охлаждением, а их поршень соединен непосредственно с шатуном (бескрейцкопфные компрессоры). В месте прохода штока через крышку цилиндра помещается уплотнение, называемое сальником. Перепад давлений, обеспечивающий открытие клапанов и преодоление их гидравлических сопротивлений, определяет дополнительные затраты работы по сравнению с идеальным компрессорным циклом (см. заштрихованные площадки на индикаторной диаграмме).

В рабочей полости цилиндра в конце нагнетания всегда остается газ объемом V_M , который называется объемом мертвого пространства. Этот объем определяется в основном размерами зазора между поршнем, находящимся в крайнем положении, и крышкой цилиндра. Зазор необходим для исключения удара поршня о крышку. Отношение объема мертвого пространства V_M к рабочему объему V_h , называется относительным объемом мертвого пространства:

$$a = V_M/V_h. \quad (4.3)$$

В большинстве цилиндров компрессоров $\alpha < 0,05$. Остаток газа в мертвом пространстве расширяется по линии 3—4 (рис. 4.4), поэтому всасывание газа начинается не в начале хода поршня, а в конце процесса расширения, т. е. в точке 4.

4.4.2. Характеристики поршневого компрессора и регулирование подачи

Компрессор обычно подключается к системе трубопроводов, на которых установлены запорные, регулирующие и другие устройства. Совокупность этих устройств и трубопроводов называется сетью. Гидравлические свойства сети определяются ее характеристикой, т. е. зависимостью между расходом V_c и давлением p_c в сети. Характеристика большинства газовых сетей имеет вид параболы.

Одной из важных характеристик компрессора является зависимость между подачей V_0 и рабочим давлением p_2 : $p_2 = f(V_0)$. В расчетном режиме подача поршневого компрессора практически не зависит от развиваемого давления и характеристики $p_2 = f(V_0)$ для различной частоты вращения близки к вертикальным линиям (рис. 4.5).

Пересечение характеристик компрессора и сети определяет рабочую точку А и рабочие параметры машины — подачу и давление. Расход газа в сети по условиям работы потребителей обычно непостоянен. Во избежание резких колебаний давления газа в сети необходимо изменять подачу компрессоров так, чтобы она всегда соответствовала потреблению. Регулирование подачи компрессора в настоящее время осуществляется следующими способами: отключением одной или нескольких машин при их параллельной работе на сеть, изменением частоты вращения вала компрессора, изменением объема мертвого пространства цилиндра, дросселированием потока на всасывании и отжатием пластин всасывающего клапана.

Периодические остановки компрессора (отключение от сети) возможны лишь при значительном и, главное, длительном снижении потребления газа. Очень часто отключение компрессора приводит к чрезмерному перегреву электропривода и выходу его из строя.

Изменение частоты вращения вала пропорционально изменяет подачу и индикаторную мощность машины. Такое регулирование можно осуществить в установках с приводом от турбины, ДВС и электродвигателя постоянного тока. В последнее время для изменения частоты вращения вала широко используется применение на приводных двигателях тиристорных преобразователей частоты, что позволяет регулировать подачу компрессора.

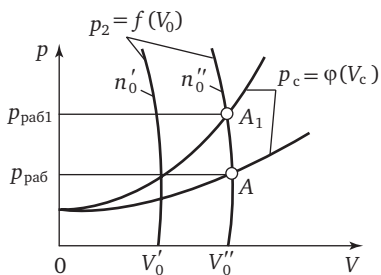


Рис. 4.5. Характеристики работы поршневого компрессора на различных сетях и при различной частоте вращения вала (n'_0 , n''_0)

Изменение объема мертвого пространства достигается подключением к цилиндру отдельной полости постоянного или переменного объема. Подключение дополнительного объема мертвого пространства уменьшает объем всасываемого газа. Такой способ регулирования применяется на новейших компрессорах со средней и большой подачей.

Дросселирование газа на всасывании осуществляется задвижкой. В результате падения давления перед компрессором объемы всасываемого газа и подачи уменьшаются, но при этом растут степень повышения давления в цилиндре и связанная с ней температура. Во избежание воспламенения смазки, применяемой в цилиндрах, температура газа на нагнетании не должна превышать $160\text{--}170^\circ\text{C}$. Схема регулирования такого типа показана на рис. 4.6. Если расход из баллона 3 в сеть уменьшается, то при данной подаче компрессора 1 давление в баллоне 3 возрастает и, передаваясь по трубке 2 в полость поршневого механизма 4, воздействует на поршень, который, сжимая пружину, прикрывает дроссельную заслонку 5. Подача компрессора уменьшается, сравниваясь с расходом газа из баллона. Регулирующее устройство может быть настроено на требующуюся подачу натяжением пружины поршневого механизма 4. Благодаря простоте и автоматичности действия этот способ регулирования широко применяется при высоких степенях сжатия, но энергетическая эффективность его невысока.

Отжимание пластин всасывающего клапана как способ регулирования подачи осуществляется по схеме, показанной на рис. 4.7. Если вследствие уменьшения расхода в сети давление в баллоне 2 повысится, то повышенное давление, передаваясь по импульсной трубке 1 к поршневому механизму 4, преодолет натяжение пружины и подвинет вниз поршень 5. Шток поршня имеет на конце вилку 3, рожки которой будут препятствовать пластине всасывающего клапана садиться на седло. При этом сжатие и подача газа не произойдут, потому что всасывающий

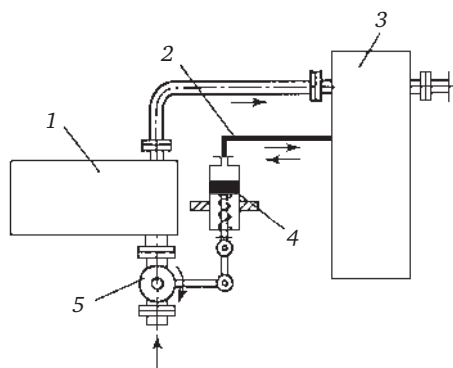


Рис. 4.6. Автоматическое устройство для регулирования подачи дросселированием на всасывании:

1 — компрессор; 2 — трубка; 3 — баллон; 4 — поршневой механизм; 5 — дроссельная заслонка

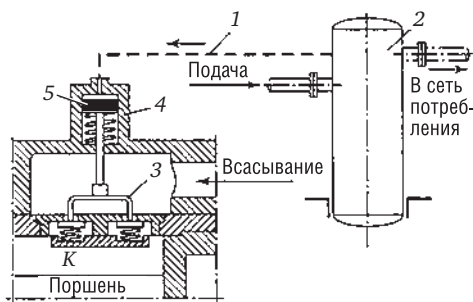


Рис. 4.7. Регулирование подачи отжиманием пластин всасывающего клапана:

1 — импульсная трубка; 2 — баллон; 3 — вилка; 4 — поршневой механизм; 5 — поршень

клапан будет открыт и газ из цилиндра будет выталкиваться во всасывающий трубопровод. Вследствие этого произойдет пропуск сжатия и подачи. Это будет продолжаться до тех пор, пока давление в баллоне 2 не понизится и поршень 5 не приведет вилку 3 в нормальное положение, не препятствующее пластине клапана K плотно садиться на место. Таким образом, уменьшение подачи компрессора достигается здесь пропусками подачи. Это очень простой способ регулирования, но энергетическая эффективность его мала, так как на холостой ход при пропуске подачи затрачивается не менее 15% полной мощности. Такой способ регулирования применяется для компрессоров с любыми степенями сжатия и подачами.

Отжим клапанов линии всасывания в течение всего хода поршня приводит, как указывалось, к пропускам подачи, т.е. к снижению подачи компрессора до нуля. В настоящее время применяют отжим клапанов на части хода поршня, получая возможность плавного изменения подачи от номинальной до 0,1 номинальной.

4.2.3. Многоступенчатые компрессоры

Одноступенчатые поршневые компрессоры с водяным охлаждением цилиндра применяют в основном для сжатия газов до давления менее 0,6 МПа. Более высокое давление получают в многоступенчатых компрессорах с охлаждением газа в холодильнике после каждой ступени.

При сжатии газа температура его повышается. В табл. 4.6 приведены конечные температуры воздуха, сжимаемого при различных условиях в компрессоре от начальной температуры $t_1 = 293$ К. Так как компрессорные смазочные масла имеют температуру вспышки 493—533 К, то конечная температура сжатия 443—493 К, получаемая при степени повышения давления $\varepsilon_p = p_2/p_1 = 8$, является опасной. Электрические разряды невысокого потенциала, возникающие в проточной части компрессоров, могут вызвать возгорание нагара и затем, при достаточной концентрации масляных паров в воздухе, взрыв компрессора. Это ограничивает степень повышения давления в одном цилиндре компрессора.

Таблица 4.6. Температура сжатия при адиабатном и политропном процессах

ε_p	Конечная температура воздуха, К		
	Адиабатное сжатие	Политропное сжатие с охлаждением цилиндра	Политропное сжатие с охлаждением цилиндра и крышки
2	358	337	325
4	438	402	372
6	493	454	409
8	536	493	443

В современных компрессорах с водяным охлаждением степень повышения давления в одном цилиндре выше семи встречается редко. В отече-

ственных конструкциях большой подачи $\varepsilon_p \leq 4$. Если $\varepsilon_p > 7$, то процесс сжатия ведут в нескольких последовательно включенных полостях — ступенях давления — и при переходе из одной ступени в другую газ охлаждают в промежуточных охладителях.

Для достижения заданного значения ε_p принимают следующее число ступеней z :

ε_p	до 6	6—30	30—100	100—150	150 и более
z	1	2	4	5	6 и более

Увеличение числа ступеней усложняет конструкцию и увеличивает стоимость компрессора. Это обстоятельство обуславливает предел увеличения количества ступеней современных компрессоров.

Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением приближает рабочий процесс компрессора к изотермическому, поэтому при заданной степени повышения давления компрессора применение ступенчатого сжатия обеспечивает существенную экономию мощности приводного двигателя.

В многоступенчатых компрессорах с числом ступеней z при одинаковых работах отдельных ступеней изотермическая мощность компрессора определяется по формуле

$$N_{из} = \frac{p_1 Q_1}{1000} \ln \frac{p_2}{p_1} z. \quad (4.4)$$

Мощность на валу компрессора при указанном условии

$$N_B = \frac{p_1 Q_1}{1000 \eta_{из} \eta_M} \ln \frac{p_2}{p_1} z. \quad (4.5)$$

Если работа отдельных ступеней неодинакова, то мощность на валу компрессора определяется как сумма отдельных ступеней.

В табл. 4.7—4.11 представлены характеристики поршневых компрессоров отечественного и зарубежного производства.

Таблица 4.7. Технические характеристики поршневых компрессоров
ОАО «Мелитопольский компрессор»

Обозначение	Q, м³/мин		p, МПа	N _{дв} , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
	по условиям всасывания	по сжатию воздуху				
Компрессоры среднего давления						
2ВУ0,25-0,17/7,3	0,17	0,023	0,63	1,5	970×570×760	125
2ВУ0,25-0,3/7,3	0,3	0,041	0,63	3	998×430×828	129

Окончание табл. 4.7

Обозначение	Q, м ³ /мин		P, МПа	N _{дв} , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
	по условиям всасывания	по сжатию воздуха				
2ВУ0,35-0,5/7,3	0,5	0,069	0,63	4	1 028×460×885	137
2ВУ0,6-1,0/7,3	1,0	0,137	0,63	7,5	1 355×505×975	250
3ВШ0,6-1,5/7,3А2	1,5	0,206	0,63	11	1 560×930×800	380
3ВШ0.6-1,5/7,3А3	1,5	0,206	0,63	Привод от вала трактора	1 580×980×800	360
ЭК-16/11	2,7	0,3	0,8	22	1 874×957×1 220	1 485
4ВУ0,6-8/3,5У2	7,8	2,23	0,25	30	1 830×1 290×1 180	995
4ВУ1-5/9М82 (с подогревом масла)	5	0,56	0,8	37	2 030×960×1 340	1 250
4ВУ1-7/1Ш6	6,8	0,62	1	55	2 030×960×1 340	1 220
3ВШ0,6-1/17М2	1,0	0,059	1,6	11	1 230×830×840	340
2ВТ1-1,5/17УХЛ5	1,5	0,088	1,6	Привод от дизеля	2 610×780×1 360	1 650
2ВУ1,5-2,5/26М1	2,5	0,096	2,5	30	1 540×1 180×940	910
2ГУ1,5-2,4/26С	2,4	0,092	2,5	37	1 590×1 750×1 300	1 250
2ВУ2,5-2,5/310М5	2,5	0,083	3	30	1 600×1 180×1 020	995
ЭКП-70/25М1	1,17	0,045	2,5	18,5	1 520×730×1 545	1 046
ЭКП-210/25М1	3,5	0,135	2,5	55	2 200×780×1 655	2 013
ЭКП-280/25М1	4,67	0,18	2,5	75	2 400×780×1 655	2 215
Компрессоры высокого давления						
К2-150	0,3	1,8 (1,3)	15 (20)	—	441×435×480	82
ЭК2-150 (общепромышленное исполнение)	0,3	1,8 (1,3)	15 (20)	7,5	1 010×435×668	197
ЭК2-150 (морское исполнение)	0,3	1,8 (1,3)	15 (20)	7,5	1 106×435×668	255
ЭКПА-2/150	0,3	1,8 (1,3)	15 (20)	7,5	1 100×640×715	310
КР-25	0,26	1,25	20	7,5	1 100×850×870	325
АКР-2	0,3	1,8	15	7,5	1 450×720×890	375
ВТ1,5-0,3/150	0,3	2	15	7,5	1 400×750×860	405
Блок осушки УБОВ-0,3/150М2	—	2	15	—	610×410×1 930	405

Таблица 4.8. Технические характеристики поршневых компрессоров ALUP (ременных двухступенчатых) фирмы «ABAC Group»

Модель	Объем ресивера, л	Р, МПа	Подача, м ³ /мин		Число цилиндров	N _{дв} , кВт	n, мин ⁻¹	Габариты (Д×Ш×В), см	Масса, кг
			на входе	на выходе					
HL 051522-350	350	1,5	515	420	2	4	975	114×54×71	135
HL 081523-500	500	1,5	810	675	3	5,5	770	135×57×75	165
HL 101523-500	500	1,5	1 020	845	3	7,5	960	135×57×75	165
HL 131523-500	500	1,5	1 296	1 075	3	11	1 220	135×57×75	185
HL 151524-750	750	1,5	1 625	1 360	4	11	910	168×60×78	340
HL 201524-750	750	1,5	2 090	1 695	4	15	1 170	168×60×78	340
HL 023522-250	250	3,5	210	160	2	22	675	98×41×68	90
HL 043522-500	500	3,5	400	292	2	4	780	114×54×71	145
HL 053522-500	500	3,5	500	380	2	5,5	975	114×54×71	155
HL 083523-500	500	3,5	800	525	3	7,5	765	135×57×75	220
HL 103523-500	500	3,5	1 050	710	3	11	1 000	135×57×75	220

Таблица 4.9. Технические характеристики поршневых компрессоров компании «Ингерсолл-рэнд»

Модель	N _{дв} , кВт (л.с.)	P _{max} , МПа	Объем ресивера, л	Q, м ³ /мин	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
Компрессоры ТЗО «Стандарт»						
AE3E30	2,2 (3)	1,1	200	230	138×49×98	140
AE3F40	3 (4)	1,1	270	310	146×49×103	160
AE3F55	4 (5,5)	1,1	270	420	146×53×106	180
AR3H75	5,5 (7,5)	1,1	500	560	187×53×116	260
AE3H100	7,5 (10)	1,1	500	820	187×74×126	315
AE3H150	11 (15)	1,1	500	1 200	187×71×138	425
AE3H200	15 (20)	1,1	500	1 420	187×71×138	435
AE3H250	18,5 (25)	1,1	500	2 200	187×83×152	580
AE3H300	22 (30)	1,1	500	2 420	187×83×152	600
Маслонаполненные компрессоры ТЗО						
E3E30	2,2 (3)	1,4	200	220	137×49×95	180
E3F40	3 (4)	1,4	270	280	160×49×103	195
E3F55	4 (5,5)	1,4	270	400	160×49×103	230
E3H75	5,5 (7,5)	1,4	500	520	187×61×122	303
E3H100	7,5 (10)	1,4	500	800	187×74×130	360
E3H150	11 (15)	1,4	500	1 050	187×71×141	505
E3H200	15 (20)	1,4	500	1 420	187×71×141	520
E3H250	18,5 (25)	1,4	500	2 200	187×83×157	635

Окончание табл. 4.9

Модель	$N_{\text{дв}}$, кВт (л.с.)	p_{max} , МПа	Объем ресивера, л	Q , м ³ /мин	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
ЕЗН300	22 (30)	1,4	500	2 420	187×83×157	635
ЕЗХ30	2,2 (3)	1,4	—	220	82×49×50	90
ЕЗХ40	3 (4)	1,4	—	280	82×49×50	90
ЕЗХ55	4 (5,5)	1,4	—	400	85×53×53	115
ЕЗХ75	5,5 (7,5)	1,4	—	530	85×53×53	135
ЕЗХ100	7,5 (10)	1,4	—	800	106×74×66	183
ЕЗХ150	11 (15)	1,4	—	1 050	126×71×80	292
ЕЗХ200	15 (20)	1,4	—	1 420	126×71×80	292
ЕЗХ250	18,5 (25)	1,4	—	2 200	133×83×92	460
ЕЗХ300	22 (30)	1,4	—	2 420	133×83×92	480

Компрессоры ТЗО без смазки цилиндров

OL5F55	4 (5,5)	0,86	270	430	146×64×112	73
OL5X55	4 (5,5)	0,86	—	430	106×54×59	73
OL5F75	5,5 (7,5)	0,86	270	550	146×64×112	73
OL5X75	5,5 (7,5)	0,86	—	550	106×54×59	73
OL10H100	7,5 (10)	0,86	500	830	187×70×129	105
OL10X100	7,5 (10)	0,86	—	830	128×66×65	105
OL15H200	15 (20)	0,86	500	1250	187×85×153	205
OL15X200	15 (20)	0,86	—	1250	133×85×89	205
OL25H300	22 (30)	0,86	500	2610	220×115×216	300
OL25X300	22 (30)	0,86	—	2610	185×94×116	300
2-OL15H200	15+15 (20+20)	0,86	500	2500	228×185×189	205
2-OL25VH300	22+22 (30+30)	0,86	500	5220	228×185×216	300

Компрессоры ТЗО высокого давления

231X30	2,2 (3)	3,5	—	140	87×51×51	100
7T2X100	75 (20)	3,5	—	630	124×67×84	275
5T2X200-35	15 (20)	3,5	—	1120	143×84×87	415
5T2X200-70	15 (20)	7	—	920	143×84×87	415
15T4X200	15 (20)	2,4	—	560	150×78×108	505
H15T4X200	15 (20)	3,45	—	560	150×78×108	525

Таблица 4.10. Технические характеристики поршневых компрессоров малой производительности ЗАО «ВВТ»

Модель	p , МПа	Q , м ³ /мин	Объем ресивера, л	$N_{дв}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
Передвижные компрессоры						
КМ-1	1	0,16	18	2,2	750×400×620	65
К-1	1	0,16	110	2,2	1 000×620×970	110
К-2	1	0,63	150	5,5	1 300×620×1 250	270
К-5	1	0,63	70	5,5	1 190×660×1 000	220
К-6	1	1	70	11	1 250×680×1 140	220
К-11	1	0,16	60	2,2	1 000×470×800	95
К-23	0,6	0,25	60	3,0	1 000×470×830	105
К-24 (СО-243)	0,6	0,5	70	4,0	1 150×540×980	130
К-25	0,6	0,5	150	4,0	1 300×620×1 150	150
К-26	1	0,6	120	5,5	1 150×540×1 100	125
К-28	1	0,5	120	4,0	1 150×540×1 100	128
К-31	1	1	190	11	1 500×750×1 300	360
КТ-16	0,8	1—1,5	300	Вал отбора мощности трактора		980
КТ-16Э	1	1	300	11	3 150×2 150×1 750	980
С-412М	1	0,16	10	2,2	750×400×500	72
Стационарные компрессоры						
С-415М	1	0,63	250	5,5	1 750×600×1 350	330
С-415М1	1	0,63	500	5,5	2 100×700×1 400	380
С-416М	1	1	500	11	2 100×700×1 480	480
С-416М1	1	1	250	11	2 100×600×1 400	420
К-3	1	2	500	2×11	2 300×760×1 500	730
К-20	1,6	1	500	2×7,5	2 100×760×1 450	620
К-22	1,6	0,5	250	7,5	2 050×800×1 350	350
К-30	1	1,26	500	2×5,5	2 100×700×1 450	600
КВ-7 (вертикальный)	1	0,16	110	2,2	620×700×1 260	110
КВ-15	1	10	300	5,5	1 000×900×1 850	350
КВ-18	1	0,6	210	5,5	800×670×1 700	205
Передвижные компрессоры, 220 В						
МК-3	0,8	0,1	18	1,1	660×400×600	40
К-12	0,8	0,16	60	2,2	1 000×470×800	95
К-14	0,8	0,2	60	1,1	900×450×750	70
К-29	0,8	0,16	22	2,2	780×450×620	75

Таблица 4.11. Компрессоры маслосмазываемые поршневые с V-образной компоновкой фирмы «Атлас Копко»

Модель	p_{\max} , МПа	Q, л/с (м³/мин)	Уровень шума*, дБ	Мощность привода, кВт
10-барные версии				
LE 2-10	1	3,4 (0,2)	78/65/63	1,5
LE 3-10	1	4,4 (0,26)	79/66/64	2,2
LE 5-10	1	8,4 (0,5)	79/66/64	4
LE 7-10	1	11,7 (0,7)	80/70/68	5,5
LE 10-10	1	15,7 (0,94)	81/70/68	7,5
LE 15-10	1	18,6 (1,12)	84/73/70	11
LE 20-10	1	23,9 (1,43)	85/73/70	15
15-барные версии				
LT 2-15	1,5	3,2 (0,19)	78/65/63	1,5
LT 3-15	1,5	4,1 (0,25)	79/66/64	2,2
LT 5-15	1,5	6,7 (0,4)	79/66/64	4
LT 7-15	1,5	9,2 (0,55)	80/70/68	5,5
LT 10-15	1,5	11,7 (0,7)	81/70/68	7,5
20-барные версии				
LT 2-20	2	2,2 (0,13)	78/65/63	1,5
LT 3-20	2	3 (0,18)	79/66/64	2,2
LT 5-20	2	5 (0,3)	79/66/64	4
LT 7-20	2	6,7 (0,4)	80/70/68	5,5
LT 10-20	2	9,1 (0,55)	81/70/68	7,5
LT 15-20	2	15,1 (0,91)	86,5/77/72	11
LT 20-20	2	18 (1,08)	86/80/75	15
30-барные версии				
LT 3-30	3	2,8 (0,17)	79/64	2,2
LT 5-30	3	4,9 (0,29)	79/64	4
LT 7-30	3	6,4 (0,38)	80/68	5,5
LT 10-30	3	8,5 (0,51)	81/68	7,5
LT 15-30	3	9,28 (0,56)	85/76	11
LT 20-30	3	17 (1,02)	86/80	15

* Для компрессоров LE, LT 15, LT 20 уровень шума указан следующим образом: компрессор на ресивере без кожуха/компрессор в кожухе на ресивере/компрессор в кожухе на раме.

Для компрессоров LT 30 уровень шума указан следующим образом: компрессор без кожуха на раме/компрессор в кожухе на раме.

4.3. Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры общего назначения выполняются на рабочее давление до 1,4 МПа (компрессоры сухого сжатия) и 2 МПа (маслозаполненные компрессоры). Максимальное давление нагнетания составляет 4 МПа. В настоящее время винтовые компрессоры являются самыми массовыми на зарубежных предприятиях с подачей от 1 до 100 м³/мин и давлением от 0,2 до 1,4 МПа. В последние годы эти компрессоры активно вытесняют устаревшие компрессоры поршневого типа, а в децентрализованном воздухоснабжении они не имеют альтернативы. Изотермический КПД современных винтовых компрессоров достигает уровня лучших поршневых и центробежных компрессоров: $\eta_{из} = 0,55 \div 0,65$.

Доля воздушных маслозаполненных компрессоров из всего мирового объема производства винтовых машин к настоящему времени составляет около 90%, остальные 10% — компрессоры «сухого» сжатия.

Общий вид винтовых компрессоров и технологическая схема показаны на рис. 4.8 и 4.9.

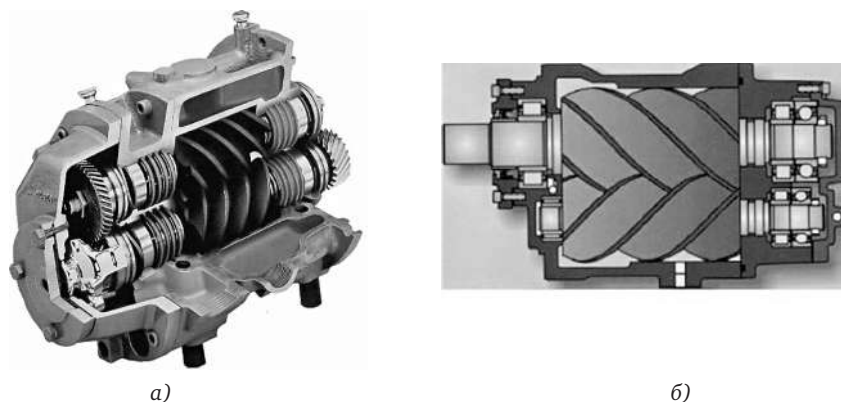


Рис. 4.8. Общий вид винтового компрессора:
а — безмасляного; б — маслозаполненного

В табл. 4.12—4.17 представлены характеристики и параметры винтовых компрессоров ОАО «Машзавод» и фирмы «Атлас Копко».

Таблица 4.12. Характеристики винтовых компрессоров на компрессорной тележке (ПВ-10/8М1 и ПВ-6/7), на раме-салазках (НВ-10/8М2, НВ10Э), на раме (ВВЭ-3,5/9) ОАО «Машзавод», г. Чита

Параметр	ПВ-10/8М1	НВ-10/8М2	НВ10Э	ВВЭ-3,5/9	ПВ-6/7
Подача, м ³ /мин	11,2	11,2	10	3,5	6
Давление нагнетания (избыточное), МПа	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7

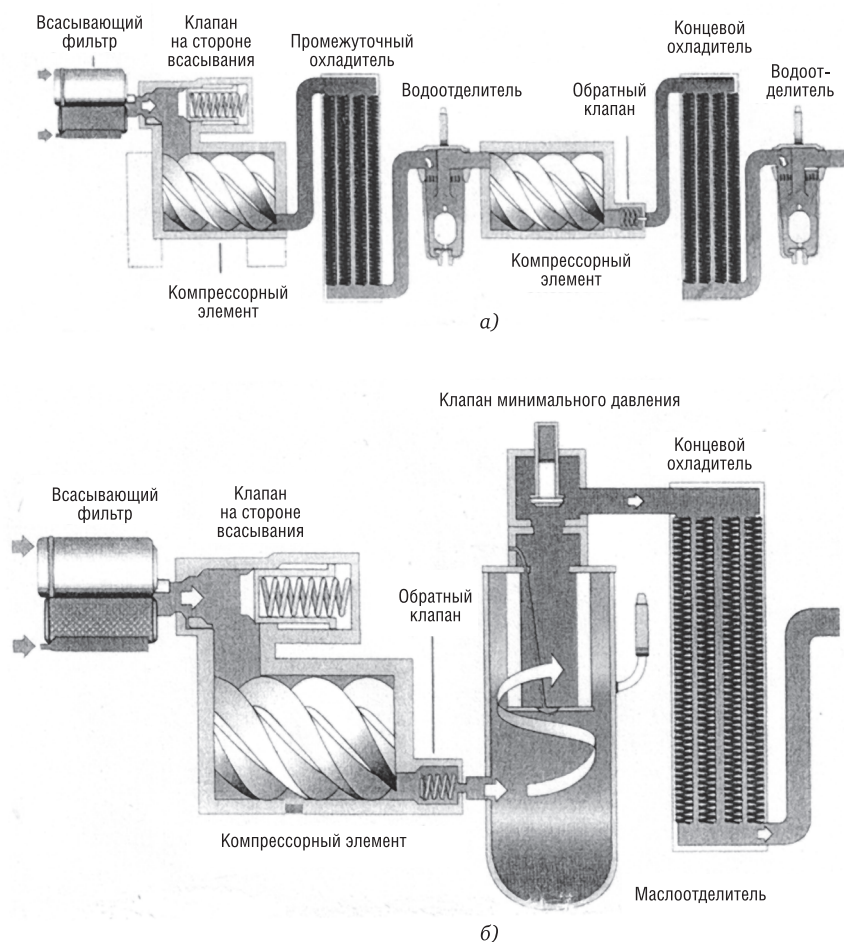


Рис. 4.9. Технологическая схема винтового компрессора:
а — безмасляного; б — заполненного

Окончание табл. 4.12

Параметр	ПВ-10/8М1	НВ-10/8М2	НВ10Э	ВВЭ-3,5/9	ПВ-6/7
Потребляемая мощность, кВт, не более	73,92	73,92	66	34,9	48
Тип привода	Дизель ЯМЗ-236М2	Дизель ЯМЗ-236М2	Электро-двигатель 5А250С4У	Электро-двигатель. 5А200М4У	Дизель Д-243
Транспортная основа	Двухосная тележка	Рама-салазка	Рама-салазка	—	Одноосная тележка
Габариты (Д×Ш×В), мм	3395×1730×1870	3240×1710×1550	3060×1430×1460	1460×1070×1205	2110×1420×1870
Масса, кг	3080	2730	1850	800	1300

Таблица 4.13. Компрессоры маслосмазываемые винтовые одноступенчатого сжатия фирмы «Атлас Копко»

Модель	p_{\max} , МПа	Q , л/с (м ³ /мин)	Уровень шума, дБ	N_v , кВт	Масса, кг
GA 11+	0,75	33,5 (2)	63	11	475
	0,85	31,4 (1,9)			
	1	26 (1,6)			
	1,3	20,4 (1,2)			
GA 15	0,75	43 (2,6)	72	15	440
	0,85	39,4 (2,4)			
	1	36,3 (2,2)			
	1,3	30,1 (1,8)			
GA 15+	0,75	44,9 (2,7)	64	15	475
	0,85	41,2 (2,5)			
	1	37,8 (2,3)			
	1,3	31,6 (1,9)			
GA 18	0,75	52,5 (3,15)	73	18,5	470
	0,85	50,2 (3,01)			
	1	43,5 (2,6)			
	1,3	37,2 (2,2)			
GA 18+	0,75	54,8 (3,3)	66	18,5	495
	0,85	52,7 (3,2)			
	1	45,3 (2,7)			
	1,3	39,1 (2,2)			
GA 22	0,75	60,2 (3,6)	74	22	485
	0,85	58,3 (3,5)			
	1	51,7 (3,1)			
	1,3	45,0 (2,7)			
GA 22+	0,75	63,0 (3,9)	67	22	500
	0,85	61,1 (3,7)			
	1	54,2 (3,3)			
	1,3	47,3 (2,8)			
GA 30	0,75	76,7 (4,6)	69	30	560
	0,85	75,7 (4,5)			
	1	71,0 (4,3)			
	1,3	61,5 (3,7)			
GA 30+	0,75	96 (5,76)	65	30	855
	0,8	93 (5,58)			
	1	80 (4,80)			
	1,3	65 (3,90)			

Окончание табл. 4.13

Модель	p_{\max} , МПа	Q , л/с (м ³ /мин)	Уровень шума, дБ	N_v , кВт	Масса, кг
GA 37	0,75	107 (6,42)	69	37	862
	0,8	105 (6,3)			
	1	93 (5,58)			
	1,3	75 (4,5)			
GA 45	0,75	129 (7,74)	75	45	896
	0,8	121 (7,26)			
	1	109 (6,54)			
	1,3	91 (5,46)			
GA 37+	0,75	118 (7,08)	65	37	1 120
	0,85	115 (6,9)			
	1	99 (5,94)			
	1,3	81 (4,86)			
GA 45+	0,75	143 (8,58)	66	475	1 150
	0,8	134 (8,04)			
	1	121 (7,26)			
	1,3	101 (6,06)			
GA 55	0,75	165 (9,9)	69	55	1 305
	0,8	155 (9,3)			
	1	144 (8,64)			
	1,3	124 (7,744)			
GA 75	0,75	218 (13,08)	73	75	1 650
	0,8	205 (12,3)			
	10	184 (11,04)			
	1,3	162 (9,72)			

Таблица 4.14. Компрессоры серии GA винтовые с частотным регулируемым приводом фирмы «Атлас Копко»

Модель	p_{\max} , МПа	Q , л/с (м ³ /мин)	Уровень шума, дБ	N_v , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
GA 5VSD-13	0,4	7,5—15,1 (0,45—0,91)	66	5,5	1027×638×1212 (без ресивера); 1158×638×1779 (с ресивером)	245 (без ресивера); 330 (с ресивером)
	0,7	7,2—14,9 (0,43—0,89)				
	1	6,6—12,0 (0,4—0,72)				
	1,3	5,9—8,4 (0,35—0,5)				
GA 7VSD-13	0,4	7,5—20,3 (0,45—1,22)	66	7		245 (без ресивера); 330 (с ресивером)
	0,7	7,3—20,2 (0,44—1,21)				
	1	6,6—17 (0,4—1,02)				
	1,3	5,9—13,5 (0,35—0,81)				

Продолжение табл. 4.14

Модель	P_{\max} , МПа	Q , л/с (м ³ /мин)	Уровень шума, дБ	N_b , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
GA 11VSD-13	0,4 0,7 1 1,3	7,2—25,2 (0,43—1,51) 6,8—24,6 (0,41—1,48) 6,2—24,3 (0,37—1,46) 5,9—20,9 (0,35—1,25)	66	7	1027×638×1212 (без ресивера); 1158×638×1779 (с ресивером)	245 (без реси- вера); 330 (с ресивером)
GA 15VSD-13	0,4 0,7 1 1,3	19—46 (1,2—1,8) 19—45 (1,2—2,7) 18—38 (1,1—2,3) 16—30 (1—1,8)	67	15	1680×650×1400	509
GA 18VSD	0,4 0,7 1 1,3	20—56 (1,2—3,4) 19—54 (1,1—3,2) 18—47 (1,1—2,8) 16—38 (1—2,3)	67	18	1680×650×1400	509
GA 22VSD	0,4 0,7 1 1,3	19—65 (1,2—3,9) 19—64 (1,2—3,8) 18—55 (1,1—3,3) 19—47 (1—2,8)	68—70	22	1680×650×1400	519
GA 30VSD	0,4 0,7 1 1,3	20—76 (1,2—4,6) 19—75 (1,1—4,5) 18—69 (1,1—4,1) 16—61 (1,0—3,7)	70	30	1680×650×1400	519
GA 37VSD	0,4 0,7 1 1,3	26—122 (1,5—7,3) 25—121 (1,5—7,3) 24—104 (1,4—6,2) 23—84 (1,3—5)	67	37	2040×970×1802	1 000
GA 45VSD	0,4 0,7 1 1,3	26—144 (1,5—8,7) 25—143 (1,5—8,7) 24—125 (1,4—7,5) 23—99 (1,3—5,9)	69	45	2040×970×1802	1 030
GA 55VSD	0,4 0,7 1 1,3	26—172 (1,5—10,3) 25—172 (1,5—10,3) 24—152 (1,4—9,1) 44—128 (2,6—7,7)	69	55	2040×970×1802	1 145
GA 75VSD	0,4 0,7 1 1,3	40—247 (2,4—14,8) 38—245 (2,3—14,7) 36—201 (2,2—12,1) 33—171 (2—10,3)	69	75	2290×1080×1960	1 680
GA 90VSD	0,4 0,7 1 1,3	41—286 (2,5—17,2) 38—285 (2,3—17,1) 36—241 (2,2—14,5) 32—200 (1,9—12)	73	90	2290×1080×1960	1 730

Окончание табл. 4.14

Модель	P_{\max} , МПа	Q , л/с ($\text{м}^3/\text{мин}$)	Уровень шума, дБ	N_v , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
GA 132VSD	0,4	79—393 (4,7—23,6)	75	132	3560×1886×2310	3 860
	0,7	79—388 (4,7—23,3)				
	1	79—324 (4,7—19,4)				
	1,3	79—274 (4,7—14,8)				
GA 180VSD	0,4	82—470 (5—28,8)	73—75	180	3560×1886×2310	3 870
	0,7	79—469 (4,7—28,6)				
	1	74—412 (4,4—25)				
	1,3	71—353 (3,0—21)				
GA 315VSD	0,4	215—792 (13—47,5)	67—78	315	4173×2120×2400	5 591
	0,7	211—790 (12,7—47)				
	1	207—713 (12,4—43)				

Таблица 4.15. Компрессоры безмасляные винтовые с впрыском в камеру сжатия фирмы «Атлас Копко»

Модель	P_{\max} , МПа	Q , л/с (м ³ /мин)	Уровень шума, дБ	N_v , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
Воздушное охлаждение						
AQ 30 AC	0,75 1 1,3	84,9 (5,09) 68,3 (4,1) 53 (3,18)	65	30	2 435×965×1 840	1 226
AQ 37 AC	0,75 1 1,3	102 (6,12) 86,4 (5,18) 69,2 (4,15)	66	37	2 435×965×1 840	1 298
AQ 45 AC	0,75 1 1,3	121,4 (7,28) 98,1 (5,88) 82,2 (4,93)	67	45	2 435×965×1 840	1 321
AQ 55 AC	0,75 1 1,3	139,1 (8,35) 118,1 (7,09) 98,4 (5,9)	68	55	2 435×965×1 840	1 378
AQ 37 VSDAC	0,75 1 1,3	42—104 (2,52—6,24) 51—89 (3,06—5,34) 61—71 (3,66—4,26)	69	37	2 435×965×1 840	1 195
AQ 55 VSDAC	0,75 1 1,3	42,3—154,9 (2,54—9,29) 51,7—135,2 (3,10—8,11) 60,6—109,1 (3,64—6,55)	72	55	2 435×965×1 840	1 195
Водяное охлаждение						
AQ 30 WC	0,75 1 1,3	88,5 (5,31) 71,2 (4,27) 55 (3,3)	65	30	2 435×965×1 840	1 121

Окончание табл. 4.15

Модель	P_{\max} , МПа	Q , л/с ($\text{м}^3/\text{мин}$)	Уровень шума, дБ	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
AQ 37 WC	0,75 1 1,3	107,1 (6,43) 91,2 (5,47) 72,9 (4,37)	66	37	2435×965×1840	1193
AQ 45 WC	0,75 1 1,3	128,5 (7,71) 108 (6,48) 89,9 (5,39)	67	45	2435×965×1840	1216
AQ 55 WC	0,75 1 1,3	152,7 (9,16) 131,2 (7,87) 109 (6,54)	68	55	2435×965×1840	1273
AQ 37 VSDWC	0,75 1 1,3	42—108 (2,52—6,48) 52—92 (3,12—5,52) 65—74 (3,9—4,44)	66	37	2435×965×1840	1090
AQ 55 VSDWC	0,75 1 1,3	41,9—160,9 (2,51—9,65) 51,9—142,1 (3,11—8,53) 65,3—117 (3,92—7,02)	69	55	2435×965×1840	1090

Таблица 4.16. Техническая характеристика маслосмазываемого винтового компрессора одноступенчатого сжатия большой производительности фирмы «Atlas Copco»

Модель	P_{\max} , МПа	Q , $\text{м}^3/\text{мин}$	$N_{\text{в}}$, кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм
GA-90	0,75 0,85 1 1,3	16,6 15,6 13,9 11,1	90	2779×1000×1990
GA-110	0,75 0,85 1 1,3	20 18,8 17,1 13,5	110	
GA-132	0,75 0,85 1 1,3	24,1 22,9 20,7 16,8	132	
GA-160	0,75 0,85 1 1,3	28,3 27,0 24,6 20,5	160	
GA-200	0,75 0,85 1 1,3	36,1 34,0 30,7 26,1	200	

Окончание табл. 4.16

Модель	p_{\max} , МПа	Q , м ³ /мин	N_b , кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм
GA-250	0,75	43,7	250	3 200×2 120×2 400
	0,85	41,7		
	1	37,8		
	1,3	31,7		
GA-315W	0,75	55,7	315	4 000×2 120×2 500
	0,85	51,8		
	1	47		
	1,3	38,4		
GA-355W	0,75	63	355	4 000×2 120×2 500
	0,85	58,1		
	1	53,4		
	1,3	43,9		
GA-400W	0,75	70,5	400	4 000×2 120×2 500
	0,85	66,5		
	1	60,7		
	1,3	50,6		
GA-450W	0,75	77,9	450	4 000×2 120×2 500
	0,85	74,4		
	1	68,7		
	1,3	57,6		

Таблица 4.17. Дизельные передвижные винтовые компрессоры большой мощности и повышенного давления (для привода бурильных установок, пескоструйных аппаратов, продувки и опрессовки трубопроводов различных назначений) фирмы «Атлас Копко»

Модель	P, МПа	Q*, м ³ /мин	Емкость масляной системы**, л	Шумовое давление на 7м, дБ	Двигатель				Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса рабочая с шасси, кг
					Марка	Модель	N _{дв} , кВт	n, мин ⁻¹		
XAS746	0,7	45,2	85	74	CAT	C13	328	1900	4908×2140×2479	6220
XAMS 287	0,8	17	52	71	CAT	C6,6	146	1800	4792×1950×1974	3286
XAMS 407	0,86	24,5	60	71	CAT	C7	186	1800	5074×1988×2094	3400
XAMS 496	0,86	29,7	80	72	CAT	C9	224	1800	4908×2140×1974	6055
XAMS 546	0,86	32,7	80	72	CAT	C13	317,8	1600	4908×2140×1974	6650
XAS746	0,86	42,5	85	74	CAT	C13	328	1800	4908×2140×2479	6220
XATS67	1,03	3,5	8	72	Deutz	D2011L03	36	2750	3063×1410×1258	1060
XATS 116	1,03	6,8	14,5	73	Deutz	BF4M2011	56,5	2300	4252×1701×1661	1900
XATS 156	1,03	10	23,5	71	Deutz	TCD2012L04	83	2300	4252×1701×1661	1900
XATS 377	1,03	22,5	60	71	CAT	C7	186	1800	5074×1988×2094	3400
XATS456	1,03	26,9	80	72	CAT	C9	224	1800	4908×2140×2479	6055
XAS 746	1,03	39,6	98	74	CAT	C13	328	1650	4908×2140×2479	6220
XANS37	1,2	1,9	8	70	Deutz	D2011L02	21,6	2400	3105×1330×1252	850
XANS106	1,2	6,1	14,5	73	Deutz	BF4M2011	56,5	2300	4252×1701×1661	1900
XANS 146	1,2	9,1	23,5	71	Deutz	TCD2012L04	83	2300	4252×1701×1661	1900
XANS186	1,2	10,4	23,5	71	Deutz	TCD2013L04	104	2200	4252×1701×1661	1900

Окончание табл. 4.17

Модель	P , МПа	Q^* , м ³ /мин	Емкость масляной системы **, л	Шумовое давление на 7м, дБ	Двигатель				Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса рабочая с шасси, кг
					Марка	Модель	$N_{дв}$, кВт	n , мин ⁻¹		
XAHS237	1,2	14	52	71	CAT	C6,6	146	1800	5074×1 988×2 094	3000
XAHS347	1,2	20,5	60	71	CAT	C7	186	1800	5074×1 988×2 094	3400
XAHS426	1,2	25,5	60	72	CAT	C9	224	1800	4908×2 140×2 479	6055
XAHS536	1,2	31,9	80	72	CAT	C13	317,8	1600	4908×2 140×2 479	6650
XAVS166	1,4	9,5	23,5	71	Deutz	TCD2013L04	104	2200	4252×1 701×1 661	1900
XAVS307	1,4	18,5	60	71	CAT	C7	186	1800	5074×1 988×2 094	3400
XAVS396	1,4	23,5	60	72	CAT	C9	224	1800	4908×2 140×2 479	6055
XRS 396	1,7	23,5	75	72	CAT	C9	224	1800	4908×2 140×2 479	6055
XRHS366	2	21,9	75	72	CAT	C9	224	1800	4908×2 140×2 479	6055
XRHS506	2	30,5	75	72	CAT	C13	317,8	1600	4908×2 140×2 479	6650
XRVS336	2,5	19,8	75	72	CAT	C9	224	1800	4908×2 140×2 479	6055
XRVS476	2,5	27,7	75	72	CAT	C13	317,8	1600	4908×2 140×2 479	6650
XRVS 606	2,5	36	82	76	CAT	C18	429	1800	6516×2 251×2 506	8200
XRXS566	30	33,6	82	76	CAT	C18	429	1800	6516×2 251×2 506	8200

* По ISO 1217 ed. 3. 1996.

** По ISO 2151.

Теплообменное оборудование

5.1. Общие сведения

Теплообменный (или теплоиспользующий) аппарат является одним из наиболее распространенных и важных элементов энергетических, коммунально-бытовых и технологических установок. Любые преобразования энергии из одного вида в другой, а также передача энергии от одного аппарата либо машины к другому сопровождаются переходом некоторой части всех других видов энергии в тепловую. Поэтому практически во всех машинах и аппаратах теплообмен имеет важное значение.

На теплоиспользующие аппараты приходится значительная доля капиталовложений в энергетические, коммунально-бытовые и технологические установки. При строительстве тепловых электростанций (если учесть, что паровые котлы также являются теплообменниками) капиталовложения в теплообменные аппараты составляют до 70 % капиталовложений на оборудование станций. На современных нефтеперерабатывающих заводах капиталовложения в теплообменные аппараты достигают 40—50 %, на газобензиновых заводах — 40 %.

Теплообменные аппараты, как и другие элементы энергетических, коммунально-бытовых и технологических установок, работают в условиях переменного режима. Однако эксплуатационные, статические и динамические характеристики теплообменных аппаратов зависят не только от изменения расходных режимов и технологических параметров потоков, но и от таких факторов, как накопление загрязнений, накипи, сажи, смол на стенках труб, появление коррозии и др.

Высокая тепловая производительность теплоиспользующего аппарата определяется многими факторами, в первую очередь интенсивным теплообменом, высокой теплопроводностью материала, малым заносом поверхностей теплообмена, своевременной продувкой и промывкой внутренних полостей аппарата, поддержанием оптимального режима работы. Экономичность работы аппарата может быть достигнута малыми затратами энергии на прокачивание теплоносителей, минимальным уносом технологического продукта с продувочными газами и промывочными водами, увеличением межремонтных периодов, максимальной механизацией и ав-

томатизацией обслуживания. Заданные технологические условия процесса (температура, давление, химический состав и концентрация среды, время технологической обработки) и высокое качество продукции обеспечиваются выбором оптимальных температур теплоносителей, правильным расчетом поверхности теплообмена, подбором надлежащих конструкционных материалов, не вступающих в химическое взаимодействие со средой, выбором наивыгоднейших скоростей теплоносителей, строгой цикличностью или непрерывностью процесса и удобством его регулирования.

5.2. Виды и классификация теплообменных аппаратов

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для обмена теплотой между греющей и обогреваемой рабочими средами. Последние принято называть *теплоносителями*.

Необходимость передачи теплоты от одного теплоносителя к другому возникает во многих отраслях техники: энергетике, химической, металлургической, нефтяной, пищевой и других отраслях промышленности.

В котельном агрегате теплота, выделяющаяся при горении топлива, передается воде и пару, т.е. котельный агрегат представляет собой совокупность теплообменных аппаратов. В атомной силовой установке выделяемая ядерным реактором теплота воспринимается первичным теплоносителем, который сам становится радиоактивным. В двигателе используется вторичный теплоноситель, который получает тепло от первичного в теплообменном аппарате. Процесс регенерации в газотурбинной установке осуществляется путем передачи теплоты в теплообменнике от отработанных продуктов сгорания сжатому воздуху.

Широкое распространение теплообменных аппаратов обусловило многообразие их конструктивного оформления.

Теплообменные аппараты классифицируются следующим образом:

по назначению — подогреватели, конденсаторы, охладители, испарители, паропреобразователи и т. п.;

по принципу действия — рекуперативные, регенеративные и смешивающие.

Рекуперативными называются такие теплообменные аппараты, в которых теплообмен между теплоносителями происходит через разделительную стенку. При теплообмене в аппаратах такого типа тепловой поток в каждой точке поверхности разделительной стенки сохраняет постоянное направление.

Температура нагрева теплоносителя составляет 400—500 °С для конструкций из углеродистой стали и 700—800 °С для конструкций из легированных сталей.

В рекуперативных теплообменниках теплоносители омывают стенку с двух сторон и обмениваются при этом теплотой. Процесс теплообмена протекает непрерывно и имеет обычно стационарный характер. На рис. 5.1

показан пример рекуперативного теплообменника, в котором один из теплоносителей протекает внутри труб, а второй омывает их наружные поверхности.

Стенка, которая омывается с обеих сторон теплоносителями, называется рабочей поверхностью теплообменника.

Регенеративными называются такие теплообменные аппараты, в которых два теплоносителя или более попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева.

Во время соприкосновения с разными теплоносителями поверхность нагрева или получает и аккумулирует теплоту, а затем отдает ее, или, наоборот, сначала отдает аккумулированную теплоту и охлаждается, а затем нагревается. В разные периоды времени теплообмена (нагрев или охлаждение поверхности нагрева) направление теплового потока в каждой точке поверхности нагрева изменяется на противоположное.

В качестве примера на рис. 5.2 представлена схема регенеративного воздухоподогревателя котельного агрегата с медленно вращающимся ($2\text{--}5\text{ мин}^{-1}$) ротором — аккумулятором теплоты. Ротор имеет набивку из тонких гофрированных стальных листов (рис. 5.2,б), заключенных в закрытый кожух 3. К кожуху присоединяются воздушный и газовый короба. Во время работы теплообменника ротор его вращается, поэтому нагретые элементы набивки непрерывно переходят из полости горячего газа в полость холодного воздуха, а охладившиеся элементы — наоборот.

Смешивающими называют такие теплообменные аппараты, в которых тепло- и массообмен происходят при непосредственном контакте и смешивании теплоносителей. Поэтому смешивающие теплообменники иногда называют контактными. Наиболее важным фактором в рабочем процессе



Рис. 5.1. Простейший рекуперативный теплообменник:
I, II — теплоносители

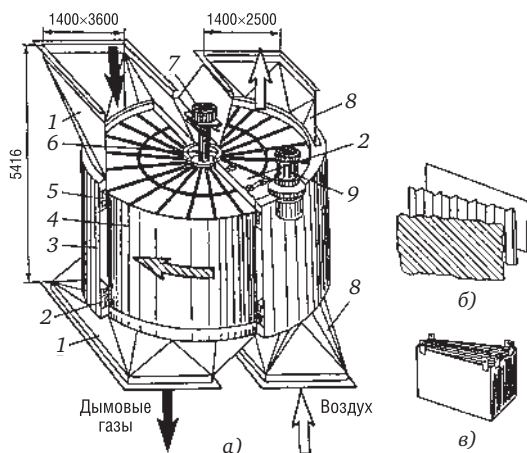


Рис. 5.2. Регенеративный воздухоподогреватель:

а — общий вид; б — отдельные пластины различной формы; в — секция с пластинами; 1 — газовые патрубки; 2, 5 — радиальное и периферийное уплотнения; 3 — неподвижный наружный кожух; 4 — набивка; 6 — вал ротора; 7 — верхний и нижний подшипники; 8 — воздушные патрубки; 9 — электродвигатель

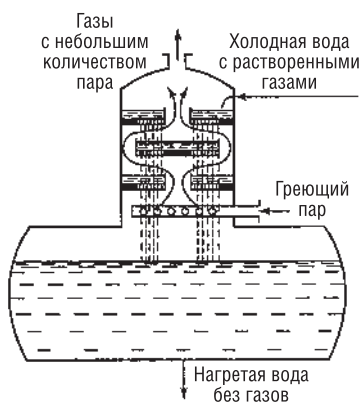


Рис. 5.3. Смешивающий теплообменник для подогрева воды паром при термическом удалении растворенных газов

смешивающего теплообменного аппарата является поверхность соприкосновения теплоносителей. В качестве примера на рис. 5.3 показана схема смешивающего теплообменника (деаэратора) для подогрева воды паром при термическом удалении растворенных газов (воздуха).

В качестве теплоносителей в зависимости от назначения производственных процессов могут применяться самые разнообразные газообразные, жидкие и твердые вещества.

В производственных аппаратах и системах отопления и горячего водоснабжения наиболее широкое распространение получили водяной пар, горячая вода, дымовые и топочные газы.

Водяной пар как греющий теплоноситель имеет следующие достоинства:

- 1) высокие коэффициенты теплоотдачи при конденсации водяного пара позволяют получать относительно небольшие поверхности теплообмена;
- 2) большое изменение энтальпии при конденсации водяного пара позволяет расходовать малое массовое количество его для передачи сравнительно большого количества теплоты;
- 3) постоянная температура конденсации при заданном давлении дает возможность наиболее просто поддерживать постоянный режим и регулировать процесс в аппаратах.

Наиболее часто употребляемое давление греющего пара в теплообменниках составляет от 0,2 до 1,2 МПа.

Горячая вода применяется как греющий теплоноситель, в основном, в отопительных и вентиляционных установках. Подогрев воды осуществляется в специальных водогрейных котлах, производственных технологических агрегатах (например, печах) или водонагревательных установках ТЭЦ и котельных. Горячую воду как теплоноситель можно транспортировать по трубопроводам на значительные расстояния (на несколько километров). При этом понижение температуры воды в хорошо изолированных трубопроводах составляет не более 1°C на 1 км. Достоинством воды как теплоносителя является сравнительно высокий коэффициент теплоотдачи. Как правило, в системах производственного и коммунального отопления используется горячая вода с температурой $70\text{—}150$ (200) $^{\circ}\text{C}$.

Дымовые и топочные газы как греющая среда применяются обычно на месте их получения для непосредственного нагрева промышленных изделий и материалов, если физико-химические характеристики последних не изменяются при загрязнении сажей и золой. Если по условиям эксплуата-

ции загрязнение обрабатываемого материала недопустимо, дымовые газы направляются в рекуперативный теплообменник, где отдают свою теплоту воздуху, а последний нагревает обрабатываемый материал.

Достоинством топочных газов является возможность нагрева ими материала до весьма высоких температур, которые требуются иногда по технологическим условиям производства.

Однако дымовые и топочные газы как греющая среда имеют ряд недостатков:

1) малая плотность газов влечет за собой необходимость получения больших объемов для обеспечения достаточной теплопроизводительности, а последнее приводит к созданию громоздких трубопроводов;

2) вследствие малой удельной теплоемкости газов их необходимо подавать в аппараты в большом количестве с высокой температурой. Последнее обстоятельство вынуждает применять огнеупорные материалы для трубопроводов;

3) из-за низкого коэффициента теплоотдачи со стороны газов теплоиспользующая аппаратура должна иметь большие поверхности нагрева и поэтому получается весьма громоздкой.

В настоящее время в промышленности для высокотемпературного обогрева кроме дымовых газов применяют *минеральные масла, органические соединения, расплавленные металлы и соли*. Характеристика некоторых высокотемпературных теплоносителей приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Характеристики некоторых высокотемпературных теплоносителей

Теплоноситель	Химическая формула	Температура °C	
		отвердевания	кипения
Минеральные масла	—	-20 ÷ -30	300 ÷ 500
Нафталин	$C_{10}H_8$	80,2	218
Дифенил	$C_{12}H_{10}$	69,5	255
Дифениловый эфир	$(C_6H_5)_2O$	27	259
Глицерин	$C_3H_5(OH)_3$	-17,9	290
Кремнийорганические соединения	$(CH_3C_6H_4O)_4$	-30	440
Нитритнитратная смесь	7 % $NaNO_3$ + 40 % $NaNO_2$ + 53 % KNO_3	143	Выше 550
Сплав натрия—калий	25 % Na, 75 % K	-11	784

Низкотемпературные теплоносители представляют собой вещества, кипящие при температурах ниже 0 °C. Типичными представителями их являются: аммиак NH_3 , диоксид углерода CO_2 , сернистый ангидрид SO_2 и большой ряд галоидных производных насыщенных углеводородов, применяющихся в качестве хладагентов в холодильной технике.

5.3. Конструкции теплообменных аппаратов поверхностного типа

Конструкции современных рекуперативных теплообменных аппаратов поверхностного типа непрерывного действия весьма разнообразны, рассмотрим наиболее характерные.

Кожухотрубные теплообменники

Кожухотрубчатые теплообменники представляют собой аппараты, выполненные из пучков труб, скрепленных при помощи трубных решеток (досок) и ограниченных кожухами и крышками с патрубками. Трубное и межтрубное пространства в аппарате разобщены, а каждое из них может быть разделено перегородками на несколько ходов. Перегородки предназначены для увеличения скорости и, следовательно, коэффициента теплоотдачи теплоносителей. Теплообменники этого типа предназначены для теплообмена между различными жидкостями, между жидкостями и паром, между

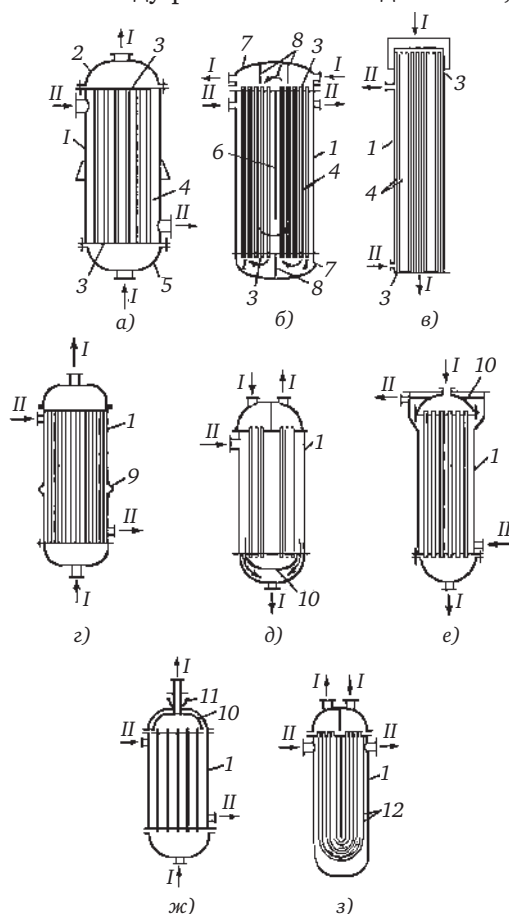


Рис. 5.4. Типы кожухотрубчатых теплообменников:

а — одноходовой; б — многоходовой; в — пленочный; г — с линзовым компенсатором; д — с плавающей головкой закрытого типа; е — с плавающей головкой открытого типа; ж — с сальниковым компенсатором; з — с U-образными трубками; 1 — кожух; 2 — выходная камера; 3 — трубная решетка; 4 — трубы; 5 — входная камера; 6 — продольная перегородка; 7 — камера; 8 — перегородки в камере; 9 — линзовый компенсатор; 10 — плавающая головка; 11 — сальник; 12 — U-образные трубки; I, II — теплоносители

жидкостями и газами. Типовые конструкции кожухотрубчатых теплообменников применяются в случаях, когда требуется большая поверхность теплообмена.

При нагреве жидкости паром в большинстве случаев пар вводится в межтрубное пространство, а нагреваемая жидкость протекает по трубкам. В кожухотрубчатых теплообменниках проходное сечение межтрубного пространства в 2—3 раза больше проходного сечения внутри труб. Поэтому при одинаковых расходах теплоносителей, имеющих одинаковое агрегатное состояние, скорости теплоносителя в межтрубном пространстве более низкие и коэффициенты теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невысоки, что снижает коэффициент теплопередачи в аппарате. На рис. 5.4 показаны различные типы кожухотрубчатых теплообменников.

Теплопередающая поверхность аппаратов может составлять от нескольких сотен квадратных сантиметров до нескольких тысяч квадратных метров. Так, конденсатор современной паровой турбины мощностью 300 МВт имеет более 20 тыс. труб с общей площадью поверхности теплообмена около 15 тыс. м².

Корпус (кожух) кожухотрубчатого теплообменника представляет собой цилиндр, сваренный из одного или нескольких стальных листов. Кожухи различаются, главным образом, способом соединения с трубной решеткой и крышками. Толщина стенки кожуха определяется максимальным давлением рабочей среды и диаметром аппарата, но не меньше 4 мм. К цилиндрическим кромкам кожуха привариваются фланцы для соединения с крышками или днищами. На наружной поверхности кожуха привариваются патрубки и опоры аппарата.

Трубки кожухотрубчатых аппаратов изготавливают прямыми или изогнутыми (U-образными) диаметром от 12 до 57 мм.

Материал трубок выбирается в зависимости от среды, омывающей ее поверхность. Применяются трубки из стали, латуни и специальных сплавов.

Трубные решетки служат для закрепления в них труб при помощи развальцовки, сварки, запайки или сальниковых соединений. Трубные решетки зажимаются болтами между фланцами кожуха и крышки или привариваются к кожуху, либо соединяются болтами только с фланцами свободной камеры.

Крышки кожухотрубчатых аппаратов имеют форму плоских плит, конусов, сфер, а чаще всего выпуклых или вогнутых эллипсов.

Секционные теплообменники

Секционные теплообменники (рис. 5.5) представляют собой разновидность трубчатых аппаратов и состоят из нескольких последовательно соединенных секций, каждая из которых представляет собой кожухотрубчатый теплообменник с малым числом труб и кожухом небольшого диаметра.

В секционных теплообменниках при одинаковых расходах жидкостей

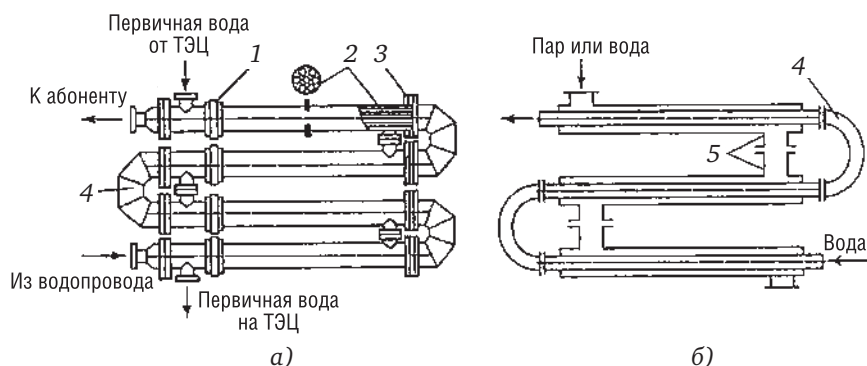


Рис 5.5. Секционные теплообменники:

а — водяной подогреватель теплосети; б — типа «труба в трубе»; 1 — линзовый компенсатор; 2 — трубки; 3 — трубная решетка с фланцевым соединением с кожухом; 4 — «калач»; 5 — соединительные патрубки

скорости движения теплоносителей в трубах и межтрубном пространстве почти равновелики, что обеспечивает повышенные коэффициенты теплопередачи по сравнению с обычными трубчатыми теплообменниками.

Недостатками секционных теплообменников являются: высокая стоимость единицы поверхности нагрева, так как деление ее на секции вызывает увеличение количества наиболее дорогих элементов аппарата — трубных решеток, фланцевых соединений, переходных камер, компенсаторов и т.д.; значительные гидравлические сопротивления вследствие различных поворотов и переходов вызывают повышенный расход электроэнергии на привод прокачивающего теплоноситель насоса.

Кожухи серийных секционных теплообменников изготавливают из труб длиной до 4 м, внутренним диаметром от 50 до 305 мм. Число труб в секции составляет от 4 до 151, поверхность нагрева — от 0,75 до 26 м², трубы латунные диаметром 16/14 мм. Отношение поверхности нагрева к объему теплообменника достигает 80 м²/м³, а удельный конструкционный вес составляет 50—80 кг/м² поверхности нагрева.

Подогреватели секционные водоводяные для тепловых сетей ЗАО «ВВТ» предназначены для подогрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения и состоят из секций кожухотрубчатого типа с трубной системой из прямых гладких труб, соединительных калачей и переходов.

Изготавливаются с длиной секции 2 и 4 м. Теплоноситель — горячая вода. Максимальное рабочее давление греющей и нагреваемой воды 1 МПа. Температура греющей среды — не более 150 °С (табл. 5.2, рис. 5.6,а).

Подогреватели пароводяные горизонтальные для систем теплоснабжения ЗАО «ВВТ» предназначены для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения.

Теплоноситель — пар. Расчетное давление пара — 1 МПа, воды — 1,5 МПа. Температура пара — не более 250 °С (табл. 5.3, рис. 5.6,б).

Таблица 5.2. Технические характеристики секционных водоводяных подогревателей

№ п/п	Длина секции, мм	Наружный диаметр корпуса, мм	Число трубок в секции, шт.	Площадь поверхности нагрева секции, м ²	Масса секции, кг	Расход сетевой воды, т/ч	Номинальный тепловой поток секции, кВт
01	2 000	57	4	0,38	24	4,3	14
02	4 000	57	4	0,75	37	4,3	23,9
03	2 000	76	7	0,66	33	7,8	22,5
04	4 000	76	7	1,32	53	7,8	38,9
05	2 000	89	10	0,94	40	11	31,7
06	4 000	89	10	1,88	65	11	54,9
07	2 000	114	19	1,79	58	21	63,8
08	4 000	114	19	3,58	98	21	110
09	2 000	168	37	3,49	113	41	109
10	4 000	168	37	6,98	194	41	191
11	2 000	219	61	5,76	173	67,6	203
12	4 000	219	61	11,51	302	67,6	349
13	2 000	273	109	10,28	262	120,9	398
14	4 000	273	109	20,56	462	120,9	674
15	2 000	325	151	14,24	338	167,3	549
16	4 000	325	151	20,49	595	167,3	931

Таблица 5.3. Технические характеристики пароводяных горизонтальных подогревателей

Модель	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, кг	Число трубок, шт.	Расход нагреваемой воды, т/ч
ПП2-6-2-II	325	2550	390	68	29,2
ПП2-9-7-II	325	3550	485	68	32,4
ПП2-9-7-IV	325	3550	510	68	16,1
ПП2-11-2-II	426	2550	610	92	53,4
ПП2-17-7-II	426	3575	730	124	59
ПП2-17-7-IV	426	3550	730	124	29,4
ПП1-21-2-II	530	2785	900	176	103,5
ПП1-32-7-II	530	3785	1090	232	111
ПП1-32-7-IV	530	3785	1090	232	55
ПП1-35-2-II	630	2885	1090	232	169
ПП1-53-7-II	630	3885	1590	392	182
ПП1-53-7-IV	630	3885	1650	392	93
ПП1-76-7-II	720	4015	2000	560	261
ПП1-76-7-IV	720	4015	2000	560	133

Таблица 5.4. Характеристики сетевых вертикальных пароводяных

Характеристика	Тип сетевого			
	ПСВ-45-7-15	ПСВ-63-7-15	ПСВ-90-7-15	ПСВ-125-7-15
Площадь поверхности нагрева, м ²	45	63	90	125
Расчетный пропуск воды, т/ч	90/180	120/240	175/350	250/500
Допустимое избыточное давление/ температура по пару, МПа (кгс/см ²)/°C	0,7 (7)/400			
Допустимое избыточное давление/ температура по воде, МПа (кгс/см ²)/°C	1,5 (15)/150			
Диаметр труб, мм	19/17			
Число ходов по воде	4/2			
Число труб в одном ходе	57/114	80/160	114/228	160/320
Живое сечение для воды, м ²	0,013/0,026	0,018/0,036	0,026/0,052	0,036/0,072
Наружный диаметр корпуса, мм	720	816	1 020	1 020
Условный проход штуцеров по воде, мм	150	250	300	300
Условный проход парового штуце- ра, мм	200	200	350	350
Масса подогревателя без воды, т	2,02	2,51	3,82	4,08
Расстояние между перегородками трубного пучка, м	1,32	1,32	1,31	1,31

Примечания: 1. Все подогреватели имеют прямой пучок труб из латуни Л-68.
2. Первые шесть типоразмеров выпускаются четырехходовыми, но допускают переход на двухходовую схему (4/2).

Характеристики пароводяных и водоводяных подогревателей саратовского завода тяжелого машиностроения приведены в табл. 5.4, 5.5.

Устройство сетевого вертикального подогревателя показано на рис. 5.7.

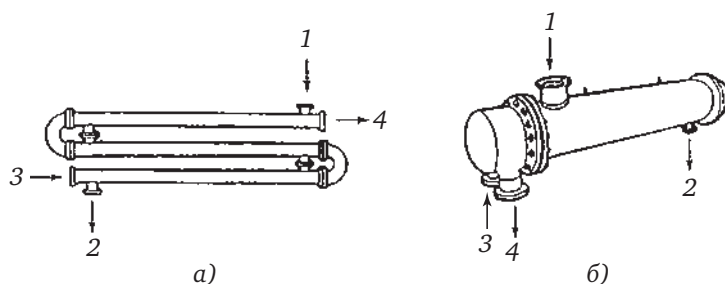


Рис. 5.6. Общие виды пароводяного и водоводяного теплообменников:
а — водоводяной секционный подогреватель: 1 и 2 — вход и выход греющей воды; 3 и 4 — вход и выход нагреваемой воды; б — пароводяной горизонтальный подогреватель: 1 — вход пара; 2 — выход конденсата; 3 и 4 — вход и выход нагреваемой воды

подогревателей (Саратовский завод тяжелого машиностроения)

подогревателя					
ПСВ-200-3-23	ПСВ-200-14-23	ПСВ-315-3-23	ПСВ-315-14-23	ПСВ-500-3-23	ПСВ-500-14-23
200	200	315	315	500	500
400/800		1130		1500	
0,3 (3)/400	1,4 (14)/400	0,3 (3)/400	1,4 (14)/400	0,3 (3)/400	1,4 (14)/400
2,3 (23)/130	2,3 (23)/180	2,3 (23)/130	2,3 (23)/180	2,3 (23)/130	2,3 (23)/180
19/17		19/17			
4/2		2	2	2	2
255/510	255/510	606	606	964	964
0,057/0,114		0,136		0,216	
1 232	1 232	1 524	1 544	1 624	1 640
350	350	500	500	500	500
450	300	600	450	800	500
6,76	6,97	11,65	12,42	14	14,97
1,33	1,33	1,2	1,2	1,23	1,19

Рис. 5.7. Сетевой вертикальный подогреватель типа ПСВ-500-14-23:

a — вход воды; *б* — выход воды; 1 — крышка подогревателя с входным и выходным патрубками для сетевой воды; 2 — верхняя трубная доска; 3 — корпус подогревателя; 4 — трубная система с перегородками; 5 — камера водяная нижняя; 6 — патрубок для ввода конденсата; 7 — слив воды из трубной системы; 8 — патрубок отвода конденсата; 9 — штуцер для подвода пара; 10 — опора; 11 — кольцо для отсоса воздуха; 12 — уравнильный сосуд; 13 — водоуказательное стекло; 14 — манометр

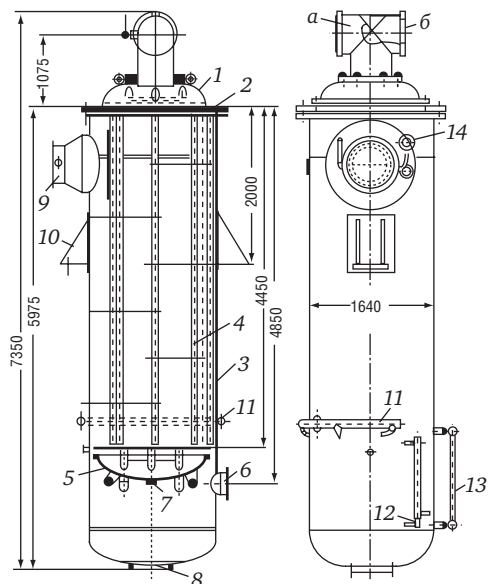


Таблица 5.5. Горизонтальные секционные разъемные водоводяные теплообменники

Типоразмер секции и диаметр ее корпуса, мм	Площадь поверхности нагрева, м ²	Число трубок в пучке и живое сечение, м	
		Трубный пучок	Межтрубное пространство
С латунными трубами на p _y = 1 МПа			
01/02(57×3,5)	0,37/0,75	4/0,00062	0,00116
03/04(76×3,5)	0,65/1,31	7/0,00108	0,00233
05/06(89×3,5)	1,11/2,24	12/0,00185	0,00287
07/08(114×4)	1,76/3,54	19/0,00293	0,005
09/10(168×5)	3,4/6,9	37/0,0057	0,0122
11/12 (19×6)	5,89/12	64/0,00985	0,02079
13/14(273×7)	10/20,3	109/0,01679	0,03077
15/16(325×8)	13,8/28	151/0,02325	0,04464
17/18(377×9)	19,8/40,1	216/0,03325	0,05781
19/20(426×9)	25,8/52,5	283/0,04356	0,07191
21/22(530×9)	41/83,4	450/0,06927	0,11544
Со стальными трубами на p _y = 1 МПа			
31/32(57×3,5)	0,36/0,73	4/0,00055	0,00116
33/34(76×3,5)	0,63/1,27	7/0,00096	0,00233
35/36(89×3,5)	1,08/2,18	12/0,00164	0,00287
37/38(114×4)	1,7/3,45	19/0,00260	0,005
39/40(168×5)	3,31/6,71	37/0,00506	0,0122
41/42(219×6)	5,73/11,6	64/0,00876	0,02079
43/44(273×7)	9,74/19,7	109/0,01492	0,03077
45/46(325×8)	13,5/27,3	151/0,02066	0,04464
47/48(377×9)	19,3/39,1	216/0,02956	0,05781
49/50(426×9)	25,2/51,1	283/0,03873	0,07191
51/52(530×9)	39,9/81,2	450/0,06158	0,11544

Примечания: 1. Теплообменники секционные, разъемные имеют один или несколько последовательно включенных, одноходовых секций, сочленяемых между собой штуцерами и калачами на фланцах. Секции имеют активную длину 2 или 4 м и трубный пучок из латунных труб диаметром 16×1 мм или стальных труб. Допустимая температура греющего теплоносителя 200 °С.

2. В числителе — типоразмер с активной длиной 2 м, в знаменателе — с активной длиной 4 м.

3. Теплообменники со стальными трубами должны применяться для подогрева или охлаждения химически очищенной деаэрированной воды.

Пластинчатые теплообменники

Пластинчатые теплообменники имеют плоские поверхности теплообмена. Обычно такие теплообменники применяют для теплоносителей, коэффициенты теплоотдачи которых одинаковы.

Пластинчатый теплообменник состоит из ряда тонких металлических пластин с гофрированной поверхностью, которые скрепляются между собой посредством уплотнительных прокладок или соединяются сваркой (иногда эти способы сборки сочетаются) в зависимости от используемого теплоно-

сителя, а также от ряда конструктивных причин, например, необходимости удалять или добавлять пластины в процессе эксплуатации. Пластины сжимаются в пакет на жесткой раме с направляющими при помощи мощных прижимных плит и стяжных болтов, чтобы создать технологическую систему для заполнения параллельных каналов. Одна жидкая или газообразная среда движется по четным каналам, другая — по нечетным (рис. 5.8).

Недостатками изготовлявшихся до недавнего времени пластинчатых теплообменников являлись малая герметичность и незначительные перепады давлений между теплоносителями.

В последнее время изготовляют компактные разборные пластинчатые теплообменники, состоящие из штампованных металлических листов с внешними выступами, расположенными в коридорном или шахматном порядке. Такие конструкции применяются для теплообмена между жидкостями и газами и работают при перепадах давлений до 1,2 МПа. Благодаря незначительному расстоянию между пластинами (6—8 мм) такие теплообменники весьма компактны. Удельная площадь поверхности нагрева F/V составляет 200—300 м²/м³. Поэтому пластинчатые теплообменники в ряде случаев вытесняют трубчатые и спиральные.

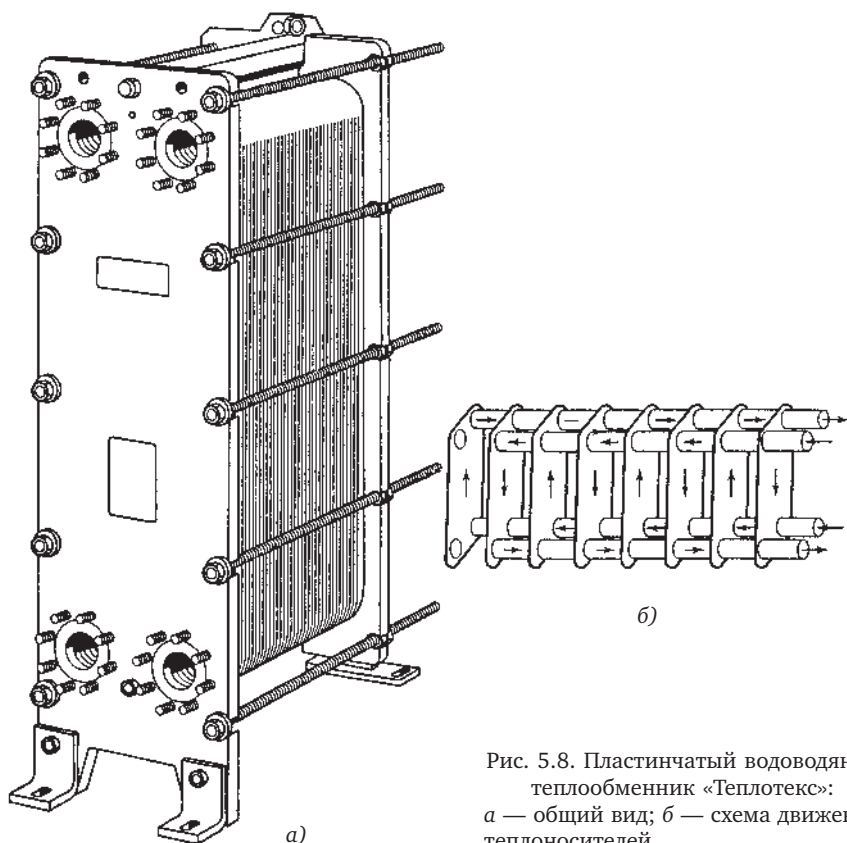


Рис. 5.8. Пластиначтый водоводяной теплообменник «Теплотекс»:
а — общий вид; б — схема движения теплоносителей

В табл. 5.6 для сравнения представлены некоторые характеристики рекуперативных теплообменников, из которых видно, что площадь поверхности теплообмена, приходящаяся на единицу объема, у пластинчатых устройств небольшая, а масса, приходящаяся на 1 м² поверхности теплообмена, наименьшая. Это предопределяет применение пластинчатых теплообменников в транспортных тепловых установках, авиационных двигателях, криогенных системах, где при высокой эффективности процесса необходимы компактность и малая масса.

Таблица 5.6. Характеристики компактности и металлоемкости рекуперативных теплообменников

Тип теплообменного аппарата	Площадь на единицу объема, м ² /м ³	Масса на 1 м ² поверхности, кг/м ²
Трубчатые:		
кожухотрубный	18—40	35—80
секционный	4—15	175—200
Пластинчатые:		
с гладкими листами	10—60	5—20
спиральный	34—72	30—50
Штампованный (волнистый или сферический)	300—6000	5—10
Пластинчатый с ребрами	600—1800	2—4

Органически такой конструкции присущи следующие недостатки: трудность чистки внутри каналов, ремонт, частичная замена поверхности теплообмена, а также невозможность изготовления пластинчатых теплообменников из чугуна и хрупких материалов и длительная эксплуатация.

В настоящее время в системах теплоснабжения жилищно-коммунальных хозяйств и ряда промышленных предприятий в качестве подогревателей горячего водоснабжения (ГВС) и отопления устанавливаются пластинчатые теплообменники вместо ранее используемых для этих целей традиционных секционных кожухотрубных подогревателей. Это связано с целым рядом обстоятельств и преимуществ:

1) коэффициент теплопередачи в пластинчатых теплообменниках в 3—4 раза больше, чем в кожухотрубных, благодаря специальному гофрированному профилю проточной части пластины, обеспечивающему высокую степень турбулизации потоков теплоносителей. Соответственно в 3—4 раза поверхность пластинчатых теплообменников меньше, чем поверхность кожухотрубных;

2) пластинчатые теплообменники имеют малую металлоемкость, очень компактны, их можно установить в небольшом помещении;

3) в отличие от кожухотрубных они легко разбираются и быстро чистятся. При этом не требуется демонтаж подводящих трубопроводов;

4) в пластинчатом теплообменнике можно легко и быстро заменить пластину или прокладку, а также увеличить его поверхность, если со временем возрастет тепловая нагрузка.

Секционные кожухотрубные теплообменники трудно точно рассчитать на требуемую тепловую производительность и допустимые потери напора, так как поверхность одной секции велика и достигает 28 м^2 (при $D_u = 300 \text{ мм}$).

Пластинчатые теплообменники набираются из отдельных пластин, площадь поверхности нагрева которых, как правило, не превышает 1 м^2 . Это обстоятельство в сочетании с оптимально выбранным типом пластины позволяет точно без лишнего запаса выбрать теплопередающую поверхность теплообменника.

По своим техническим характеристикам теплообменники «Теплотекс» являются разборными и одноходовыми; материал пластины — сталь ALSL 316; толщина пластины — $0,5\text{—}0,6 \text{ мм}$; материал прокладки — резина EPDM; максимальная рабочая температура теплоносителя — 150°C ; рабочее давление — $1\text{—}2,5 \text{ МПа}$; расходы воды в зависимости от типа теплообменника — от 2 до 100 кг/с ; площадь поверхности — от $1,5$ до 373 м^2 (табл. 5.7).

Таблица 5.7. Типоразмерный ряд пластинчатых теплообменников «Теплотекс» (ГУП «МОСТЕПЛОЭНЕРГО»)

Параметр	Тип теплообменника						
	U-2	TR1	H17	N35	R55	A055	A085
Максимальный расход воды, кг/с	1,83	5,56	22,22	30,56	52,78	102,78	102,78
Диаметр штуцеров, мм	20	35	65	80	100	150	150
Площадь поверхности пластины, м^2	0,018	0,061	0,17	0,35	0,55	0,55	0,852
Максимальная площадь поверхности теплообменника, м^2	1,13	7,2	40,50	174,30	521,40	240,90	373,20

В табл. 5.8 приведены характеристики разборных пластинчатых теплообменников производства ЗАО «ВВТ» для данных, приведенных ниже:

Рабочее давление, МПа $1,0/1,6/2,5$

Рабочая температура, $^\circ\text{C}$ $30/150$

Материалы пластин AISI 304, AISI 316

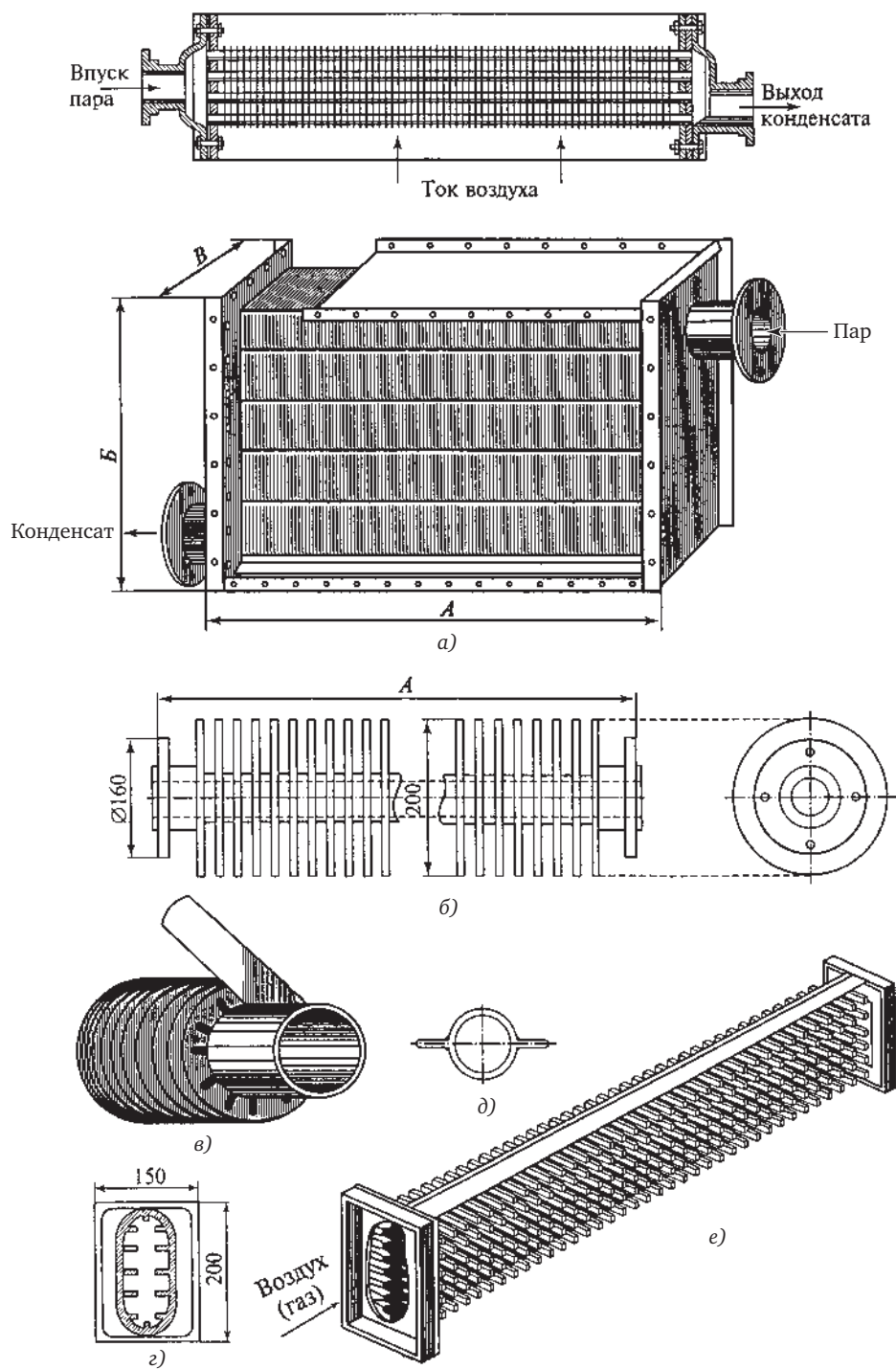
Материалы:

прокладок NBR, EPDM, VITON

среды вода, пар, этиленгликоль, масла, нефть, кислоты, пищевые продукты, фреоны

Таблица 5.8. Характеристики пластинчатых теплообменников ЗАО «ВВТ»

Тип	Площадь одной пластины, м^2	D_u , мм	Площадь теплообмена, м^2	Расход максимальный, $\text{м}^3/\text{ч}$
НН № 04	0,04	32	5,2	15
НН № 08	0,08	32	10,5	15
НН №07	0,07	50	6,2	40
НН №14	0,15	50	10,9	40
НН № 20	0,2	50	14,6	40
НН №21/22	0,21	100	140	160
НН № 47	0,47	100	315	160
НН №41	0,41	150	275	350
НН № 62	0,62	150	415	350



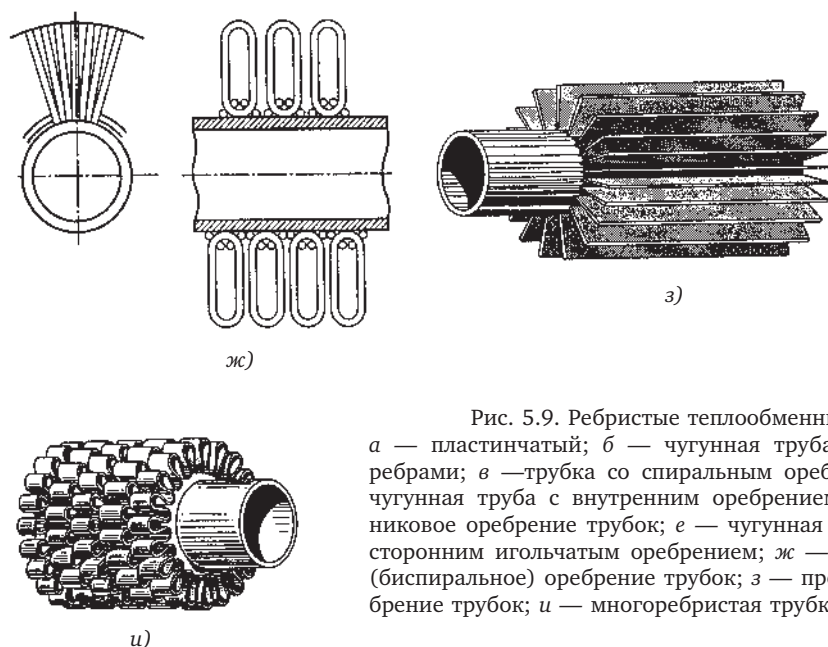


Рис. 5.9. Ребристые теплообменники:
 а — пластинчатый; б — чугунная труба с круглыми ребрами; в — труба со спиральным оребрением; г — чугунная труба с внутренним оребрением; д — плавниковое оребрение трубок; е — чугунная труба с двухсторонним игольчатым оребрением; ж — проволочное (биспиральное) оребрение трубок; з — продольное оребрение трубок; и — многоребристая трубка

Ребристые теплообменники

Ребристые теплообменники применяются в тех случаях, когда коэффициент теплоотдачи для одного из теплоносителей значительно ниже, чем для второго. Поверхность теплообмена со стороны теплоносителя с низким значением, увеличивают по сравнению с поверхностью теплообмена со стороны другого теплоносителя. В таких аппаратах поверхность теплообмена имеет на одной стороне ребра различной формы. Как видно из рис. 5.9 ребристые теплообменники изготовляют самых различных конструкций. При этом ребра выполняют поперечными, продольными, в виде игл, спиралей, из витой проволоки и т. д.

5.4. Расчеты теплообменных аппаратов поверхностного типа

Конструкции теплообменных аппаратов весьма разнообразны, однако существует общая методика теплотехнических расчетов, которую можно применить для частных расчетов в зависимости от имеющихся исходных данных.

Существуют два вида расчетов: конструкторский (проектный) и поверочный.

Конструкторский расчет выполняется при проектировании теплообменного аппарата, когда заданы теплопроизводительность аппарата, теплоносители, их расходы и параметры. Целью конструкторского расчета является определение поверхности теплообмена и конструктивных размеров

выбранного типа аппарата. Конструкторский расчет состоит из теплового (теплотехнического), гидравлического и механического расчетов.

Поверочный расчет производится для установления возможности применения имеющихся или стандартных теплообменных аппаратов для необходимых технологических процессов. При поверочном расчете заданы размеры аппарата и условия его работы; требуется определить конечные параметры теплоносителей и тепловую мощность аппарата. Следовательно, целью расчета является выбор условий, обеспечивающих оптимальный режим работы аппарата. В некоторых случаях при таком расчете тепловая мощность аппарата является заданной, а требуется определить, например, расход и начальную температуру одной из сред.

Теплообмен между теплоносителями существенно изменяется в зависимости от физических свойств и параметров движущихся сред, а также от гидродинамических условий движения. Физические параметры теплоносителей зависят от температуры и определяются по справочникам в зависимости от выбранной средней температуры среды.

Средняя температура среды t_{cp} приближенно определяется как среднее арифметическое значение начальной t_n и конечной t_k температур:

$$t_{cp} = (t_k - t_n) / 2. \quad (5.1)$$

Основными физическими параметрами рабочих сред являются: плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, температура кипения, скрытая теплота испарения или конденсации и др. Значения этих параметров можно найти в справочной литературе.

Конструкторский тепловой расчет состоит в совместном решении уравнений тепловых балансов, определяющих тепловую мощность аппарата, и уравнений теплопередачи.

Для аппаратов, работающих без изменения агрегатного (фазового) состояния теплоносителей, уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = G_1 c_1 (t'_1 - t''_1) \eta_n = G_2 c_2 (t'_2 - t''_2). \quad (5.2)$$

Для аппаратов с изменением агрегатного состояния одного из теплоносителей уравнение можно записать в виде:

$$Q = D_1 (i_1 - i_k) \eta_n = G_2 c_2 (t'_2 - t''_2), \quad (5.3)$$

где Q — тепловая мощность, Вт; G_1 и G_2 — расходы теплоносителей (воздуха, газов и т. п.), не изменяющих агрегатного состояния, кг/с; D_1 — расход теплоносителя, изменяющего агрегатное состояние, кг/с; c_1 и c_2 — теплоемкости теплоносителей, Дж/(кг·К); t'_1, t''_1, t'_2, t''_2 — начальные и конечные температуры теплоносителей, °С; i — энтальпия пара, Дж/кг; i_k — энтальпия конденсата, Дж/кг; η_n — коэффициент, учитывающий потери теплоты аппаратом в окружающую среду.

На основе уравнений (5.2) и (5.3) определяют расходы теплоносителей:

а) для теплообмена без изменения агрегатного состояния теплоносителей:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1(t'_1 - t''_1)\eta_{\Pi}} \text{ и } G_2 = \frac{Q}{c_2(t''_2 - t'_2)\eta_{\Pi}}; \quad (5.4)$$

б) для теплообмена при изменении агрегатного состояния одного или обоих теплоносителей:

$$D_1 = \frac{G_2 c_2 (t''_2 - t'_2)}{(i - i_k)\eta_{\Pi}}. \quad (5.5)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника F , м^2 , определяют из уравнения теплопередачи, Вт:

$$Q = KF\Delta t_{\text{ср}}, \quad (5.6)$$

где K — коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур между теплоносителями, $^{\circ}\text{C}$.

Для трубчатого теплообменника:

$$F = \pi d_{\text{ср}} L n z, \quad (5.7)$$

где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр трубки, м; L — длина трубки, м; n — число трубок в одном ходу; z — число ходов.

Для пластинчатого теплообменника из нерифленых листов площадь поверхности пластин с одной стороны, м^2 ,

$$F = abn, \quad (5.8)$$

где a — ширина пластины, м; b — высота пластины, м; n — число пластин.

В большинстве случаев интенсификация теплообмена (большие коэффициенты теплопередачи) и малые поверхности нагрева аппарата достигаются за счет больших скоростей теплоносителей, однако это вызывает большие гидравлические сопротивления и требует значительного расхода электроэнергии на эксплуатацию теплообменника. Поэтому часто бывает необходимо произвести технико-экономический расчет для выбора наилучших скоростей теплоносителей.

В некоторых случаях гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата может быть задано, например, если он должен быть включен между прямой и обратной линиями теплофикационной сети и нужно уложиться в располагаемую разность давлений.

Для наиболее часто применяемых диаметров труб (57, 38 и 25 мм) рекомендуются скорости жидкости 1,5—2 м/с и не выше 3 м/с; нижний предел скорости для большинства жидкостей составляет 0,06—0,3 м/с. Для маловязких жидкостей скорость, соответствующая $Re = 10^4$, не превышает 0,2—0,3 м/с. Для вязких жидкостей турбулентность потока достигается при значительно больших скоростях, поэтому при расчетах приходится допускать переходный или даже ламинарный режим.

Для газов при атмосферном давлении допускаются скорости до 25 м/с, а массовые скорости 15—20 кг/(м²·с), нижший предел 2—2,5 кг/(м²·с). Для насыщенных паров при конденсации рекомендуются скорости до 10 м/с.

В подводящих патрубках рекомендуются следующие скорости движения теплоносителей, м/с:

Жидкости	1,5—3
Конденсат греющего пара	1—2
Насыщенный пар	20—30
Перегретый пар	50 и более

Из уравнения (5.6) следует, что для определения площади поверхности нагрева предварительно требуется найти коэффициент теплопередачи и средний температурный напор, а также выбрать схему движения теплоносителей в аппарате так, чтобы получить максимальную среднюю разность температур. Это создает наилучшие условия для теплопередачи.

Движение теплоносителей I и II (рис. 5.10) может быть прямоточным (а), противоточным (б), перекрестным (в) и смешанным (г, д) (со сложным направлением движения теплоносителей).

Характер изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена определяется схемой движения и соотношением теплоемкостей массовых расходов теплоносителей. На рис. 5.11 представлены графики изменения температур для трех возможных соотношений теплоемкостей и массовых расходов теплоносителей.

Если температура обоих теплоносителей изменяется вдоль поверхности теплообмена, то при противотоке и прямотоке

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (5.9)$$

где Δt_6 и Δt_m — большая и меньшая разности температур между первичными и вторичными теплоносителями на концах теплообменника.

Полученная разность температур $\Delta t_{\text{ср}}$ называется среднелогарифмическим температурным напором. Формула (5.9) справедлива для простейших схем аппаратов при условии постоянства массового расхода теплоносителей и коэффициента теплопередачи вдоль всей поверхности теплообмена.

Расчет средней разности температур для сложных схем движения теплоносителей производят следующим образом: сначала определяют температурный на-

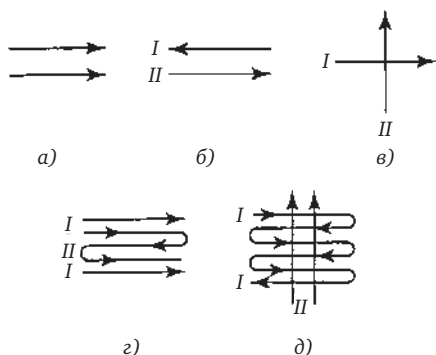


Рис. 5.10. Движение теплоносителей

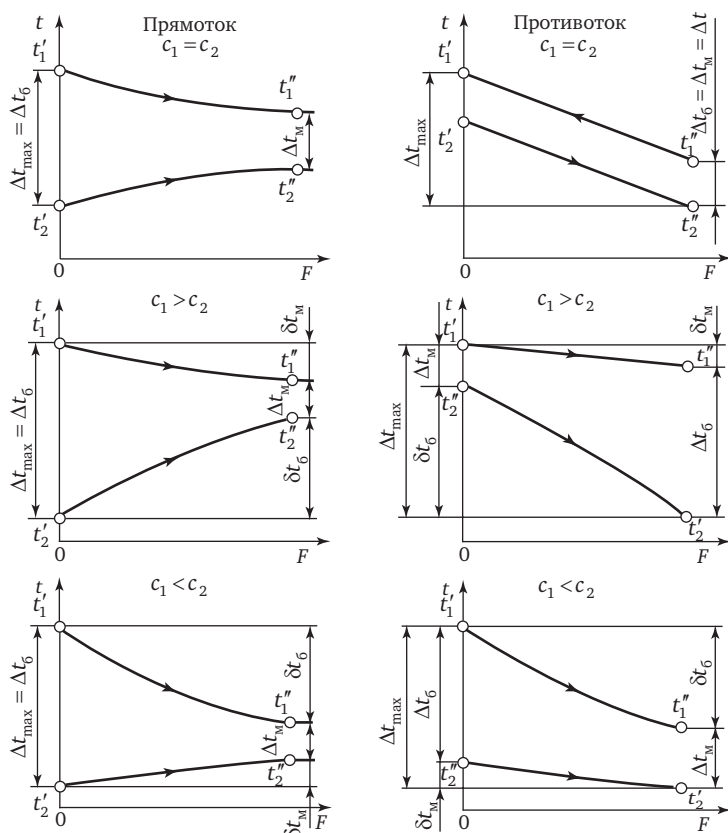


Рис. 5.11. Изменение температур теплоносителей по поверхности аппарата при прямотоке и противотоке

пор по формуле (5.9), а затем находят вспомогательные величины:

$$P = \frac{t'_2 - t''_2}{t'_1 - t'_2} = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{\max}}; \quad R = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_2 - t'_2} = \frac{\delta t_1}{\delta t_2}, \quad (5.10)$$

где δt_1 и δt_2 — приращения температур горячего и холодного теплоносителей.

Величина P представляет собой отношение степени нагрева холодной среды к максимально возможному перепаду температур, R — отношение степени охлаждения горячей среды к степени нагрева холодной среды.

В зависимости от значений P и R из графика, приведенного на рис. 5.12, определяют поправку $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$. Температурный напор находится по формуле

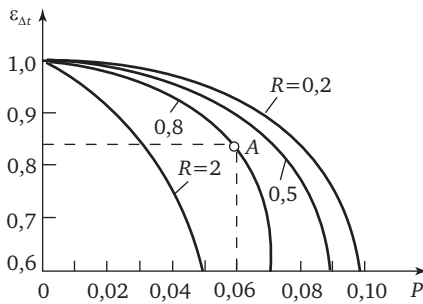


Рис. 5.12. График для определения поправочного коэффициента $\varepsilon_{\Delta t}$.

$$\Delta t_{\text{ср}} = \varepsilon_{\Delta t} \Delta t_{\text{прот}} \quad (5.11)$$

В тех случаях, когда температура теплоносителей вдоль поверхности теплообмена изменяется незначительно, средняя разность температур вычисляется по упрощенной формуле как средняя арифметическая крайних напоров:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_{\text{м}}}{2}. \quad (5.12)$$

Так как среднеарифметический температурный напор всегда больше, чем среднелогарифмический, то расчет по формуле (5.12) справедлив при $\Delta t_6 / \Delta t_{\text{м}} < 2$.

В теплообменных аппаратах противоток имеет ряд преимуществ по сравнению с прямотоком, поэтому он получил большее распространение и его следует применять во всех случаях, когда этому не препятствуют требования технологии или другие обстоятельства. При прямотоке конечная температура нагреваемого теплоносителя не может быть выше конечной температуры греющего, в то время как противоток свободен от этого ограничения (см. рис. 5.11).

Коэффициент теплопередачи K представляет собой количественную расчетную величину, характеризующую сложный теплообмен. Он зависит от коэффициентов теплоотдачи, термического сопротивления стенки и загрязнений. Для плоской стенки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{\text{заг}}}, \quad (5.13)$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя; δ — толщина стенки аппарата; λ — коэффициент теплопроводности материала стенки; α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю; $R_{\text{заг}}$ — термическое сопротивление, учитывающее загрязнение с обеих сторон стенки (накипь, сажа и пр.), $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Для стенки, имеющей другие геометрические формы (цилиндрической, шаровой, многослойной плоской, многослойной цилиндрической, многослойной шаровой, ребристой и т.д.), расчетные формулы для определения коэффициента теплопередачи можно найти в справочной литературе. Если стенка трубы тонкая, то достаточно точно его можно рассчитать по формуле для плоской стенки. Так, при $d_{\text{нар}}/d_{\text{вн}} < 2$ погрешность не превышает 4%.

Ориентировочные значения термического сопротивления для некоторых случаев загрязнения поверхности стенки приведены в табл. 5.9.

Если теплопроводность слоя загрязнения неизвестна, подсчитывают ко-

Таблица 5.9. Значения термического сопротивления для некоторых случаев загрязнения поверхности стенки

Теплоноситель, из которого откладывается загрязнение на поверхность теплообмена	$R_{\text{заг}} = \delta/\lambda, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
Машинное или трансформаторное масло	0,0002
Растительное масло	0,0006
Органические жидкости	0,0002
Холодные рассолы	0,0002
Очищенная водопроводная вода	0,0002
Дистиллированная вода	0,0002
Колодезная вода	0,0002
Водопроводная вода речная	0,0004—0,0006
Бензин	0,0001
Смолы и битум	0,0002
Сырая нефть	0,0001—0,0004
Сырой лигроин	0,0004—0,0008
Газы коксовых печей и другие газы	0,0002
Конденсирующиеся органические пары	0,0002

эффицент теплопередачи для чистой стенки $K_{\text{чист.ст}}$ и вводят поправку на ее загрязнение при помощи коэффициента использования поверхности теплообмена φ :

$$K_{\text{расч}} = K_{\text{чист.ст}} \varphi. \quad (5.14)$$

Для большинства аппаратов значение коэффициента φ лежит в пределах 0,65—0,85. В случае большого выпадения осадков из теплоносителей на поверхности теплообмена (например, из морской воды на поверхность судовых маслоохладителей при некоторых режимах работы) $\varphi = 0,4 \div 0,5$.

Коэффициенты теплоотдачи α определяются в большинстве случаев из выражения для критерия Нуссельта:

$$\alpha = \text{Nu} \lambda / d_3, \quad (5.15)$$

где Nu — безразмерный критерий подобия — критерий Нуссельта; λ — коэффициент теплопроводности того теплоносителя, для которого определяется коэффициент теплоотдачи; $d_3 = 4F/\Pi$ — эквивалентный диаметр; F — площадь поперечного сечения; Π — смоченный периметр.

Число Нуссельта определяется в зависимости от характера движения и агрегатного состояния теплоносителей по критериальным уравнениям различного вида.

Обобщение экспериментальных данных различных исследователей по расчету среднего коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении различных жидкостей (кроме жидких металлов) для диапазона чисел Рейнольдса $\text{Re} = 10^4 \div 5 \cdot 10^6$ дает следующее критериальное уравнение:

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = 0,021 \text{Re}_{\text{ж}}^{0,8} \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{с}}} \right)^{0,25} \varepsilon_l, \quad (5.16)$$

где $\text{Re}_{\text{ж}}$ — критерий Рейнольдса, определенный при температуре жидкости и определяющем размере трубы; $\text{Pr}_{\text{ж}}$ — критерий Прандтля, определенный при температуре жидкости; $\text{Pr}_{\text{с}}$ — критерий Прандтля, определенный при температуре стенки; ε_l — коэффициент, учитывающий изменение среднего коэффициента теплоотдачи по длине трубы (при $l/d \leq 50$ необходимо учитывать влияние начального участка; значения ε_l в зависимости от числа Re и отношения l/d приведены в справочной литературе).

В уравнении (5.16) за определяющую температуру принята средняя температура жидкости, а за определяющий размер — внутренний диаметр трубы; диапазон значений критерия Прандтля, удовлетворяющий этому уравнению, довольно широк и составляет 0,6—2500.

Площадь поверхности теплообмена F определяется из основного уравнения теплопередачи (5.6):

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (5.17)$$

где Q — тепловая нагрузка аппарата (определяется из теплового баланса).

По поверхности теплообмена подбирают теплообменный аппарат и определяют конструктивные размеры аппарата.

5.5. Воздушно-отопительное оборудование

В последние годы в системах отопления и вентиляции промышленных, административных, сельскохозяйственных и в других помещениях широко используется воздушно-отопительное оборудование различных видов: калориферы, воздухонагреватели, электрокалориферные агрегаты, тепловые пушки, теплогенераторы и др.

Калориферы КСк, воздухонагреватели КП-Ск

В табл. 5.10, 5.11 приведены характеристики и параметры воздушно-отопительного оборудования производства ЗАО «ВВТ».

Теплотехнические характеристики калориферов КСк и воздухонагревателей КП-Ск приведены для следующего режима:

Температура воздуха на входе, °С	–20
Температура воды, °С:	
на входе	150
на выходе	70
Массовая скорость воздуха в набегающем потоке, кг/(м ² ·с)	3,6
Давление пара (КП-Ск), МПа	0,1
Давление воды (КСк), МПа, не более	1,2

Калориферы (теплоноситель — горячая перегретая вода) и воздушонагреватели (теплоноситель — сухой насыщенный пар) биметаллические, спирально-накатные предназначены для нагрева воздуха в системах кондиционирования, вентиляции и отопления. Воздух должен быть с предельно-допустимым содержанием химически агрессивных веществ по ГОСТ 12.1.005—88, с запыленностью не более 0,5 мг/м³ и не содержать липких веществ и волокнистых материалов.

Калориферы предназначены для эксплуатации в условиях холодного климата категории размещения 3 по ГОСТ 15150—69.

Калориферы можно применять в качестве теплоутилизаторов с промежуточным теплоносителем.

Показатели надежности калориферов и воздушонагревателей:

Средний срок службы, лет, не менее.	11 (КСк) и 6 (КП-Ск)
Полный установленный ресурс, ч, не менее.	16 000
Установленная безотказная наработка, ч, не менее.	10 000
Среднее время восстановления работоспособного состояния, ч, не более. ...	12

Калориферы с теплоносителем горячая или перегретая вода № 6—10 выполнены в шестиходовом исполнении, а № 11 и 12 — в четырехходовом исполнении по внутреннему теплоносителю. Последовательное движение теплоносителя достигается за счет перегородок в коллекторах (рис. 5.13).

Воздушонагреватели с теплоносителем сухой насыщенный (перегретый) пар выполнены в одноходовом исполнении по теплоносителю, имеют патрубки с обеих сторон и устанавливаются в системах с вертикальным расположением теплоотдающих элементов. Не допускается работа воздушонагревателя на пролетном паре. Уровень конденсата не должен быть выше нижнего ряда теплоотдающих трубок. Для того чтобы не было сквозного (пролетного) прорыва пара и при этом больших скоростей, вызывающих эрозию стенок теплоотдающих труб, на сливе конденсата необходимо устанавливать конденсатоотводчики соответствующего номера (на расстоянии не менее 300 мм от нижнего патрубка воздушонагревателя). Отвод конденсата должен исключать возможность размораживания воздушонагревателя и возникновения гидроударов при изменении нагрузки.

Калориферы и воздушонагреватели изготавливаются из углеродистых сталей обыкновенного качества, теплоотдающие элементы выполнены из стальной трубы (диаметром 16×1,5 — для теплоносителя вода, диаметром 16×2,0 — для теплоносителя пар) и алюминиевого накатного оребрения номинальным диаметром 39 мм. В новых калориферах КСк-50АУЗ применен модернизированный теплоотдающий элемент с подгибкой ребер по ходу воздуха. Использование данного теплоотдающего элемента позволило снизить аэродинамическое сопротивление на 20%, гидравлическое сопротивление на 25%, а фактические показатели теплотехнических характеристик увеличить более чем на 4% в зависимости от используемой модели.

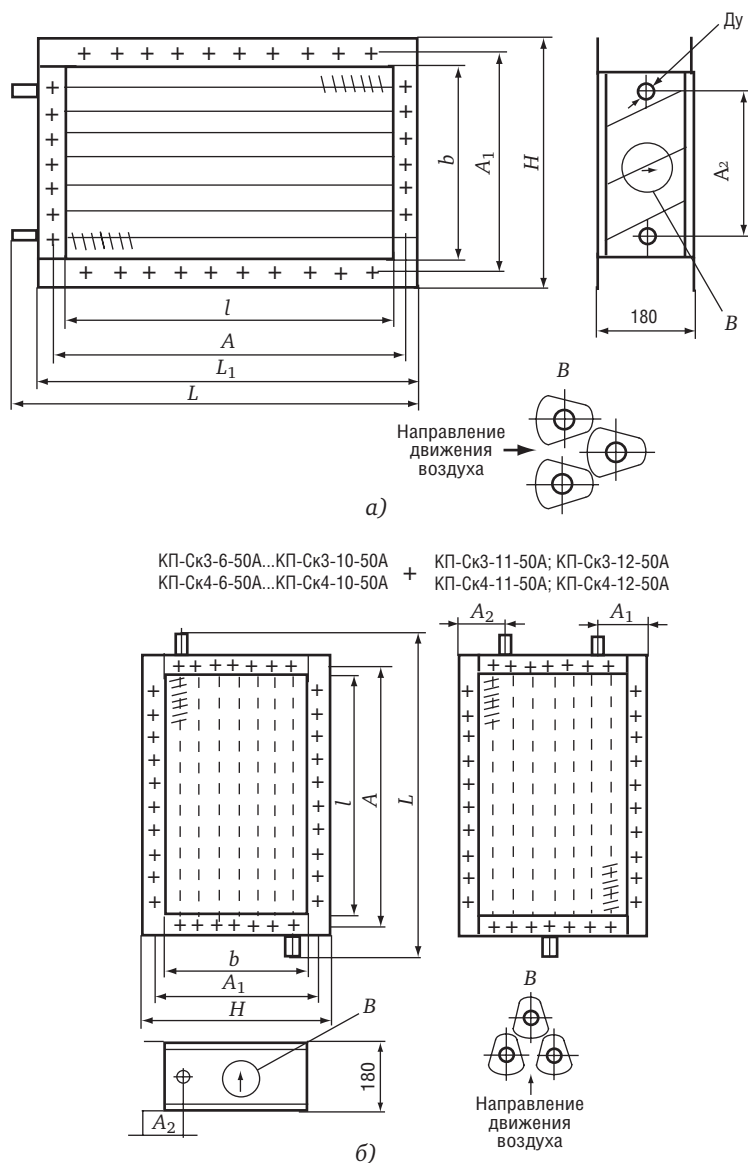


Рис. 5.13. Схемы калориферов КСк... -50 А и воздухонагревателей КП-Ск... -50А

В модернизированных калориферах применена также новая конструкция теплоотдающего пучка, что позволило добиться уменьшения загрязняемости теплоотдающей поверхности.

Калориферы и воздухонагреватели предназначены для эксплуатации в условиях умеренного климата категории размещения 3 по ГОСТ 15150—69. Они не должны устанавливаться на объектах, создающих внешнюю вибра-

цию со среднеквадратическим значением более 2 мм/с. В зимнее время пуск в работу должен осуществляться со скоростью подъема температуры не более 30 °С в час. К системе теплоснабжения они могут присоединяться как сваркой, так и с помощью фланцев.

Таблица 5.10. Технические данные калориферов КСк и воздушонагревателей КП-Ск

Марка	Подача по воздуху, м ³ /ч	Тепловая мощность, кВт	Площадь, м ²		
			поверхности теплообмена	фронтального сечения	сечения для прохода теплоносителя (среднее значение)
Калориферы КСк (теплоноситель — горячая вода)					
КСк 3-6	2 500	50,7	13,8	0,267	0,000774
КСк 3-7	3 150	65,4	17	0,329	0,000774
КСк 3-8	4 000	83,2	20,2	0,392	0,000774
КСк 3-9	5 000	103,5	23,4	0,455	0,000774
КСк 3-10	6 300	135,6	29,8	0,581	0,000774
КСк 3-11	16 000	360	86,4	1,66	0,002355
КСк 3-12	25 000	556,7	130,3	2,448	0,003459
КСк 4-6	2 500	59,1	18,1	0,267	0,001017
КСк 4-7	3 150	76,1	22,3	0,329	0,001017
КСк 4-8	4 000	97	26,5	0,392	0,001017
КСк 4-9	5 000	120,9	30,8	0,455	0,001017
КСк 4-10	6 300	157,6	39,2	0,581	0,001017
КСк 4-11	16 000	417,7	114,5	1,66	0,002123
КСк 4-12	25 000	648,4	172,9	2,448	0,004718
Воздухонагреватели КП-Ск (теплоноситель — пар)					
КП-Ск 3-6	2 500	59,6	13,8	0,267	0,004643
КП-Ск 3-7	3 150	73,6	17	0,329	0,004643
КП-Ск 3-8	4 000	90	20,2	0,392	0,004643
КП-Ск 3-9	5 000	107,9	23,4	0,455	0,004643
КП-Ск 3-10	6 300	134,9	29,8	0,581	0,004643
КП-Ск 3-11	16 000	358,6	86,4	1,66	0,009419
КП-Ск 3-12	25 000	552,3	130,3	2,49	0,014195
КП-Ск 4-6	2 500	68,1	18,1	0,267	0,006103
КП-Ск 4-7	3 150	84,7	22,3	0,329	0,006103
КП-Ск 4-8	4 000	105,4	26,5	0,392	0,006103
КП-Ск 4-9	5 000	126,5	30,8	0,455	0,006103
КП-Ск 4-10	6 300	158,9	39,2	0,581	0,006103
КП-Ск 4-11	16 000	424,2	114,5	1,66	0,008491
КП-Ск 4-12	25 000	656,4	172,9	2,448	0,018838

Таблица 5.11. Геометрические размеры калориферов КСк и воздухонагревателей КП-Ск

Марка	Габариты			Мас- са, кг	Присоединительные размеры, мм						
	длина с патруб- ками L , мм	высо- та H , мм	ши- рина, B , мм		патрубок присое- динения D_u , мм	L_1	l	h	A	A_1	A_2
Калориферы КСк (теплоноситель — горячая вода)											
КСк 3-6	650	575	180	34	32	602	530	503	578	551	430
КСк 3-7	775	575	180	40	32	727	655	503	703	551	430
КСк 3-8	900	575	180	45	32	852	780	503	828	551	430
КСк 3-9	1 025	575	180	50	32	977	905	503	953	551	430
КСк 3-10	1 275	575	180	61	32	1 227	1 155	503	1 203	551	430
КСк 3-11	1 775	1 075	180	158	50	1 727	1 655	1 003	1 703	1 051	912
КСк 3-12	1 775	1 575	180	233	50	1 727	1 655	1 503	1 703	1 551	1 392
КСк 4-6	650	575	180	41	32	602	530	503	578	551	430
КСк 4-7	775	575	180	48	32	727	655	503	703	551	430
КСк 4-8	900	575	180	55	32	852	780	503	828	551	430
КСк 4-9	1 025	575	180	61	32	977	905	503	953	551	430
КСк 4-10	1 275	575	180	77	32	1 227	1 155	503	1 203	551	430
КСк 4-11	1 775	1 075	180	205	50	1 727	1 655	1 003	1 703	1 051	912
КСк 4-12	1 775	1 575	180	303	50	1 727	1 655	1 503	1 703	1 551	1 392
Воздухонагреватели КП-Ск (теплоноситель — пар)											
КП-Ск 3-6	689	575	180	35	50	602	530	503	578	551	430
КП-Ск 3-7	814	575	180	42	50	727	655	503	703	551	430
КП-Ск 3-8	939	575	180	47	50	852	780	503	828	551	430
КП-Ск 3-9	1 064	575	180	53	50	977	905	503	953	551	430
КП-Ск 3-10	1 314	575	180	64	50	1 227	1 155	503	1 203	551	430
КП-Ск 3-11	1 789	1 075	180	163	65	1 727	1 655	1 003	1 703	1 051	912
КП-Ск 3-12	1 789	1 575	180	252	80	1 727	1 655	1 503	1 703	1 551	1 392
КП-Ск 4-6	689	575	180	42	50	602	530	503	578	551	430
КП-Ск 4-7	814	575	180	50	50	727	655	503	703	551	430
КП-Ск 4-8	939	575	180	57	50	852	780	503	828	551	430
КП-Ск 4-9	1 064	575	180	65	50	977	905	503	953	551	430
КП-Ск 4-10	1 314	575	180	79	50	1 227	1 155	503	1 203	551	430
КП-Ск 4-11	1 789	1 075	180	218	65	1 727	1 655	1 003	1 703	1 051	912
КП-Ск 4-12	1 789	1 575	180	323	80	1 727	1 655	1 503	1 703	1 551	1 392

Установка воздухонагревательная типа ВУ

Воздухонагревательная установка (табл. 5.12) предназначена для отопления, вентиляции, тепловых завес зданий промышленного назначения, гражданских зданий, офисов, магазинов, производственных помещений

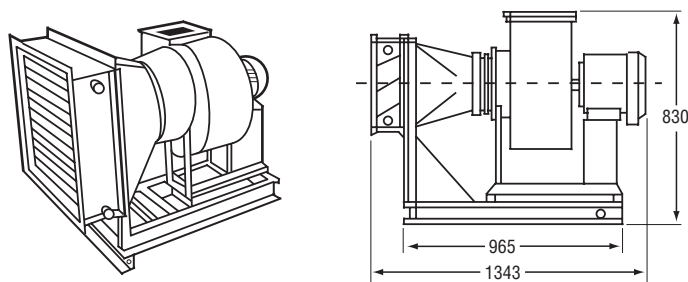


Рис. 5.14. Общий вид воздушнонагревательной установки типа ВУ

сельскохозяйственного назначения в условиях умеренного климата. Установка состоит из калорифера и радиального вентилятора, соединенных между собой конфузоре через мягкую вставку и смонтированных на общей сварной раме (рис. 5.14).

Теплоноситель — горячая (перегретая) вода температурой до 190°C и давлением до 1,2 МПа.

Теплотехнические характеристики указаны для режима:

Температура воздуха на входе, $^{\circ}\text{C}$ -20

Температура воды, $^{\circ}\text{C}$:

на входе 150

на выходе 70

Массовая скорость воздуха в набегающем потоке, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ 3,6

Таблица 5.12. Характеристики воздушнонагревательной установки ВУ

Модель	Подача по воздуху, $\text{м}^3/\text{ч}$	Тепловая мощность, кВт	Тип калорифера	$N_{\text{дв}}$, кВт	Масса, кг
ВУ-40-01	3000	40,61	КСк 3-9	1,5	140
ВУ-50-01	3000	49,5	КСк 4-6	1,5	147
ВУ-55-01	3000	53,2	КСк 3-7	1,5	145
ВУ-65-01	3000	66	КСк 4-7	1,5	155
ВУ-70-01	5000	68,8	КСк 3-8	2,2	152
ВУ-90-01	5000	85,7	КСк 4-8	2,2	162

Установки комплектуются вентиляторами ВЦ 14-46-3,15. Во время работы установки приточный воздух проходит через калорифер, нагревается и вентилятором подается в воздухораспределительную сеть обслуживаемого помещения.

Агрегат воздушно-отопительный АВ и АП

Агрегат предназначен для воздушного отопления производственных помещений сельскохозяйственного назначения, а также для применения в отопительно-вентиляционных системах зданий промышленного назначения (рис. 5.15). Агрегат состоит из воздушнонагревателя (калорифера) 1, осевого вентилятора 2, жалюзи 3 и переходника 4.

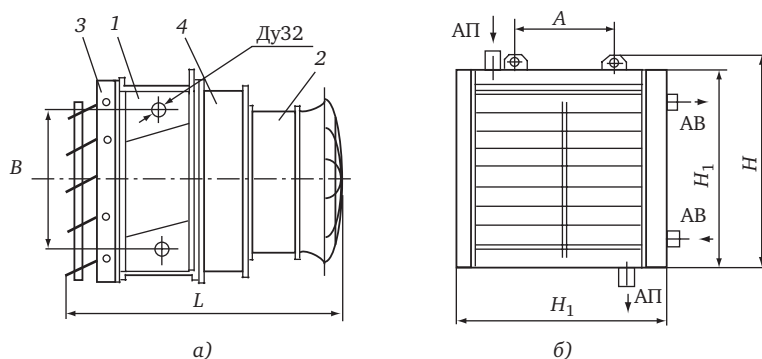


Рис. 5.15. Общий вид воздушно-отопительных агрегатов АВ и АП:
а — тип АВ; б — тип АП

Теплотехнические характеристики указаны для следующих режимов:

Агрегат типа АВ (теплоноситель — горячая (перегретая) вода, табл. 5.13)

Температура воды, °С:

на входе 150

на выходе 70

Температура воздуха на входе, °С -15

Массовая скорость воздуха в набегающем потоке, кг/(м²·с) 3,6

Агрегат типа АП (теплоноситель — сухой насыщенный пар давлением 0,1 МПа, табл. 5.14)

Температура воды, °С:

на входе 150

на выходе 70

Температура воздуха на входе, °С -15

Массовая скорость воздуха в набегающем потоке, кг/(м²·с) 3,6

Жалюзи служат для изменения направления потока нагретого воздуха. Присоединение воздухопроводов к входному фланцу агрегата нужно производить только через мягкие вставки. При отсутствии воздухопроводов на входной фланец нужно установить защитное сетчатое ограждение.

Таблица 5.13. Технические характеристики агрегатов АВ

Параметр	АВ-3-25	АВ-3-30	АВ-5-40	АВ-5-50	АВ-10-80	АВ-10-100
Тепловая мощность, кВт	24	27,8	41,0	49,3	81,5	98,6
Подача по воздуху, м ³ /ч	2600	2600	5200	5200	10 500	10 500
Площадь поверхности теплообмена, м ²	10,4	13,6	14,3	18,8	21,2	28
Мощность электродвигателя, кВт	0,25	0,25	0,37	0,37	1,1	1,1
Номер вентилятора	ВО-06-300-4С		ВО-06-300-5С		ВО-06-300-6,3С	
Размеры, мм:						
L	773	773	804	804	871	871
H	624	624	705	705	830	830
H ₁	571	571	652	652	777	777
B	439	439	522	522	647	647
Масса, кг, не более	77	87	106	116	136	148

Таблица 5.14. Технические характеристики агрегатов АП

Параметр	АП-3-25	АП-3-30	АП-5-40	АП-5-50	АП-10-80	АП-10-100
Тепловая мощность, кВт	25	30	40	50	80	100
Подача по воздуху, м ³ /ч	2600	2600	5200	5200	10 500	10 500
Площадь поверхности теплообмена, м ²	10,4	13,6	14,3	18,8	21,2	28
Мощность электродвигателя, кВт	0,25	0,25	0,37	0,37	1,1	1,1
Тип вентилятора	ВО-06-300-4С		ВО-06-300-5С		ВО-06-300-6,3С	
Габариты, мм						
<i>L</i>	773	773	804	804	871	871
<i>H</i>	624	624	705	705	830	830
<i>H</i> ₁	571	571	652	652	777	777
<i>B</i>	439	439	522	522	647	647
Масса, кг, не более	75	85	104	114	135	148

Агрегат монтируется на петлях. К теплопроводящей системе агрегат подсоединяется фланцевым соединением или сваркой.

Агрегат АП отличается от агрегата АВ тем, что вместо водяного калорифера типа КСк устанавливается паровой воздушонагреватель типа КП-Ск с вертикальным расположением присоединительных патрубков.

По специальному заказу возможно изготовление подобных агрегатов с электрокалориферами.

Агрегаты отопительные типа СТД-300П (теплоноситель — горячая вода — КсК, КВБ; пар — КПБ)

Агрегаты отопительные изображены на рис. 5.16. Технические характеристики приведены в табл. 5.15.

Агрегат отопительный СТД-300П предназначен для воздушного отопления помещений промышленных зданий, он изготавливается в климатическом исполнении У и категории размещения 3 по СТП 4863-001-10664586-95.

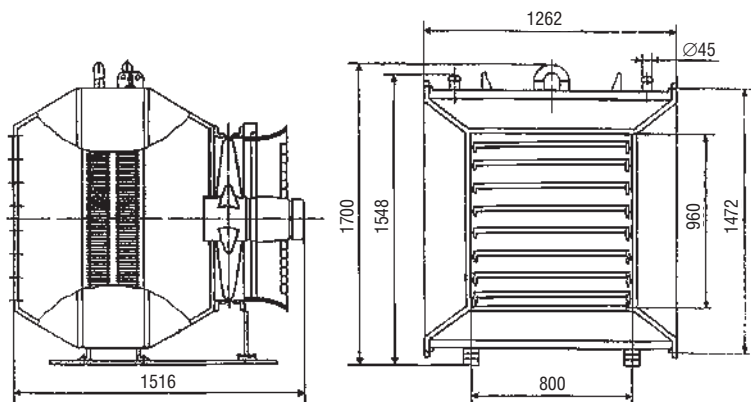


Рис. 5.16. Агрегат отопительный типа СТД-300П

Таблица 5.15. Технические характеристики агрегатов типа СДС-300П

Параметр	СТД-300П (КСк)	СТД-300П (КВБ)	СТД-300П (КПБ)
Тепловая мощность, кВт	349	280	280
Подача по воздуху, м ³ /ч	24 600	24 600	24 600
Установочная мощность двигателя, кВт	2,2	2,2	2,2
Напряжение переменного тока, В	380	380	380
Уровень шума, дБ	80	80	80
Масса, кг	530	790	790
Габариты, мм:			
длина	1 262	1 262	1 262
ширина	1 516	1 516	1 516
высота	1 700	1 700	1 700

**Установки воздухонагревательные электрические
по ТУ22-119-60-95, код ОКП 344246 (5811-5819)**

Установки воздухонагревательные электрические (УВЭ) с центробежным вентилятором и шкафом управления предназначены для нагрева воздуха и создания микроклимата в зданиях промышленного, коммунального, бытового, культурного, сельскохозяйственного назначения, а также торговых точек, ремонтных мастерских, гаражей и в составе технологического оборудования (табл. 5.16).

Установки (кроме УВЭ-15-01) могут работать в трех режимах мощности: 1/3; 2/3; 1; УВЭ-15-01 — в двух режимах мощности: 1/2 и 1.

Установки исполнения «-01» укомплектованы нагревателями (ТЭН) мощностью 2,5 кВт; установки исполнения «-02» — нагревателями мощностью 1,6 кВт.

Таблица 5.16. Технические характеристики установок типа УВЭ

Параметр	УВЭ-15-02	УВЭ-30-02	УВЭ-45-01	УВЭ-65-01	УВЭ-90-01
Установленная мощность, кВт	15,5	29,9	47,2	71,5	97,5
Подача по воздуху, м ³ /ч, не менее	1 700	2 500	3 000	4 000	6 000
Перепад температуры входящего и выходящего воздуха при минимальной подаче воздуха, °С, не более	35	45	55	65	65
Полный аэродинамический напор, развиваемый вентилятором, Па, не менее	500	500	800	1 400	1 500
Номер вентилятора В-Ц14-46	3,15	3,15	3,15	4	4
Мощность вентилятора, кВт	1,1	1,1	2,2	4	7,5
Габариты, мм:					
длина	1 310	1 310	1 310	1 540	1 540
ширина	725	725	725	790	790
высота	930	930	930	1 090	1 090
Масса, кг, не более	100	120	130	160	180

Тепловые завесы

Воздушно-тепловая завеса предназначена для предотвращения проникновения холодного воздуха в производственные помещения при открывании ворот и устанавливается у въездных ворот в промышленных зданиях категорий В, Г и Д по пожаро- и взрывобезопасности в климатических зонах с умеренным климатом.

Воздушно-тепловая завеса состоит из двух агрегатов стоечного типа правого и левого исполнения. Агрегат воздушно-тепловой завесы представляет собой вертикальный короб, на котором размещены калорифер и вентиляторный агрегат. Воздушно-тепловая завеса типа ЗТ.В2-28.01.УЗ используется для ворот с проемом 3,6×3,6 м (табл. 5.17).

Таблица 5.17. Характеристики тепловой завесы ЗТ.В2-28.01.УЗ

Параметр	Значение
Теплоноситель	Перегретая вода
Температура теплоносителя на входе, °С, не более	150
Предельное давление теплоносителя, МПа, не более	1,2
Уровень шума, дБ, не более	85
Калорифер	КСк или КВБ
Установочная мощность каждого электродвигателя, кВт	2,2
Напряжение, В	380
Тепловая мощность, кВт (с КСк)	200
Подача по воздуху, м³/ч	28 000
Габариты (Д×Ш×В), мм, не более	810×840×5090
Масса, кг, не более	818

Жидкотопливные нагреватели воздуха (прямой нагрев)

Мобильные и высокоэффективные нагреватели воздуха «OKLIMA» SE надежны в работе, просты в обслуживании и готовы к эксплуатации без предварительной технической подготовки. Основные технические характеристики нагревателей воздуха приведены в табл. 5.18.

В качестве топлива используется дизельное или керосин. При использовании термостата расход топлива значительно снижается.

Широкий спектр установок позволяет сделать выбор для каждого конкретного случая использования.

Нагреватели соответствуют нормам экологической безопасности. Применяются в помещениях без людей или с хорошей вентиляцией.

Таблица 5.18. Технические характеристики нагревателей воздуха (прямой нагрев)

Параметр	SD 140	SD 220	SD 360
Тепловая мощность, кВт	40,7	63,9	104,6
Производительность, ккал/ч	35 000	55 000	90 000
Подача по воздуху, м³/ч	1200	1600	4000

Окончание табл. 5.18

Параметр	SD 140	SD 220	SD 360
Расход топлива, л/ч	3,4	5,4	8,8
Вместимость бака, л	65	65	105
Электрическая мощность, Вт	330	550	1 170
Напряжение/ток, В/А	220/50	220/50	220/50
Габариты (Д×Ш×В), см	106×49×76	116×49×76	158×68×91
Масса, кг	55	60	101
Диаметр воздушного патрубка, мм	340	340	400

Жидкотопливные нагреватели воздуха (непрямой нагрев)

Мобильные нагреватели воздуха с герметичным теплообменником и патрубком для отвода отработанных газов применяются везде, где нужен чистый, теплый воздух и высокая эффективность. Основные технические характеристики приведены в табл. 5.19.

В качестве топлива используется дизельное или керосин. В данном подогревателе запас топлива рассчитывается на 16 ч непрерывной работы.

Подогреватели поставляются вместе с пламягасителем и фотореле.

Они просты в обслуживании и ремонте, имеют легкозаменяемые запчасти. Внешний корпус практически никогда не нагревается.

Горелка может регулироваться для достижения полного сгорания топлива. Полностью автоматическая регулировка производится при помощи термостата.

Предварительный разогреватель топлива поставляется как дополнительный узел для всех типов нагревателей.

Таблица 5.19. Технические характеристики нагревателей воздуха (непрямой нагрев)

Параметр	SE100	SE160	SE280
Тепловая мощность, кВт	25	39	69
Производительность, ккал/ч	25 000	40 000	70 000
Подача по воздуху, м ³ /ч	1500	1800	3300
Расход топлива, л/ч	2,4	3,9	6,8
Вместимость бака, л	65	65	105
Электрическая мощность, Вт	290	480	1140
Напряжение/ток, В/А	220/50	220/50	220/50
Габариты (Д×Ш×В), см	116×49×76	128×49×96	158×68×91
Масса, кг	66	72	123
Диаметр воздушного патрубка, мм	340	340	400

Тепловые пушки

Тепловая пушка — компактный, легкий и высокоэффективный тепловой прибор. Пропуская в течение часа воздух, находящийся в помещении 3—6 раз через ТЭНы, обеспечивает быстрое повышение температуры в помещении. Летом могут использоваться как вентиляторы.

Тепловые пушки «Бархан» и «Торнадо» — российские аналоги шведских тепловентиляторов большой мощности. Это высоконадежное оборудование, предусмотрено автоматическое отключение при перегреве ТЭНов и поддержание заданной температуры (табл. 5.20).

Таблица 5.20. Основные технические характеристики тепловых пушек ТВ

Параметры	ТВ-3/5	ТВ-6/12	ТВ-9/12	ТВ-15/18
Мощность, кВт	1,5/3	3/6	4,5/9	7,5/15
Температура нагрева, °C	30	26	40	42
Подача по воздуху, м ³ /ч	270	720	720	1 080
Напряжение, В	220	380	380	380
Габариты (Д×Ш×В), мм	350×333×310	365×520×480	365×520×480	402×575×550
Масса, кг	9	15	15	25

Тепловые пушки ТВП предназначены для производственных и сельскохозяйственных помещений, для ведения отделочных работ в строительстве (табл. 5.21). Нагревательный элемент — спираль из нихромной проволоки.

Таблица 5.21. Основные технические характеристики тепловых пушек ТВП

Параметр	ТВП-6	ТВП-10	ТВП-20
Мощность, кВт	2/4/6	10	10/20
Температура нагрева, °C	110	80	150
Подача по воздуху, м ³ /ч	900	1 600	1 950
Напряжение, В	220	380	380
Габариты (Д×Ш×В), мм	430×250×360	605×462×535	965×465×625
Масса, кг	6	20	28

Автономные электрогенераторные установки

6.1. Блочные паровые турбогенераторы (мини-ТЭЦ)

В связи с постоянным ростом цен на электроэнергию многие предприятия, производящие и использующие водяной пар на технологические нужды и отопление, переходят на самостоятельное ее производство. Осуществляется это с помощью блочных паровых турбогенераторов с противодавленческой турбиной для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

Основная масса производственных и производственно-отопительных котельных промышленных и муниципальных предприятий оборудована паровыми котлами насыщенного или слабоперегретого пара на давление 1,4 МПа производительностью 10—25 т/ч.

Использование турбогенератора на собственной котельной позволяет:

- значительно сократить количество закупаемой у предприятий РАО «ЕЭС России» электроэнергии, вплоть до полного самообеспечения;
- уменьшить заявленную мощность;
- полнее компенсировать реактивную мощность своих электроустановок, используя синхронный генератор. Принципиальная схема турбогенераторной установки (ТГУ) в котельной показана на рис. 6.1.

В табл. 6.1—6.3 приведены характеристики ТГУ, выпускаемых ОАО «КТЗ» (Калужский турбинный завод).

Устанавливаемые на нулевой отметке здания котельной блочные турбогенераторы предназначены для выработки электроэнергии с дальнейшим использованием отработавшего в установке пара для технологических и отопительных нужд. Конструктивно установки выполнены в виде компакт-

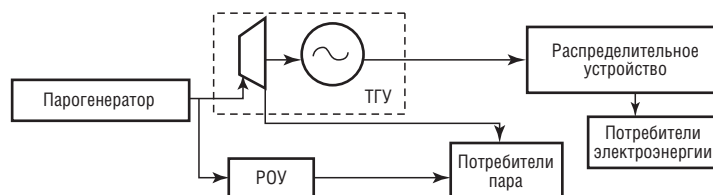


Рис. 6.1. Схема турбогенераторной установки в котельной (мини-ТЭЦ)

Таблица 6.1. Технические характеристики турбогенераторов (основной ряд)

Характеристики	ТГ 0,5А/0,4 Р13/3,7	ТГ 0,6А/0,4 Р12/3,7	ТГ 0,7А/0,4 Р13/2
Мощность, кВт	500	600	750
Частота вращения, мин ⁻¹ :			
ротора турбины	8000	8000	8000
ротора генератора	1500	1500	1500
Параметры трехфазного тока:			
напряжение, В	400	400	400
частота, Гц	50	50	50
Давление сухого насыщенного пара перед турбиной, МПа	1,3(1,0—1,4)	1,2(1,0—1,4)	1,3(1,0—1,4)
Температура свежего пара, °С	$t_s^*—250$	$t_s^*—250$	$t_s^*—250$
Абсолютное давление пара за турбиной, МПа	0,37(0,3—0,5)	0,37(0,3—0,5)	0,2(0,15—0,3)
Расход пара, т/ч	13,2	16,5	14,3
Параметры охлаждающей воды:			
температура, °С	25(4—32)	25(4—32)	25(4—32)
расход, м ³ /ч	10(10—15)	10(10—15)	10(10—15)
Масса турбогенератора, кг	8900	10 700	10 700
Масса поставляемого оборудования, кг	10 200	12 000	12 000
Габариты турбогенератора, мм:			
длина	4140	4240	4170
ширина	1980	1980	1980
высота	2270	2360	2360

* t_s — температура насыщения при заданном давлении.

ных блоков 100%-ной заводской готовности, состоящих из противодавленной турбины, электрического генератора и редуктора, размещенных вместе со вспомогательным оборудованием на общей раме-маслобаке, и отдельно устанавливаемого оборудования.

В состав турбогенераторов входят циркуляционная система маслоснабжения, локальная гидродинамическая система автоматического регулирования и аварийной защиты турбины, система управления и защиты генератора. Датчики регуляторов допускают ручное управление и обеспечивают прием электрических управляющих сигналов при дистанционном или автоматическом управлении установкой.

Турбогенераторы комплектуются синхронными генераторами типа СГ2 Сафоновского электромашиностроительного завода с выведенной силовой нейтралью и воздушным охлаждением.

Турбогенераторные установки характеризуются:

- высокой надежностью (период непрерывной работы — не менее 5000 ч);

Таблица 6.2. Технические характеристики турбогенераторов с повышенным противодавлением

Характеристики	ТГ 0,5А/0,4 Р11/6	ТГ 0,6А/0,4 Р12/6	ТГ 0,7А/0,4 Р13/4
Мощность, кВт	500	600	750
Частота вращения, мин ⁻¹ : ротора турбины ротора генератора	8000 1500	8000 1500	8000 1500
Параметры трехфазного тока: напряжение, В частота, Гц	400 50	400 50	400 50
Давление сухого насыщенного пара перед турбиной, МПа	1,1 (1—1,4)	1,2 (1—1,4)	1,3 (1—1,4)
Температура свежего пара, °С	$t_s^* - 250$	$t_s^* - 250$	$t_s^* - 250$
Абсолютное давление пара за турбиной, МПа	0,6(0,5—0,7)	0,6(0,5—0,7)	0,4(0,3—0,5)
Расход пара, т/ч	27,5	28,4	21,1
Параметры охлаждающей воды: температура, °С расход, м ³ /ч	25(4—32) 10(10—15)	25(4—32) 10(10—15)	25(4—32) 10(10—15)
Масса турбогенератора, кг	8900	10 700	10 700
Масса поставляемого оборудования, кг	10 200	12 000	12 000
Габариты турбогенератора, мм: длина ширина высота	4140 1980 2270	4240 1980 2360	4170 1980 2360

* t_s — температура насыщения при заданном давлении.

Таблица 6.3. Технические характеристики турбогенераторов с встроенным сетевым подогревателем

Характеристики	ТГ 0,5А/0,4 Р11/6	ТГ 0,6А/0,4 Р12/6
Мощность, кВт: электрическая тепловая	600 5 600	600 2 800
Частота вращения, мин ⁻¹ : ротора турбины ротора генератора	8 000 1 500	8 000 1 500
Параметры трехфазного тока: напряжение, В частота, Гц	400 50	400 50
Давление сухого насыщенного пара перед турбиной, МПа	1,3 (0,8—1,5)	2,8 (2,4—3)
Температура свежего пара, °С	191—310	380 (350—380)

Окончание табл. 6.3

Характеристики	ТГ 0,5А/0,4 Р11/6	ТГ 0,6А/0,4 Р12/6
Абсолютное давление пара за турбиной, кПа	60	60
Расход пара, т/ч	10	4,6
Параметры сетевой воды:		
давление, МПа, не более	1,6	1,6
температура, °С:		
на входе	45 (40—50)	45 (40—50)
на выходе	80 (70—80)	80 (75—90)
Расход, м ³ /ч	120	65
Параметры охлаждающей воды:		
температура, °С	30 (15—35)	—
расход, м ³ /ч	30	—
Масса турбогенератора, т	16	16
Масса поставляемого оборудования, т	18,2	18,2
Габариты турбогенератора:		
длина	4600	4600
ширина	2850	2850
высота	2910	2910

- длительным сроком службы (25 лет) и ресурсом (100 000 ч);
- значительным межремонтным периодом (не менее 5 лет);
- минимальным объемом монтажных и пусконаладочных работ;
- малыми эксплуатационными затратами;
- простотой обслуживания и нетребовательностью к уровню подготовки обслуживающего персонала;
- умеренной ценой при коротком (1,5—2 года) сроке окупаемости;
- наличием системы послепродажного обслуживания.

Выпускаемые ЗАО «Завод-Киров-Энергомаш» турбогенераторные установки предназначены для выработки и подачи электроэнергии в жилые и промышленные объекты. Турбогенераторные установки могут устанавливаться в действующих и строящихся котельных, на линии дросселирования пара (параллельно дросселирующему устройству РОУ).

Основные параметры пара:

Давление перед турбиной, МПа	1—5
Температура перед турбиной, °С, не более	t_s —450
Давление за турбиной, МПа	0,1—1,5
Расход через турбину, т/ч	12—78

Электрическая мощность установки в зависимости от параметров пара составляет от 500 до 4000 кВт.

Массогабаритные характеристики ТГУ представлены в табл. 6.4, общий вид показан на рис. 6.2.

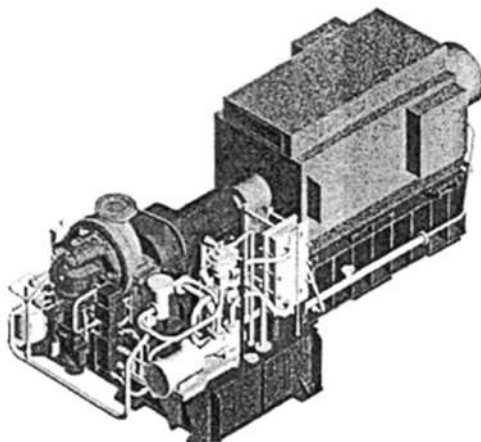


Рис. 6.2. Общий вид ТГУ

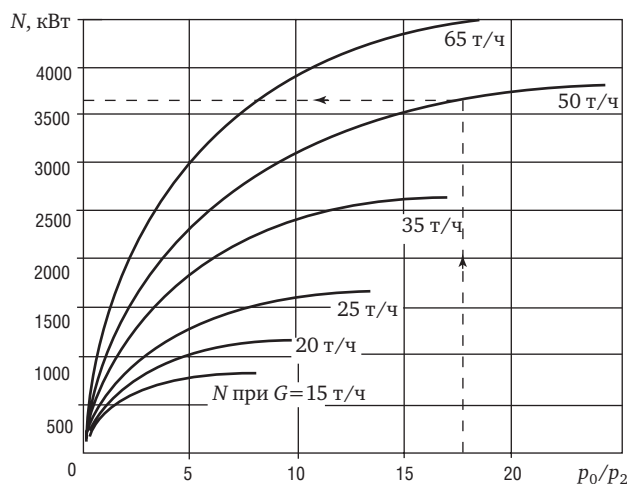


Рис. 6.3. Характеристики ТГУ при различных модификациях турбины:

N — электрическая мощность агрегата; p_0 — давление пара перед турбиной; p_2 — давление пара за турбиной; G — расход пара через турбину

Таблица 6.4. Массогабаритные характеристики ТГУ

N , кВт	Размеры (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
500	4000×2830×2400	12000
1000	4200×2830×2400	14000
2500	6080×2830×3260	22500
4000	6470×2830×3260	24000

На рис. 6.3 представлены основные характеристики модификаций ТГУ при насыщенном паре на входе в турбину в зависимости от отношения давления в турбине.

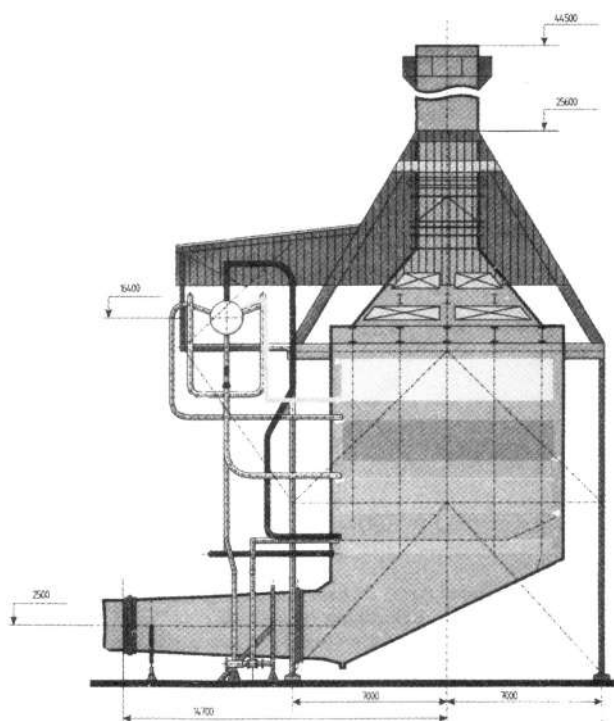


Рис. 6.5. Общий вид котла-утилизатора

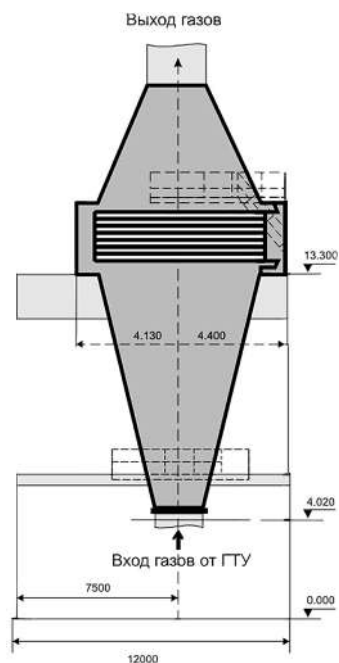


Рис. 6.6. Общий вид газового подогревателя сетевой воды ГПСВ

Котел-утилизатор (КУ) для ГТУ мощностью 20 МВт — барабанного типа (табл. 6.5) с принудительной циркуляцией в испарительных контурах, одним обогреваемым водопаровым трактом, башенной компоновкой поверхностей нагрева с верхним отводом дымовых газов. Котел-утилизатор может иметь открытую компоновку или устанавливаться в здании.

Котел имеет собственный каркас, который является основной несущей конструкцией для поверхностей нагрева, трубопроводов, барабана и дымовой трубы.

Котел-утилизатор выполнен в газоплотном исполнении за счет металлической обшивки.

По ходу газов после газовой турбины последовательно расположены: линзовый металлический компенсатор, диффузор, компенсатор с гибкими неметаллическими элементами, поворотный газоход с выравнивающими элементами, вертикальный газоход с поверхностями нагрева:

- конвективный пароперегреватель (КПП);
- испаритель первой ступени (ИСП 1);
- испаритель второй ступени (ИСП 2);
- водяной экономайзер (ВЭ).

Все поверхности включены по противоточной схеме, выполнены из труб

с наружным оребрением (за исключением КПП) и поставляются в виде законченных изготовителем блоков-модулей.

За поверхностями нагрева расположен конфузор с глушителем. Основным, резервным и аварийным топливом для ГТУ мощностью 20 МВт является дизельное топливо или природный газ. Рабочий диапазон нагрузок составляет 110—50 % номинальной.

Котел оснащается системами контроля технологических параметров, защит, блокировок и автоматического регулирования, необходимыми для оперативного управления, безопасной эксплуатации и экономичной работы.

Таблица 6.5. Техничко-экономические показатели КУ

Параметр	Значение
Паропроизводительность, т/ч	42
Давление пара, МПа	1,45
Температура пара, °С	275
Аэродинамическое сопротивление, кПа	2,5
Максимальная температура газов на входе в КУ, °С	508
Температура уходящих газов, °С	140

Газовый подогреватель сетевой воды (ГПСВ) предназначен для подогрева сетевой воды в замкнутом циркуляционном контуре ТЭЦ за счет тепла выхлопных газов (табл. 6.6).

Включение ГПСВ в состав газотурбинной электростанции позволяет обеспечить потребителей горячей водой, повысить КПД ГТУ, сократить расход природного газа, улучшить экологические показатели.

Газовый подогреватель сетевой воды выполнен в виде заводского транспортабельного блока и представляет собой теплообменник горизонтального типа, изготовленный из труб с поперечно-ленточным оребрением. Он имеет собственный каркас, металлическую газоплотную обшивку, теплоизоляцию и устанавливается на опорную металлоконструкцию здания за диффузором после газовой турбины. Сверху на ГПСВ устанавливается конфузор, соединяющий блок теплообменника с газоходом, идущим к дымовой трубе.

Теплообменная поверхность ГПСВ выполнена в виде горизонтального змеевикового пакета с шахматным расположением труб. Применение оребренных труб вместо гладких позволяет уменьшить габариты теплообменника примерно на 30%. Дистанционирование труб в пакете осуществляется с помощью трубных досок. Конструкция трубных досок позволяет обеспечить легкость сборки и ремонта пакета и свободу тепловых расширений труб и самих трубных досок. Все гибы змеевиков выведены за крайние трубные доски пакета в «теплые ящики» для облегчения доступа к ним в целях осмотра и ремонта.

Окончание табл. 6.7

Расход топливного газа, м³/ч	825	1 160	1 360	1 560	2 496	3 104	4 425
Давление топливного газа, МПа	1,2—1,6		1,8—2,2		2,4—3,2		
Температура топливного газа, °С	5—50						
Тепловая мощность, Гкал/ч	6	8,2	9,5	10,7	16,7	20,7	30,1
Уровень выбросов NO _x /CO, мг/м³	50/100						
Уровень звуковой мощности, дБ, не более	80 (при обслуживании), 45 (на расстоянии 700 м)						
Ресурс, ч: до капитального ремонта назначенный	25 000, по техническому состоянию — до 35 000 100 000, по техническому состоянию — до 120 000						

Таблица 6.8. Параметры газотурбинных энергетических установок ОАО «КМПО» (Казанское моторостроительное производственное объединение)

Параметр	ГТЭУ-4	ГТЭУ-16	ГТЭУ-18	ГТЭУ-20
Мощность установки при выработке электрической энергии, МВт	4	16	18	20
Одновременно вырабатываемая тепловая мощность, Гкал/ч	6	20	28	32
Модель устанавливаемого газотурбинного приводного двигателя	НК-127СТ	НК-16СТ	НК-16-18 СТ	НК-19СТ
Модель устанавливаемого электрического генератора	ТК-4-УХ ЛЗ	Т-16-23У 3	ТС-20-2Р УЗ	Т-25-23У 3-Г
Наличие редуктора	С редуктором		Без редуктора	
Мощность газотурбинного приводного генератора, МВт	4	16	18	20
Электрический КПД на выводах генератора при номинальной мощности, %, не менее	32	30	31	32
Расход топливного газа на номинальном режиме, м ³ /ч, не более	1 340	6 100	6 540	7 060
Коэффициент использования топлива при номинальной мощности с учетом утилизации тепла, %, не менее	84			
Рабочее топливо	Природный газ по ГОСТ 21199—89			
Давление топливного газа на входе в двигатель, МПа	2,5			

Окончание табл. 6.8

Параметр	ГТЭУ-4	ГТЭУ-16	ГТЭУ-18	ГТЭУ-20
Частота вращения вала свободной турбины привода, мин ⁻¹	13 000	3 000		
Температура воздуха в контейнере термоблока, °С, не более	70			
Масло, применяемое для обеспечения работы двигателя	МС-8П (ОСТ 38.01163-78)			
Масло, применяемое для обеспечения работы генератора	Тп-22 (ГОСТ 9972-74)			
Безвозвратные потери масла при работе привода, кг/ч, не более	0,3	0,6		0,7
Содержание вредных веществ в выхлопных газах, мг/м ³ , не более: оксидов азота оксидов углерода	50			
	50	150		
Уровень звуковой мощности на расстоянии 1 м от энергоблока, дБ, не более	80			
Номинальное напряжение на клеммах генератора, В	6300/10500			
Ресурс до списания энергетической установки, ч	100 000			
Ресурс до первого капитального ремонта, ч	25 000	20 000	25 000	
Ресурс между капитальными ремонтами, ч	25 000	20 000	25 000	

6.3. Газопоршневые электрические станции

В последнее время наряду с ГТЭС стали широко использоваться электростанции контейнерного исполнения на базе газопоршневых генераторов. Эти электростанции являются автономными постоянными и резервными источниками электроэнергии. Газопоршневые генераторные установки могут использоваться для выработки как электрической, так и тепловой энергии за счет утилизации теплоты газового двигателя. Установки с утилизацией теплоты могут применяться на объектах, одновременно потребляющих тепловую и электрическую энергию:

- объектах нефтегазового комплекса;
- удаленных объектах жилищно-коммунального хозяйства (электро- и теплоснабжение небольших поселков и т. п.);
- карьерах и рудниках;
- различных промышленных предприятиях.

В состав основного оборудования входят:

- 1) газовый мотор-генератор;
- 2) модуль утилизации теплоты;
- 3) контейнер;
- 4) система подачи топливного газа;
- 5) система автоматического дополнения масла в двигатель;
- 6) электрооборудование;
- 7) система управления.

В табл. 6.9 приведены характеристики газопоршневых генераторов фирмы «Катерпилляр», серии G3500 со следующими исходными условиями:

Температура наружного воздуха, °С	–60 ÷ + 45
Относительная влажность воздуха, %, не более	90
Напряжение, кВ	0,4/6,3/10,5
Удельный расход масла, г/(кВт·ч)	0,426
Топливо	Природный газ с теплотворной способностью 35,6 МДж/м ³
Частота вращения, мин ^{–1}	1500

ООО «Газовое энергетическое машиностроение» выпускает газовые электрогенераторы, которые могут работать на магистральном или сжатом газе, сжиженной пропанбутановой смеси, сжатых углеводородных смесях с метановым числом не ниже 30 (табл. 6.10).

Таблица 6.9. Характеристики газопоршневых электростанций

Параметр	Тип электростанции			
	G3512	G3516/B	G3516C/E	G3520C/E
Электрическая мощность (cos φ = 0,8), кВт	770	1 030/1 145	1 600	2 000
Тепловая мощность, кВт	1 000	1 340/1 489	2 080	2 530
Топливо	Природный газ, попутный газ, биогаз		Природный газ	Природный газ, биогаз
Мощность на собственные нужды, кВт	30	30	40	50
Система утилизации тепла	В контейнере	В контейнере или на крышке	В отдельном контейнере	В отдельном контейнере
Расход природного газа при нагрузке 100%, м ³ /ч	206	276/289	411	502
Транспортные размеры силового модуля (Д×Ш×В), м	12,1×2,9×2,45			
Ориентировочная масса силового модуля, т	25	35	30	35

Примечания. 1. Масса силового модуля указана с учетом массы генераторной установки.

2. Природный газ с низшей теплотой сгорания 35,6 МДж/м³.

3. Габариты и масса силового модуля могут изменяться в зависимости от состава оборудования и требований заказчика.

Таблица 6.10. Характеристики газовых электрогенераторов

Параметр	АП-100Б	АП-200Б	АП-315Б
Мощность, кВт	100	200	315
Напряжение, В	400	400	400
Расход газа, м ³ /ч	30	75	115
Масса, кг	2300	3400	4000

ОАО «Звезда-Энергетика» введена автономная газопоршневая электростанция в России мощностью 6,6 МВт, использующая в качестве топлива попутный нефтяной газ. Электроэнергия вырабатывается пятью электрогенераторами на базе газопоршневых двигателей типа QSV91G единичной мощностью 1315 кВт производства фирмы «Cummins».

В России широко распространены газопоршневые агрегаты фирмы DEUTZ ЗАО «Вадо инженеринг» (табл. 6.11) и компании «AKSA Power Generation» (табл. 6.12). Газовые двигатели «AKSA Power Generation» — с искровым зажиганием и обедненным процессом горения; четырехтактный двигатель — с водяным охлаждением, турбонаддувом и дополнительным охлаждением; электронный регулятор и система пневматического запуска от одного пневмодвигателя; воздушный фильтр — с сухим элементом; бесщеточный генератор — с двумя подшипниками; сварная стальная рама заводского изготовления.

Таблица 6.11. Технические характеристики газопоршневых агрегатов DEUTZ ЗАО «Вадо инженеринг»

установка	Тип	Мощность, кВт	Электрический КПД, %	Тепловая мощность, кВт (Гкал/ч)	Общий КПД, %	Расход газа, м ³ /ч	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
	двигателя							
ТВГ	616V8K	350	36,9	442 (0,38)	85,3	96	3 100×1 300×2 100	3 750
	616V12K	525	37,7	642 (0,552)	85,4	142	4 000×1 400×2 100	4 890
	616V16K	700	37,8	850 (0,736)	85,5	189	4 400×2 200×2 100	5 510
	620V16K	1050	40,2	1155 (0,993)	85,6	268	4 700×1 800×2 650	8 480
	620V20K	1400		1547 (1,330)	85,8	357	5 500×1 800×2 650	10 830
ТСГ	2016V12	600	40,8	556 (0,478)	79,9	150	3 520×1 450×2 200	5 100
	2016V16	800	41,2	753 (0,647)	81,2	198	4 000×1 450×2 200	6 280
	2020V12	1200	41,7	1229 (1,057)	84,4	294	4 700×1 750×2 500	10 500
	2020V16	1600	41,8	1638 (1,409)	85,8	392	5 700×1 750×2 500	13 500
	2020V20	2000	42	1972 (1,696)	84,7	486	6 300×1 750×2 500	17 580
	2032V12	3000	41,8	3088 (2,655)	85,9	737	7 600×2 700×3 700	38 800
	2032V16	4000	41,9	41,73 (3,588)	86,6	983	8 700×2 700×3 700	45 100

Примечание. Расход масла — 0,3 г/(кВт·ч).

6.4. Дизельные электрические станции

В последние годы широкое распространение получили дизельные электростанции мощностью от 4,5 до 150 МВт с применением автоматизированных малооборотных двухтактных крейцкопфных дизелей с турбонаддувом и электрогенераторов на напряжение 6 или 10 кВ частотой переменного тока 50 или 60 Гц.

Дизель-генераторы стабильно работают на тяжелом топливе вязкостью до $700 \text{ Па} \cdot \text{с}$ при 50°C с содержанием серы до 5%.

Они имеют возможность работы на любом газообразном топливе в двухтопливном режиме (не менее 8% нефтяного топлива):

- выход электрической энергии составляет около 50% энергии сгоревшего топлива;
- возможно повышение КПД установки за счет утилизации теплоты отработавших газов;
- возможна эксплуатация без снижения эффективности в различных климатических условиях;
- срок службы агрегатов до 40 лет при выдаче электроэнергии около 8500 ч ежегодно.

В табл. 6.13 приведены технические характеристики малооборотных стационарных двухтактных двигателей для энергетических установок производства «Брянский машиностроительный завод» («БМЗ»).

В табл. 6.14—6.24 приведены параметры и характеристики дизельных электростанций ряда зарубежных и отечественных фирм и производителей.

Таблица 6.13. Технические характеристики двигателей для энергетических установок («БМЗ»)

Параметр	7L35MC-S	12L35MC-S	8L42MC-S	12L42MC-S	10K50MC-S	14K50MC-S	7K60MC-S	14K60MC-S
Расположение цилиндров	Рядное							
Число цилиндров*	7	12	8	12	10	14	7	9
Диаметр цилиндра, мм	350			420	500		600	
Ход поршня, мм	1050			1360	1370		1650	
Частота вращения, мин ⁻¹	214,3			187,5	176,5		150	
Средняя скорость поршня, м/с	8,5							
Среднее эффективное давление, МПа	1,85							
Максимальная длительная мощность, кВт	4515	7740	8480	12720	14200	19880	13860	27720
Удельный расход энергии: жидкое топливо (мазут), г/(кВт·ч) жидкое топливо и газ, кДж/(кВт·ч)	176		177		177		174	
	—		—		7560		7430	
Расход масла, г/(кВт·ч): циркуляционного цилиндрического	0,13 0,8—1,4		0,16 0,8—1,4	0,17 0,8—1,4		0,2 0,8—1,4		
Масса, кг: двигателя генератора (6,3 или 10,5 кВ)**	8400	14400	15800	24400	32780	44590	37550	70600
	3820	7000	9200	11600	12800	14300	13700	24800

* Уточняется по требуемой мощности.

** Уточняется при поставке.

Таблица 6.14. Параметры дизельных электростанций ООО «Промкомпрессор»

Модель генератора	N, кВт	Модель двигателя	n, мин ⁻¹	Расход топлива при загрузке 100%, л/ч	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
<i>Дизельные электростанции фирмы «Doosan-Daewoo»</i>						
TJ95DW	75/68*	D1146	1500	20,6	2400×750×1420	1220
TJ235DW	186/165	P086TI	1500	43,1	3000×950×1530	1860
TJ275DW	220/200	P126TI-II	1500	55	3000×1000×1565	2160
TJ385DW	308/280	P158LE	1500	69,3	3200×1300×1840	3600
TJ450DW	360/328	P158LE	1500	81	3200×1300×1840	3740
TJ520DW	414/378	P158LE-S	1500	99,5	3200×1300×1840	4300
TJ600DW	480/440	P222LE	1500	111,1	3500×1300×1852	4875
TJ680DW	544/504	P222LE	1500	124,3	3800×1300×1884	5406
TJ715DW	571/522	P222LE-S	1500	130	3800×1300×1884	5406
<i>Дизельные электростанции фирмы «Mitsubishi»</i>						
TJ9MS	7/6	S3L261SD	1500	2,9	1300×700×870	500
TJ10MS	8/6	L2E61SDH	1500	2,6	1300×700×870	490
TJ11MS	9/8	S2L261SD	1500	2,9	1300×700×870	510
TJ15MS	12/10	L3E61SDH	1500	2,6	1300×700×870	540
TJ16MS	13/12	S4L261SD	1500	4,1	1600×750×1170	580
TJ23MS	18/17	S4Q261SD	1500	6	1600×750×1170	550
TJ27MS	22/18	S4L261SDH	1500	6,4	1600×750×1170	590
TJ45MS	36/33	S4SDT	1500	10,2	1700×750×1150	720
TJ1155MS	924/840	S12HPTA	1500	220	4500×2000×2370	9000
TJ1540MS	1232/1118	S12RPTA2	1500	282	4600×2000×2370	10200
TJ1915MS	1530/1395	S16RPTA	1500	342	5000×2300×2500	12900
TJ2120MS	1693/1539	S16RPTA2	1500	398	5200×2300×2500	13400
TJ2280MS	1822/1620	S16RPTAA2	1500	408	5800×2350×2750	15200
<i>Дизельные электростанции фирмы «Perkins»</i>						
TJ51PR	41/38	1004G	1500	11	1850×750×1250	995
TJ80PR	64/58	1004TG	1500	14,5	1850×750×1270	1090
TJ116PR	93/84	1006TG2A	1500	22,6	2400×750×1415	1280
TJ150PR	116/106	1006TAG	1500	31,5	2400×750×1520	1315
TJ385PE	308/280	2306C-E14	1500	70,6	3200×1100×1920	2860
TJ500PE	400/360	2806C-E16	1500	95	3700×1300×2030	3640
TJ815PE	650/589	4006-23TAG2A	1500	164	3995×1650×2072	4730
TJ905PE	724/646	4006-23TAG3A	1500	164	4040×1650×2072	5125
TJ1130PE	902/821	4008TAG2A	1500	209,1	4685×2050×2270	7350
TJ1400PE	1120/1016	4012TAG	1500	260,1	4800×1880×2355	9400
TJ1650PE	1320/1200	4012TAG2A	1500	294	5060×2260×2780	10300
TJ2270PE	1814/1650	4016TAG2A	1500	422,6	5800×2780×3270	15600

* Числитель — резервный режим; знаменатель — основной режим.

Таблица 6.15. Основные технические характеристики передвижных дизельных электростанций ОАО «Электроагрегат»

Параметр	Значение									
Номинальная мощность, кВт	150	200	315	400	500	630	800	1000	1500	
Род тока	Переменный трехфазный									
Напряжение, В	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
Частота тока, Гц	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Степень автоматизации	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
Первичный двигатель	ЯМЗ-238Д1	ЯМЗ-7514	В2-ТК-С6	КТА-19-С4*	УТА28 G5*	ГС-630Б	QST30 G3*	КТА50 G3*	QSK60 G3*	
Частота вращения, мин ⁻¹	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	
Ресурс до капитального ремонта, ч	10000	10000	12000	18000	18000	20000	20000	20000	20000	
Охлаждение	Водовоздушное									
Расход топлива, л/ч	39,5	55	75	107	124	168	202	265	320	
Объем топливного бака, л	200	480	480	480	1800	1800	1800	1800	1800	
Генератор	ГС-1 30Б	ГС-200Б	ГС-315Б	1ГС-500-Б1	НС5F**	ГС-630Б	НС6К**	НС1734**	НС7Н**	
Электростанции на раме-салазках (условия эксплуатации от -50 до +50 °С)										
Габариты, мм:	Электростанции в утепленном кузове — фургоне на прицепе (условия эксплуатации от -50 до +50 °С)									
длина	4970	5600	5950	5950	7600	7600	7600	7600	9500	
ширина	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920	
высота	2500	2930	2550	2550	3000	3000	3000	3410	3410	
Масса, кг	4500	6850	7000	7000	12000	15000	16000	16500	22000	
Электростанции в утепленном кузове — фургоне на прицепе (условия эксплуатации от -50 до +50 °С)										
Габариты, мм:	Собственный									
длина	6950	7330	7750	9450	9450	9450	9450	9450	13600	
ширина	2850	2850	2850	2980	2980	2980	2980	2980	3060	
высота	3450	3900	3350	3850	3830	3820	3800	3800	4400	
Масса, кг	5000	8250	10000	11000	11500	12500	13400	15000	28000	
Тип кузова	СЗАП8357									
Шасси	ЧМЗАП-93853									
Возможно комплектование двигателями	—	ГКБ817	—	—	8V0700П	6ДМ21Э	—	8ДМ21Э	—	

* Двигатель производства фирмы «Cummins Engine Company».

** Генераторы производства фирмы «Stamford».

Примечание. Эти станции пригодны для использования в городских условиях благодаря низкому содержанию продуктов сгорания. Их рекомендуется использовать для продолжительного автономного энергоснабжения на строительных площадках, фермах, в ресторанах, отелях, аэропортах, железнодорожных вагонах, холодильных контейнерах и т.д.

Таблица 6.16. Общие характеристики дизельных

Электроагрегат (50 Гц, 400/230 В)*			Двигатель				
Модель	Мощность		Мощность в резервном режиме, кВт	Модель	Цилиндр		
	кВ·А, cosφ 0,8	кВт			Тип	Рабочий объем, л	Внутрен- ний диа- метр, мм
А. Мощность 350—825 кВ·А							
ACQ 350	350/300**	280/240**	300	QSL9 G5	6L	8,8	114
AC 400	400/356	320/284	341	NTA 855 G4	6L	14	140
AC 440	440/400	352/320	380	NTA 855 G7	6L	14	140
ACQ 515	515/460	412/368	441	QSX 15 G6	6L	15	137
ACQ 550	550/500	440/400	482	QSX 15 G8	6L	15	137
AC 550	550/500	440/400	484	KTA 19 G4	6L	18,9	159
AC 650	650/590	520/472	554	KTA 9 G8	6L	18,9	159
AC 703	703/638	562/510	593	VTA 28 G5	12V	28	140
AC 825	825/750	660/600	700	VTA 28 G6	12V	28	140
Б. Мощность 880—2500 кВ·А							
ACQ 881	880/800	704/640	746	QSK 23 G3	6L	23,15	170
AC 1030	1030/930	824/744	873	KTA 38 G3	12V	37,8	159
ACQ 1030	1030/930	824/744	875	QST 30 G3	12V	30,48	140
AC 1130	1130/1030	904/824	948	KTA 38 G5	12V	37,8	159
ACQ 1130	1130/1030	904/824	951	QST 30 G4	12V	30,48	140
AC 1435	1435/1280	1148/1024	1204	KTA 50 G3	16V	50,3	159
AC 1675	1675/1500	1340/1200	1397	KTA 50 GS8	16V	50,3	159
ACQ 2100	2100/1900	1680/1520	1755	QSK 60 G3	16V	60,2	159
ACQ 2250	2250/2000	1800/1600	1880	QSK 60 G4	16V	60,2	159
ACQ 2500	2500/2250	2000/1800	2105	QSK 60 G8	16V	60,2	159

* В наличии следующие значения напряжения: 415/240 В; 430/230 В; 380/220 В—220/127 В—200/115 В.

** Числитель — резервный режим; знаменатель — основной режим.

электроагрегатов фирмы «AKSA Power Generation»

Cummins			Агрегат открытого исполнения		Агрегат шумо-защитного исполнения		Система управления (автоматическая)
	Топливо		Габариты (Д×Ш×В), м	Масса в сухом состоянии, кг	Модель кожуха	Масса в сухом состоянии, кг	
Ход поршня, мм	Расход при 75%-ной нагрузке, л/ч	Объем бака, л					

145	46	420	3,0×1,15×1,9	3 150	AK 70	4 500	P2020
152	57	420	3,23×1,15×2,2	3 250	AK 70	4 540	P2020
152	65	420	3,23×1,15×2,2	3 280	AK 80	5 025	P2020
169	74,3	620	3,6×1,3×2,0	4 485	AK 80	5 900	P2020
169	78,3	620	3,6×1,3×2,0	4 485	AK 80	5 900	P2020
159	82	550	3,43×1,3×2,12	4 230	AK 80	5 850	P2020
159	92	550	3,43×1,3×2,12	4 620	AS 710	6 200	P2020
152	104	900	3,9×1,3×2,14	5 590	AS 710	7 190	P2020
152	133	900	4,0×1,3×2,16	5 890	AS 710	7 480	P2020

170	121	1000	4,2×1,7×2,23	6,16	AK90	9,1	P2020
159	151	1250	4,3×1,77×2,35	7,6	AKS95	12,2	P2020
165	139	1250	4,23×1,77×2,35	7,2	AKS95	11,5	P2020
159	161	1250	4,33×1,77×2,35	7,72	AKS95	12,2	P2020
165	151	1250	4,4×2,0×2,35	7,6	AKS95	12,2	P2020
159	199	2000	4,91×2,12×2,26	10,1	SC40	17	P2020
159	238	2000	5,45×2,12×2,84	11,5	SC40	18,4	P2020
190	263	2000	6,02×2,5×3,22	15,5	SCH40	N/A	P2020
190	291	2000	6,02×2,5×3,22	15,5	SCH40	N/A	P2020
190	460	2000	6,02×2,5×3,22	17,2	N/A	N/A	P2020

Таблица 6.17. Характеристики дизельных электростанций

Параметр	GP 100 A/I	GP 100 A/J	GP 100 A/P	GP 100 A/V	GP 125 A/I	GP 125 A/J
Мощность, кВт·А:						
основная	100	100	100	100	125	125
резервная	110	110	110	110	138	138
Габариты, мм:						
длина	2100	2100	2100	2100	2850	2850
ширина	900	900	900	900	1000	1000
высота	1300	1300	1300	1300	1400	1400
Масса, кг	1350	1170	1350	1250	1400	1420
Объем бака, л	100	100	100	100	140	140
Двигатель	Iveco	John Deere	Perkins	Volvo	Iveco	John Deere
Модель	NEF45TM2	4045HF158	1104C-44TAG2	TAD520GE	NEF67SM1	6068TF258
Объем цилиндра, см ³	4500	4500	4400	4760	6700	6800
Расход топлива при 75%-ной нагрузке	14,6	15,1	16,3	14,5	18,7	18,1
Тип регулятора частоты вращения	Механический	Механический	Электронный	Механический	Механический	Механический
Генератор	Mecc					
Модель	ECO34-2S/4	ECO34-2S/4	ECO34-2S/4	ECO34-2S/4	ECO34-1L/4	ECO34-1L/4
ДГУ в кожухе	GP 100 S/I	GP 100 S/J	GP 100 S/P	GP 100 S/V	GP 125 S/I	GP 125 S/J
Габариты, мм:						
длина	2850	2850	2850	2850	3000	3000
ширина	1000	1000	1000	1000	1100	1100
высота	1400	1400	1400	1400	1500	1500
Масса, кг	1640	1430	1750	1520	1780	1900
Звуковое давление на 7 м, дБ	71	71	71	71	70	70

фирмы «Green Power» Италия) мощностью 100—200 кВ·А

GP125A/P	GP125A/V	GP150A/I	GP150A/J	GP150A/P	GP150A/V	GP180A/J	GP180A/V
125 138	125 138	150 165	150 165	150 165	150 165	180 200	180 200
2850 1000 1400	2850 1000 1400	2850 1000 1400	2850 1000 1400	2850 1000 1400	2850 1000 1400	3000 1100 1500	3000 1100 1650
1480	1460	1460	1520	600	1500	1650	1800
140	140	140	140	140	140	150	150
Perkins	Volvo	Iveco	John Deere	Perkins	Volvo	John Deere	Volvo
1006TAG	TD720GE	NEF67TM3	6068HF158	1006TAG2	TD720GE	6068HF258	TAD721GE
5990	7150	6700	6800	5990	7150	6800	7150
20,9	18,6	24,4	22	29,6	20,8	26,5	25,9
Электрон- ный	Механи- ческий	Механи- ческий	Механи- ческий	Электрон- ный	Механи- ческий	Механи- ческий	ECU

Alte

ECO34- 1L/4	ECO34- 1L/4	ECO34- 2L/4	ECO34- 2L/4	ECO34- 2L/4	ECO34- 2L/4	ECO38- 1S/4	ECO38- 1S/4
GP125S/P	GP125S/V	GP150S/I	GP150S/J	GP150S/P	GP150S/V	GP180S/J	GP180S/V
3000 1100 1500	3000 1100 1500	3000 1100 1500	3000 1100 1500	3300 1100 1650	3300 1100 1650	4000 1250 2200	3000 1100 1500
1950	1700	1890	1820	2200	2000	1950	2100
70	70	70	70	70	70	70	70

Таблица 6.18. Характеристики дизельных электростанций

Параметр	GP 200A/I	GP 200A/P	GP 200A/V	GP 250A/I	GP 250A/P	GP 250A/V
Мощность, кВт·А: основная резервная	200 220	200 220	200 220	250 275	250 275	250 275
Габариты, мм: длина ширина высота	3 000 1 100 1 500	3 000 1 100 1 500	3 000 1 100 1 650	3 000 1 100 2 100	3 000 1 100 1 500	3 000 1 100 1 650
Масса, кг	2 050	1 650	2 000	2 500	2 000	2 200
Объем бака, л	150	150	150	150	150	150
Двигатель	Iveco	Perkins	Volvo	Iveco	Perkins	Volvo
Модель	NEF60 TAGE2	1306CE87 TAG3	TAD 722 GE	CURSOR78 TE2	1306CE87 TAG3	TAD 740 GE
Объем цилиндра, см ³	5 900	8 710	7 280	7 800	8 710	7 280
Расход топлива при 75%-ной нагрузке	27,8	29,1	28,6	34,0	36,3	35,2
Тип регулятора частоты враще- ния	ECU	ECU	ECU	ECU	ECU	ECU
Генератор	Mecc					
Модель	ECO38- 2S/4	ECO38- 2S/4	ECO38- 2S/4	ECO38- 1L/4	ECO38- 1L/4	ECO38- 1L/4
ДГУ в кожухе	GP 200 S/I	GP 200 S/P	GP 200 S/V	GP 250 S/I	GP 250 S/P	GP 250 S/V
Габариты, мм длина ширина высота, мм	4 000 1 250 2 200	4 000 1 250 2 200	4 000 1 250 2 200	4 000 1 250 2 200	4 000 1 250 2 200	4 000 1 250 2 200
Масса, кг	2 800	2 800	2 900	3 500	2 900	3 100
Звуковое давле- ние на 7 м, дБ	70	70	70	70	70	70

фирмы «Green Power» (Италия) мощностью 200—400 кВт·А

GP300A/I	GP300A/P	GP300A/V	GP350 A/I	GP350A/P	GP350A/V	GP380A/V
300 330	300 330	300 330	350 385	350 385	350 385	375 410
3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 3 000
2 800	3 000	2 600	3 100	3 100	2 900	3 000
300	300	300	300	300	300	300
Iveco	Perkins	Volvo	Iveco	Perkins	Volvo	Volvo
CURSOR TE1	2306C-E14 TAG1A	TAD941 GE	CURSOR 13 TE2	2306C-E14 TAG2	TAD 1240 GE	TAD 1241 GE
12 880	14 600	9 360	12 820	14 600	12 130	12 130
40,0	42,5	42,7	46,2	48,6	48,6	52,6
Электрон- ный	ECU	ECU	Электрон- ный	ECU	ECU	ECU

Alte

ECO38-2L/4	ECO38-2L/4	ECO38- 2L/4	ECO38- 3L/4	ECO38-3L/4	ECO38-3L/4	ECO40 IS
GP300 S/I	GP300S/P	GP300S/V	GP350 S/J	GP350S/P	GP350S/V	GP180S/J
4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300
3 800	4 000	3 600	4 250	4 100	4 000	4 100
70	70	70	70	70	70	70

Таблица 6.19. Характеристики дизельных электростанций

Параметр	GP 400 A/I	GP 400 A/P	GP 400 A/V	GP 450 A/I	GP 450 A/P	GP 450 A/V	GP 500 A/P
Мощность, кВт·А: основная резервная	400 440	400 440	400 440	450 495	450 495	450 495	500 550
Габариты: длина, мм ширина, мм высота, мм	3 400 1 400 2 200	3 200 1 300 2 100	3 200 1 300 2 100	3 400 1 400 2 200	3 400 1 400 2 200	3 400 1 400 1 900	3 400 1 400 2 200
Масса, кг	3 800	3 400	3 600	4 000	3 500	3 800	3 600
Объем бака, л	320	300	300	320	320	320	320
Двигатель	Iveco	Perkins	Volvo	Iveco	Perkins	Volvo	Perkins
Модель	CURSOR 13 TE3	2306C- E14 TAG3	TAD1242 GE	8281 SRI27	2806C- E16 TAG1	TAD1640 GE	2806C- E16TAG2
Объем цилиндра, см ³	12 900	14 600	12 130	17 200	15 800	16 120	15 800
Расход топлива при 75%-ной нагрузке	53,1	56,7	56,1	65,4	65,4	66,3	72,3
Тип регулятора частоты вращения	ECU	ECU	Элек- тронный	ECU	ECU	Элек- тронный	ECU
Генератор	Mecc						
Модель	ECO 40-2S	ECO 40-1S/4	ECO 40-1S	ECO 40-2S	ECO 40-2S/4	ECO 40-2S	ECO 40-3S/4
ДГУ в кожухе	GP 400 S/I	GP 400 S/P	GP 400S/V	GP 450S/I	GP 450S/P	GP 450S/V	GP 500S/P
Габариты, мм: длина ширина высота	5 000 1 900 2 400	4 500 1 450 2 300	4 500 1 450 2 300	5 000 1 900 2 400	5 000 1 900 2 400	5 000 1 900 2 400	5 000 1 900 2 400
Масса, кг	5 000	4 600	4 800	5 200	4 700	5 000	4 800
Звуковое давление на 7 м, дБ	70	70	70	70	70	70	70

Таблица 6.20. Основные характеристики дизельных электростанций Mobil-Storm (Германия) на базе двигателя Iveco

Модель	Двигатель	N, кВт		Объем топливного бака, л	Расход топлива при 100%-ной нагрузке, л/ч	Габариты (Д×В×Ш), мм	Масса, кг
		номинальная	максимальная				
<i>Электростанции дизельные 400 В, 50 Гц, 1500 мин⁻¹ с запуском электростартером (исполнение — открытое на раме)</i>							
IK-20	803li06	16	17,6	65	5,8	1 540×730×1 220	732
IK-30	803li06	24	26,4	65	7,7	1 540×730×1 220	752
IK-40	NEF 45 AM 1	32	35,2	140	9	1 870×730×1 155	900
IK-60	NEF 45 SM1	48	53,6	185	13,7	2 250×730×1 420	1 075
IK-85	NEF 45 TM 1	64	70,4	180	19,3	2 303×730×1 475	1 130
IK-100	NEF 45 TM 2	80	92,8	180	22	2 303×730×1 475	1 160
IK-130	NEF 67 TM 2	100	120	250	29,3	2 800×780×1 423	1 315
IK-160	NEF 67 TM 3	120	132	250	36	2 800×780×1 423	1 440
IK-200	NEF 60 TE 2	160	188	270	42,4	2 665×825×1 585	2 100
IK-250	CURSOR 78 TE 2	200	220	550	51	3 100×1 000×2 057	2 500
IK-300	CURSOR 13 TE 1	240	264	500	61,3	3 530×1 100×1 730	2 500
IK-350	CURSOR 13 TE 2	280	308	500	70	3 530×1 100×1 730	2 750
IK-400	CURSOR 13 TE3	320	352	500	81,3	3 530×1 286×1 820	2 800
IK-650	VECTOR 8 TE 1	520	572	500	132,2	3 540×1 600×2 300	4 750
IK-720	VECTOR 8 TE 2	575	632	500	148	3 536×1 563×2 294	4 930

Электростанции дизельные 400 В, 50 Гц, 1500 мин⁻¹ (исполнение — в шумоизолирующем кожухе)

IS-20	8031106	16	20	110	5,8	2 000×950×1 230	1 030
IS-30	8031106	24	26,4	110	7,7	2 000×950×1 230	1 050
IS-40	NEF 45 AM 1	32	35,2	140	9	2 400×1 000×1 320	1 240
IS-60	NEF 45 SM1	48	53,6	180	13,7	2 950×1 100×1 660	1 760
IS-85	NEF 45 TM 1	64	70,4	180	19,3	2 950×1 100×1 660	1 810
IS-100	NEF 45 TM 2	80	92,8	180	22	2 950×1 100×1 660	1 820
IS-130	NEF 67 TM 2	100	120	330	29,3	3 600×1 200×1 930	2 450
IS-160	NEF 67 TM 3	120	150	330	36	3 600×1 200×1 930	2 580
IS-200	NEF 60 TE 2	160	188	200	42,4	3 500×1 350×1 650	2 780
IS-250	CURSOR 78 TE 2	200	220	500	51	3 950×1 400×2 200	3 440
IS-300	CURSOR 13 TE 1	240	264	500	61,3	4 500×1 600×2 250	4 590
IS-350	CURSOR 13 TE 2	280	308	500	70	4 500×1 600×2 250	4 590
IS-400	CURSOR 13 TE3	320	352	500	81,3	4 500×1 600×2 250	4 690
IS-650	VECTOR 8 TE 1	520	572	500	132,2	5 200×1 800×2 500	6 200
IS-720	VECTOR 8 TE 2	575	633,4	500	148	5 200×1 800×2 500	6 400

Таблица 6.21. Технические характеристики дизельных электростанций средней мощности фирмы «ET-Generators»

Модель	Мощность продолжительная, кВт·А/кВт	Двигатель John Deere				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем, см ³	Мощность, л.с				
Мощность 30—180 кВт·А									
Открытая на раме									
ET GP-30A/J	30/24	3029DF 128	3	2 900	42	70	218	1 850×700×1 100	815
ET GP-40A/J	40/32	4039DF 008	4	3 990	54	70	214	1 850×700×1 100	880
ET GP-60A/J	60/48	4039TF 008	4	3 990	85	100	219	2 100×900×1 380	920
ET GP-80A/J	80/64	4045TF 258	4	4 500	111	100	223	2 100×900×1 380	1 110
ET GP-100A/J	100/80	4045TF 158	4	4 500	134	100	215	2 100×900×1 380	1 170
ET GP-125A/J	125/100	6068TF 258	6	6 800	161	140	206	2 850×1 000×1 400	1 420
ET GP-150A /J ET	150/120	6068HF 158	6	6 800	205	140	208	2 850×1 000×1 400	1 520
GP-180A/J	180/144	6068HF 258	6	6 800	245	150	209	3 000×1 100×1 500	1 650
В шумопоглощающем кожухе									
ET GP-30S/J	30/24	3029DF 128	3	2 900	42	100	218	2 100×900×1 170	1 025
ET GP-40S/J	40/32	4039DF 008	4	3 990	54	100	214	2 100×900×1 170	1 030
ET GP-60S/J	60/48	4039TF 008	4	3 990	85	125	219	2 500×1 000×1 400	1 370
ET GP-80S/J	80/64	4045TF 258	4	4 500	111	125	223	2 500×1 000×1 400	1 780
ET GP-100S/J	100/80	4045TF158	4	4 500	134	140	215	2 850×1 000×1 400	1 430
ET GP-125S/J	125/100	6068TF 258	6	6 800	161	150	206	3 000×1 100×1 500	1 900

Продолжение табл. 6.21

Модель	Мощность продолжительная, кВ·А/кВт	Двигатель John Deere				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем, см ³	Мощность, л.с				
ET GP-150S/J	150/120	6068HF 158	6	6 800	205	150	208	3 000×1 100×1 500	1 940
ET GP-180S/J	180/144	6068HF 258	6	6 800	245	250	209	4 000×1 250×2 200	1 950

Мощность 30—500 кВт·А

Открытая на раме

ET GP-30A/P	27/22	1103 C-33 G3	3	2 500	36	70	228	1 750×700×1 100	710
ET GP-40A/P	40/32	1103 C-33 TG3	4	3 990	59	70	231	1 850×700×1 100	850
ET GP-60A/P	60/48	1104 C-44 TG3	4	3 990	86	100	245	2 100×900×1 300	920
ET GP-80A/P	76/61	1104 C-44 TAG1	4	3 990	99	100	231	2 100×900×1 300	1 150
ET GP-100A/P	102/81	1104 C-44T AG2	4	4 400	134	100	208	2 100×900×1 400	1 480
ET GP-130A/P	125/100	1106 C-E66 TAG2	6	5 990	179	140	220	2 850×1 000×1 400	1 600
ET GP-150A/P	150/120*	1106 C-E66 TAG3	6	8 710	194	140	210	2 850×1 000×1 400	1 600
ET GP-200A/P	200/160*	1306 CE87 TAG3	6	8 710	267	150	206	3 000×1 100×1 500	1 650
ET GP-250A/P	250/200*	1306 CE87 TAG6	6	8 710	320	150	206	3 000×1 100×1 500	2 000
ET GP-350A/P	350/280*	2306 CE14 TAG2	6	14 600	461	300	197	3 200×1 300×2 100	3 150
ET GP-400A/P	400/320*	2306 CE14 TAG3	6	14 600	519	300	201	3 200×1 300×2 100	3 400
ET GP-450A/P	450/360*	2506 CE15TAG1	6	15 800	581	320	206	3 200×1 300×2 200	3 500
ET GP-500A/P	500/400*	2506 CE15 TAG2	6	15 800	632	320	205	3 200×1 300×2 200	3 600

Окончание табл. 6.21

Модель	Мощность продолжительная, кВ·А/кВт	Двигатель John Deere				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем, см ³	Мощность, л.с				
В шумопоглощающем кожухе									
ET GP-30A/P	27/22	1103 C-33G3	3	2 500	36	100	228	2 100×900×1 170	970
ET GP-40A/P	40/32	1103 C-33TG3	4	3 990	59	100	231	2 100×900×1 170	1 100
ET GP-60A/P	60/48	1104 C-44TG3	4	3 990	86	125	245	2 500×1000×1 400	1 370
ET GP-80A/P	76/61	1104 C-44TAG1	4	3 990	99	125	231	2 500×1000×1 400	1 470
ET GP-100A/P	102/81	1104 C-44TAG2	4	4 400	134	140	208	2 850×1000×1 400	1 950
ET GP-130A/P	125/100*	1106 C-E66TAG2	6	5 990	179	150	220	3 000×1100×1 500	2 200
ET GP-150A/P	150/120*	1106 C-E66TAG3	6	8 710	194	160	210	3 300×1100×1 500	2 200
ET GP-200A/P	200/160*	1306 CE87TAG3	6	8 710	267	250	206	3 800×1200×1 800	2 800
ET GP-250A/P	250/200*	1306 CE87TAG6	6	8 710	320	250	206	4 000×1250×2 200	2 900
ET GP-350A/P	350/280*	2306 CE14TAG2	6	14 600	461	400	197	4 500×1450×2 300	4 100
ET GP-400A/P	400/320*	2306 CE14TAG3	6	14 600	519	400	201	4 500×1450×2 300	4 600
ET GP-450A/P	450/360*	2506 CE15TAG1	6	15 800	581	450	206	5 000×1900×2 400	4 700
ET GP-500A/P	500/400*	2506 CE15TAG2	6	15 800	632	450	205	5 000×1 900×2 400	4 800

* RPM — электронный регулятор частоты

Таблица 6.22. Характеристики дизельных электростанций фирмы «ET-Generators» мощностью 85—570 кВт·А

Модель	Мощность про- должительная, кВт·А/кВт	Двигатель Volvo Penta				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем, см³	Мощность, л.с.				
Открытая на раме									
ET GP-85A/V	85/68	TAD 530 GE	4	4760	100	100	213	2100×900×1300	1225
ET GP-100A/V	100/80	TAD 531 GE	4	4760	139	100	206	2100×900×1300	1250
ET GP-130A/V	130/100	TAD 532 GE	6	7150	174	140	211	2850×1000×1400	1285
ET GP-150A/V	150/120	TAD 731 GE	6	7150	208	140	197	2850×1000×1400	1500
ET GP-180A/V	180/144*	TAD 732 GE	6	7150	222	150	204	3000×1100×1650	1800
ET GP-200A/V	200/160*	TAD 733 GE	6	7280	267	150	203	3000×1100×1650	2000
ET GP-250A/V	250/200*	TAD 734 GE	6	7280	329	150	200	3200×1300×2100	2200
ET GP-300A/V	300/240*	TAD 941 GE	6	9360	397	300	200	3200×1300×2100	2600
ET GP-350A/V	350/280*	TAD 1240 GE	6	12130	481	300	198	3200×1300×2100	2900
ET GP-380A/V	375/300*	TAD 1241 GE	6	12130	481	300	198	3200×1300×2100	3000
ET GP-400A/V	400/320*	TAD 1242 GE	6	12130	526	300	199	3200×1300×2100	3600
ET GP-450A/V	450/360*	TAD 1640 GE	6	16120	592	320	209	3200×1300×2100	3800
ET GP-500A/V	500/400*	TAD 1641 GE	6	16120	643	320	209	3200×1300×2100	3900
ET GP-550A/V	550/440*	TAD 1642 GE	6	16120	629	320	115	3400×1400×1900	4000
ET GP-570A/V	570/456*	TAD 1642 GE	6	16120	629	320	115	3400×1400×1900	4100

Окончание табл. 6.22

Модель	Мощность про- должительная, кВт·А/кВт	Двигатель Volvo Penta				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем, см ³	Мощность, л.с.				
В шумопоглозащитном кожухе									
ET GP-85S/V	85/68	TAD 530 GE	4	4760	116	140	213	2500×1000×1400	1560
ET GP-100S/V	100/80	TAD 531 GE	4	4760	139	140	206	2850×1000×1400	1520
ET GP-130S/V	125/100	TAD 532 GE	6	7150	174	150	211	3000×1100×1500	1700
ET GP-150S/V	150/120	TAD 731 GE	6	7150	208	160	197	3300×1100×1500	2000
ET GP-180S/V	180/144*	TAD 732 GE	6	7150	222	250	204	3300×1100×1500	2100
ET GP-200S/V	200/160*	TAD 733 GE	6	7280	267	250	203	3800×1200×1800	2750
ET GP-250S/V	250/200*	TAD 734 GE	6	7280	329	250	200	4000×1250×2200	3100
ET GP-300S/V	300/240*	TAD 941 GE	6	9360	397	400	200	4500×1450×2300	4045
ET GP-350S/V	350/280*	TAD 1240 GE	6	12130	481	400	198	4500×1450×2300	4145
ET GP-380S/V	375/300*	TAD 1241 GE	6	12130	481	400	198	4500×1450×2300	4300
ET GP-400S/V	400/320*	TAD 1242 GE	6	12130	526	400	199	4500×1450×2300	4450
ET GP-450S/V	450/360*	TAD 1640 GE	6	16120	592	450	209	4500×1450×2300	4500
ET GP-500S/V	500/400*	TAD 1641 GE	6	16120	643	450	209	5000×1900×2400	5100
ET GP-550S/V	550/440*	TAD 1642 GE	6	16120	629	450	115	5000×1900×2400	5200
ET GP-570S/V	570/456*	TAD 1642 GE	6	16120	629	450	115	5000×1900×2400	5300

*RPM — электронный регулятор частоты вращения.

Таблица 6.23. Характеристики дизельных электростанций фирмы «ET-Generators» мощностью 640—1030 кВт·А

Модель	Мощность про- должительная, кВт·А/кВт	Двигатель John Deere				Объем бака, л	Расход топлива, г/(кВт·ч)	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		Модель	Число цилиндров	Объем цилин- дра, см ³	Мощность, л.с.				
Открытая на раме									
ET GP-640A/C	640/511	VTA28G4	12	28000	825	500	192	3500×1600×2100	4200
ET GP-800A/C	800/640	QSK23G3	6	23150	1030	600	197	4000×1900×2010	4600
ET GP-930A/C	930/744	QST30G3	12	30480	1200	800	194	4500×2000×2300	6000
ET GP-1030A/C	1030/820	QST30G4	12	30480	1300	800	195,6	5000×1900×2300	7000
В шумопоглощающим кожухе									
ET GP-640S/C	640/511	VTA28G4	12	28000	825	500	192	5500×1900×2400	5500
ET GP-800S/C	800/640	QSK23G3	6	23150	1030	500	197	6500×1900×2400	6800
ET GP-930S/C	930/744	QST30G3	12	30480	1200	650	194	6500×1900×2400	7800
ET GP-1030S/C	1030/820	QST30G4	12	30480	1300	700	195,6	7000×1900×2400	9000

Таблица 6.24. Характеристики дизельных электростанций фирмы «Атлас Копко» (400 В, три фазы, 50 Гц)

Модель	Ток номи- нальный, А	Мощность, кВт·А/кВт, в режиме		Марка и модель двигателя	Мощность двига- теля в непрерыв- ном режиме, кВт	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		непрерывном	резервном				
QAS 14	20	12,5/10	13,8/11	Perkins403C-15	12	2070×1000×1188	969
QAS 20	32	20/16	22/17,6	Perkins 404C-22	18,5	2070×1000×1188	994
QAS 30	48	30/24	33/26,4	Perkins 1103A-33G2	27	2450×1100×1483	1460
QAS 45	72	45/36	49,5/39,6	Perkins 1103A-33TG1	41,3	2450×1100×1483	1547
QAS 60	96	60/48	66/52,8	Perkins 1103A-33TG2	59,3	2450×1100×1483	1566
QAS 80	128	80/64	88/70,4	Perkins 1104A-44TAG1	71,9	2940×1100×1500	1854
QAS 100	159	100/80	110/88	Perkins 1104A-44TAG2	89	2940×1100×1500	1960
QAS 125	199	125/100	137,5/110	Volvo Penta TAD730GE	113	3378×1180×1705	2178
QAS 150	239	150/120	165/132	Volvo Penta TAD720GE	132	3378×1180×1705	2224
QAS 200	319	200/160	220/176	Volvo Penta TAD722GE	181	3471×1431×2128	3740
QAS 250	399	250/200	275/220	Volvo Penta TAD940GE	220	3955×1431×2128	3860
QAS 325	478	325/260	360/289	Volvo Penta TAD941GE	280	3955×1431×2128	4240

Дизельные электростанции фирмы «Атлас Копко» согласно стандарту ISO8528-1 нормированы по двум режимам эксплуатации (см. табл. 6.24):

резервному (LTP — Limited Time Power), в котором генератор способен работать на максимальной мощности (с переменной нагрузкой) не более 500 ч в год, из которых не более 300 ч непрерывно, перегрузки не допускаются;

непрерывному на переменную мощность (PRP — Prime Power), в котором генератор способен работать на 90% максимальной мощности с переменной нагрузкой неограниченное число часов в год (с перерывами на регламентное техобслуживание), допускается 10%-ная перегрузка в течение 1 ч из 12 рабочих часов.

6.5. Бензиновые и дизельные электрические станции малой мощности от 1,5 до 140 кВт (220 и 380 В)

Основную часть электростанции составляют объединенные в единый агрегат двигатель и генератор, установленные на стальной раме. Синхронный генератор переменного тока приводится в движение двигателем. Двигатель и генератор соединены через муфту или напрямую фланцем. В первом случае используется двухопорный генератор, т.е. генератор, имеющий два опорных подшипника, во втором — одноопорный с одним опорным подшипником. Между рамой, опорными поверхностями двигателя и генератора установлены резинометаллические амортизаторы, что снижает вибрации, передаваемые на фундамент агрегата.

В электростанциях в качестве приводных двигателей используются бензиновые, дизельные или газовые двигатели, а в качестве электрогенераторов — синхронные генераторы однофазного или трехфазного тока.

Для снижения расхода топлива двигателя применяется турбонаддув. Воздух в таких двигателях прежде чем попасть в камеру сгорания, сжимается в турбокомпрессоре. Его турбина приводится в движение выхлопными газами. После сжатия воздух охлаждается воздухом или водой и поступает в камеру сгорания двигателя.

Основные характеристики и параметры бензиновых и дизельных электростанций малой мощности ЗАО «Вентиляция, водоснабжение, теплоснабжение» (ВВТ) приведены в табл. 6.25—6.31.

Таблица 6.25. Бензиновые электростанции. Серия АБП 220 В

Модель	Мощность, кВт		Расход, л/ч	Объем бака, л	Мощность, двигателя, л.с.	Стартер	Продолжительность, работы, ч	Габариты, см	Масса, кг
	максимальная	рабочая							
Beman SH 1000	0,85	0,75	0,5	4,2	2	Ручной	9,3	46×30×43	24
1,5-230BP	1,7	1,5	0,9	2,5	3,5	Ручной	2,9	58×35×47	33
2,2-230BBB	2,7	2,2	1	1,5	5,5	Ручной	1,5	43×32×64	26
2,7-230BBП	3	2,7	1,2	3,8	6,5	Ручной	3,1	57×40×49	35
3-230BB	3,5	3	1,4	4,5	7,5	Ручной	3,3	62×40×48	38
3,5-230BX	4	3,5	1,2	6	8	Ручной	5	70×58×50	50
4,2-230BX	4,2	4	1,7	6	9	Ручной	3,5	68×50×54	51
5-230BX	5,5	5	2,2	6,5	11	Ручной	3	87×57×53	60
6-230BB	6,6	6	2,6	7,1	13	Ручной	2,7	87×57×53	75
6-230BX	6,6	6	2,6	6,5	13	Ручной	2,5	87×57×53	75

Таблица 6.26. Бензиновые электростанции. Серия АБП 220 В

Модель	Рабочая мощность		Расход, л/ч	Объем бака, л	Мощность, двигателя, л.с.	Стартер	Продолжительность, работы, ч	Габариты, см	Масса, кг
	кВ·А	кВт							
6,5-230BX	6,5	5,2	2,2	6,5	11	Ручной	3	87×57×53	77
10-T400BX-БСГ	10	8	3,6	19,5	20	Электр.	5,4	97×60×72	115
12-T400BX-БСГ	12,5	10	4,6	19,5	20	Электр.	4,2	97×60×72	115

Таблица 6.27. Сварочные электростанции. Серия АСП

Модель	Рабочая мощность		Объем бака, л	Мощность, двигателя, л.с.	Стартер	Продолжительность, работы, ч	Габариты, см	Масса, кг
	кВ·А	кВт						
T130-4/230BX	4	4	6	9	Ручной	3,8	87×57×53	83
T180-5-230BB	5	5	7,1	11	Ручной	3,8	87×57×53	83
T200-6/230BB	6	6	7,1	13	Ручной	3,8	87×57×53	94
B220-6,5/ 3,5-T400/230BB	6,5/3,5	5,2/3,5	7,1	13	Ручной	3,6	87×57×53	94
B300-10/4T400/ 230BX-БС	10/4	8/4	19,5	20	Электр./ ручной	7	97×60×72	151
B400-20/8-T400/ 230ВЛ-БСК	17,5/8	14/8	38	28,55	Электр./ ручной	7,8	150×120×120	430

Таблица 6.28. Дизельные электростанции. Серия АДП 220 В

Модель	Мощность, кВт		Расход, л/ч	Объем бака, л	Мощность, двигателя, л.с.	Стартер	Продолжительность работы, ч	Габариты, см	Масса, кг
	максимальная	рабочая							
2-230 ВЛ	2,2	2	0,79	3	4,5	Ручной	3,8	60×45×48	40
3-230 ВЯ-Б	3	2,7	0,92	12,5	7,5	Ручной	13,6	64×50×67	45
4,2-230 ВЯ	44,2	4	1,32	5,5	10	Ручной	4,2	82×51×65	75
5,0-230 ВЛ	5,5	5	1,98	4,3	10	Ручной	2,2	82×51×70	91
6,0-230 ВЛ-С	6,6	6	2,32	5,3	12,2	Электр./ручной	2,3	82×51×70	111
АДА 8,0-230ВЛ-БС	8,8	8	3,17	19,5	15	Электр./ручной	6,2	97×60×72	140
АДА 12,0-230ВЛ-БС	13,5	12	4,86	38	21,5	Электр./ручной	7,8	100×60×90	180

Таблица 6.29. Дизельные электростанции. Серия АДП 380 В

Модель	Рабочая мощность		Объем бака, л	Мощность, двигателя, л.с.	Стартер	Продолжительность работы, ч	Габариты, см	Масса, кг
	кВ·А	кВт						
6,5/3,2-Т400/230ВЛ	6,5/4	5,2/4	5,5	10	Ручной	3	82×51×70	91
7,0/4,0-Т400/230ВЛ-С	7/4	5,6/4	5,3	12,2	Электр./ручной	2,2	82×51×70	111
АДА 10-Т400/230ВЛ-БС	10	8	19,5	15	Электр./ручной	6,2	97×60×72	140
АДА 15-Т400/230ВЛ-БС	15	12	38	21,5	Электр./ручной	7,8	100×60×90	180

Таблица 6.30. Агрегат дизельный аварийный. Серия АДА, 3000 об/мин 220 В/380 В

Модель	Мощность, кВт·А		Расход, л/ч	Объем бака, л	Ток, А	Мощность, двигателя, л.с.	Габариты, см	Масса, кг
	400 В (звезда)	230 В (треугольник)						
8-230 РЛ	—	8	2,88	70	34	16	120×50×95	235
10-Т400 РЛ	10	6	2,88	70	14,6	16	120×50×95	250
12-Т400 РЯ	13,5	8,1	3,6	70	19,7	19,4	130×54×130	260
15-230 РЯ	—	15	4,6	70	65	31,1	130×54×130	260
20-Т400 РЯ	20	12	4,91	70	29,2	31,1	130×54×130	270
25-Т400 РЯ	25	15	6,13	70	36,5	38,5	150×71×110	390
31,5-Т400 РЯ	31,5	19	7,73	70	46,1	51,2	150×71×110	450

Таблица 6.31. Агрегат дизельный аварийный. Серия АДА (3000 мин⁻¹, 220/380 В)

Модель	Мощность, кВт · А		Расход, л/ч	Объем бака, л	Ток, А	Масса, кг	Габариты, см
	400 В (звезда)	230 В (треугольник)					
10-T400PЯ	10	6	2,3	70	15	352	130×54×130
15-T400PЯ	15	9	3,5	70	22	410	150×71×110
20-T400PЯ	18	12	4,7	70	26	550	150×71×110
30-T400PЯ	30	18	6,5	70	43,9	668	150×71×110
40-T400PЯ	40	24	9,8	70	58	790	180×81×120
65-T400PЯ	65	39	12,7	70	95	1010	200×91×130
85-T400PЯ	85	51	15,9	300	124,3	1100	300×100×190
105-T400PЯ	102,5	61,5	17,92	300	149,9	1120	300×100×190
135-T400PЯ	135	81	21,2	300	197,4	1350	300×100×190

Общие технические характеристики и параметры *однофазных электроагрегатов с бензиновым двигателем фирмы «AKSA Power Generation»* мощностью от 1,76 до 8,8 кВт приведены в табл. 6.32.

Генераторы данного диапазона мощности приводятся в действие двигателями фирмы «VANGUARD» и рассчитаны на самый широкий спектр применения и условий эксплуатации.

Все агрегаты оснащены датчиком отключения при недостаточном уровне масла. Генератор бесщеточный, не требующий обслуживания зарядного генератора с защитным автоматом.

Номинальные параметры по ISO 8528 обеспечивают эксплуатацию электроагрегата на отметках до 100 м и при температуре 25 °С.

Основные технические характеристики *дизельных миниэлектростанций «ТСС» серии «Фаворит»* приведены в табл. 6.33—6.35.

Таблица 6.32. Технические характеристики однофазных электроагрегатов фирмы «AKSA Power Generation» с бензиновым двигателем

Модель	Максимальная мощность электроагрегата 50 Гц, 220/115 В		Двигатель четырехтактный Briggs & Stratton «Vanguard», 3000 мин ⁻¹					Время работы при 50%-ной нагрузке	Масса (сухая), кг	Габариты (Д×Ш×В), см	Уровень шума на расстоянии 7 м, дБ
	кВт	кВ·А, cos φ=0,8	Модель	Мощность при 3000 мин ⁻¹ , л.с.	Датчик уровня масла	Электростарт	Топливный бак, л				
AB22M	1,76	2,2	85432	4	•	х	3	4 ч 6 мин	30	60×41×42	72
AB30M	2,4	3	INTEK	5,5	•	х	4	3 ч 20 мин	43	64×45×45	76
ABE30M	2,4	3	118432	6	•	х	16	13 ч 20 мин	51	64×45×63	70
ABE44M	3,5	4,4	138432	7,5	•	х	16	10 ч 19 мин	55	67×46×66	72
ABE55M	4,4	5,5	185432	9	•	х	16	9 ч 15 мин	80	70×55×68	73
ABE55ME	4,4	5,5	185437	9	•	•	16	9 ч 15 мин	85	70×55×68	73
ABE80M	6,4	8	245432	13	•	х	16	6 ч 48 мин	106	78×56×77	74
ABE80ME	6,4	8	245437	13	•	•	16	6 ч 48 мин	111	78×56×77	74
ABE110ME	8,8	11	350447	18	•	•	16	4 ч 27 мин	122	91×74×75	75
ABE110MEK	8,8	11	350447	18	•	•	22	6 ч 5 мин	195	98×62×90	68

Таблица 6.33. Характеристики миниелектростанций «ТСС» серии «Фаворит» мощностью 2—5,5 кВт

Параметр	ЭЛАД 2000Х ЭЛАД 2000Э	ЭЛАД 3300Х ЭЛАД 3300Э ЭЛАД 3300КЭ	ЭЛАД 5000Х ЭЛАД 5000Э ЭЛАД 5000КЭ	ЭЛАД 6000ХЗ ЭЛАД 6000ЭЗ ЭЛАД 6000КЭЗ	ЭЛАД 5000ХС ЭЛАД 5000ЭС ЭЛАД 5000КЭС
Номинальная мощность, кВт	2	3,2	5,5	4,8	2,8
Номинальный ток, А	7,4	12,2	18,3 [19 (5000КЭ)]	7,2	8,7
Выходное напряжение, В: переменное постоянное	230 12	230 12	230 12	230/380 —	230 —
Частота, Гц	50	50	50	50	50
Расход топлива, л/ч	0,77	1,13	1,88	1,65	1,15
Объем бака, л	7	7	7	7	7
Габариты (Д×Ш×В), мм	575×400×500	640×480×530 830×520×740	720×480×580 (открытые на раме) 910×520×740 (в кожухе)	95 (171- 6000КЭЗ)	102 (171-5000КЭС)
Масса, кг	53	65 (126-3300КЭ)	95 (171-5000КЭ)	95 (171- 6000КЭЗ)	102 (171-5000КЭС)
Марка двигателя*	ТСС ТД-170	ТСС ТД-178	ТСС ТД-186	ТСС ТД-186	ТСС ТД-186
Выходная мощность, кВт·А	3,8 3,4	5,5 5 (3300КЭ)	8,5	8,5	8,5
Объем цилиндра, см ³	211	296	406	406	406

* Двигатель четырехтактный, с воздушным охлаждением, одноцилиндровый.

Таблица 6.34. Основные технические характеристики дизельных миниэлектростанций «ТСС» серии «Фаворит» мощностью 8,5—16,25 кВт

Параметр	ЭЛАД-12ШЭА ЭЛАД-12ЭА ЭЛАД-12ЭАЗ	ЭЛАД-14ШЭА ЭЛАД-14ЭА	ЭЛАД-16ШЭА3 ЭЛАД-16ЭАЗ	ЭЛАД-19ШЭА ЭЛАД-19ЭА	ЭЛАД-19ШЭАЗ ЭЛАД-19ЭАЗ
Максимальная мощность, кВт	8,5	12	13,5	14,4	16,25
Марка двигателя	ТСС-КМ 2V80	Daihatsu-КМ 376G	Daihatsu-КМ 376AG	Daihatsu-КМ 376AG	Daihatsu-КМ 376AG
Выходное переменное напряжение, В	230 230/400	230	230/400	230	230/400
Частота, Гц	50	50	50	50	50
Расход топлива, л/ч	3,13	4,22	4,47	4,75	5,43
Объем бака, л	25	38	38	38	38
Габариты (Ш×Д×В), мм	1170×615×780 1030×615×155 995×770×720	1515×650×965 1210×835×880	1515×650×965 1210×835×880	1515×650×965 1210×835×880	1515×650×965 1210×835×880
Масса, кг	245 155 170	350 300	350 300	370 320	370 320
Исполнение	В шумоизолирующем кожухе Открытое Открытое	В шумоизолирующем кожухе Открытое	В шумоизолирующем кожухе Открытое	В шумоизолирующем кожухе Открытое	В шумоизолирующем кожухе Открытое
Уровень шума, дБ	65—69 70—74 70—74	65—69 70—74	65—69 70—74	65—69 75—79	65—69 75—79

Примечания. 1. Система охлаждения двигателя жидкостная.

2. Возможна дополнительная комплектация — система автоматического запуска.

Таблица 6.35. Характеристики миниэлектростанций «ТСС» серии «Фаворит» мощностью 20—37 кВт

Параметр	ЭЛАД-30 ШЭА	ЭЛАД-35 ШЭАЗ	ЭЛАД-40 ШЭАЗ	ЭЛАД-45 ШЭАЗ
Максимальная мощность, кВт	24	28	35	37
Марка двигателя	Isuzu KM 439G	Isuzu KM 493ZG	Isuzu KM 493G1	Isuzu KM 4105
Выходное переменное напряжение, В	230	230/400	230/400	230/400
Частота, Гц	50	50	50	50
Расход топлива, л/ч	8,28	8,89	10,91	11,76
Объем бака, л	120	120	120	110
Габариты (Ш×Д×В), мм	1700×850×1000	1500×850×1000	1700×850×1000	1900×950×1150
Вес, кг	850	850	850	1100
Исполнение	В шумоизолирующем кожухе			
Уровень шума, дБ	71—75	71—75	71—75	71—75

Примечания: 1. Возможна установка электростанции в мини-контейнере и на одноосном прицепе.

2. Используемые сокращения: ЭЛАД — электроагрегат дизельный; Ш — шумоизолирующий кожух; 3 — трехфазное исполнение.

3. Система охлаждения двигателя жидкостная.

4. Возможна дополнительная комплектация — система автоматического запуска.

РАЗДЕЛ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Электрооборудование напряжением до 1 кВ

7.1. Автоматические воздушные выключатели

7.1.1. Общие технические сведения по автоматическим выключателям

Автоматические выключатели с естественным воздушным охлаждением (автоматы) предназначены для отключения тока при КЗ, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, для оперативных включений и отключений электрических цепей (в том числе электродвигателей) на напряжение до 1 кВ.

Расцепители, являясь составной частью автоматов, контролируют заданный параметр защищаемой цепи и воздействуют на расцепляющее устройство, отключающее автомат.

Наиболее распространенными расцепителями являются:

- а) электромагнитные — для защиты от тока КЗ;
- б) тепловые — для защиты от перегрузок;
- в) комбинированные, совмещающие в себе электромагнитные и тепловые расцепители;
- г) полупроводниковые, позволяющие ступенчато менять номинальный ток расцепителя, время срабатывания в зоне перегрузки, отношение тока срабатывания при токе КЗ (0,1; 0,25; 0,4 с).

Полупроводниковые расцепители имеют более стабильные параметры и удобны в настройке.

Если автомат не имеет максимальных расцепителей, то он используется только для коммутаций цепей без тока.

Кроме указанных выше, имеются также минимальные, нулевые, независимые и максимальные токовые расцепители. Минимальные расцепители отключают включенный автоматический выключатель при $U = (0,35 \div 0,7) \times U_{\text{ном}}$; нулевые расцепители — при $(0,1 \div 0,35) U_{\text{ном}}$. Независимые расцепители служат для дистанционного отключения автоматов, максимальные токовые — для защиты электрических цепей (кроме двигателей) от перегрузки.

Таблица 7.1. Основные технические

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Число полюсов	Расцепитель максимального		
				Вид		$I_{\text{ном.р}}, \text{ А}$
				в зоне перегрузки	в зоне КЗ	
Э06	=220	800; 1000	—	Полупроводниковый	Полупроводниковый	630; 800
	=400					630; 800; 1000
	~380					
	~600					
Э16	=400	1250; 1600				630; 1000; 1600
	~600					
Э25	=400	2000; 2500; 3200; 4000				1000; 1600; 2500; 4000
	~600					
Э40	=400	4000; 5000; 6300				2500; 4000; 6300
	~600					
AK50	=220	50	2	Электромагнитный с гидравлическим замедлением срабатывания	Электромагнитный без замедлителя	0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 32; 40; 45; 50
	~380		2; 3			
AK63	=240	63	1	Комбинированный	Электромагнитный	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
	=400		2			
	~500		2; 3			
АП50Б	=220	50	2			1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40; 50; 63
	~500		3			
	~660		3			
AE1000	~380	25	1	Тепловой	6; 10; 16; 20; 25	
AE2020	~380	16	3		0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16	
	~660					
AE2040 AE2040M	~220	63	1		0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	
	~380		1,3			
	~440		1			
	~660		3			

данные автоматических выключателей

тока		Время выдержки (срабатывания), с			Предельная отключающая способность, кА	Вид привода	
Уставка срабатывания							
в зоне перегрузки	в зоне КЗ	при токе $1,05I_{\text{ном}}$	при токе $6I_{\text{ном}}$	в зоне КЗ			
1,25	3; 5; 7; 10	—	4; 8; 16	0,25; 0,45; 0,7	35	Ручной, электро- магнитный	
					25		
					40		
1,25	3; 5; 7; 10	—	4; 8; 16	0,25; 0,45; 0,7	45		
					30		
1,25	3; 5; 7	—	4; 8; 16	0,25; 0,45; 0,7	50		
					55		
1,25	3; 5; 7	—	4; 8; 16	0,25; 0,45; 0,7	85		
—	5	—	3—20	—	4,5		Ручной
1,35	5; 10	Не срабаты- вает	—	0,2—0,4	5		
—	1,5; 5	—		—	3—5		
	1,5; 3; 12				3		
1,3			3—20		2,3; 9		
1,25	3,5; 10	—	1,5—10		0,5—4		
					0,3—3,5		
					0,24—1		
1,25; 1,5	12—18	Не срабаты- вает	—	—	1,2; 1,8		
0,9—1,15	12				0,7—4		
					0,7—1,6		
					2—6		
					0,8—6		
					2—4,5		
					0,7—4		

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Число полюсов	Расцепитель максимального			
				Вид		$I_{\text{ном.р}}, \text{ А}$	
				в зоне перегрузки	в зоне КЗ		
АЕ2050М	~380	100	3	Тепловой	Электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	
	~600						
АЕ2060	~380	160	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160				
	~600						
АЕ2530	=200	25	1; 2			0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 1,6; 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
	~380						
АЕ2540	=200	63	1; 2			25; 31,5; 40; 50; 63	
	~380						
АЕ2550	=200	100				50; 60; 80; 100	
ВА13-25	~1140	25	3			Электромагнитный с гидравлическим замедлением	3,15; 5; 16; 25
ВА13-29	~660	63	2; 3				0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
	=440						
ВА16	~380	6,3—31,5	1	Тепловой	Электромагнитный	—	
ВА19 (ГВА 19-29)	~380	0,6—63	1,2			0,6—63	
	=220						
ВА22-27	~380	40	3:2			6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40	
	=220						
ВА51-25 (ВА51Г25)	~380	0,3—25	3			0,3—4,0 (ВА51-25) 5—25 (ВА51Г25)	
	~660						
ВА51	=220	100; 160	1; 2; 3			Для 100 А 6,3—100; для 160 А 80—160	
	~660						
ВА51-35	=220	250	2; 3			80; 100; 125; 200; 250	
	~660						
ВА51	~440	400	2; 3			250; 300; 400	
ВА52	~660					250; 300; 400	
ВА57-35 ВА57-37	=440	250	3			16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250	
	~660						

Продолжение табл. 7.1

тока		Время выдержки (срабатывания), с			Предельная отключающая способность, кА	Вид привода			
Уставка срабатывания									
в зоне перегрузки	в зоне КЗ	при токе 1,05I _{ном}	при токе 6I _{ном}	в зоне КЗ					
0,9—1,15	12	Не срабаты- вает в тече- ние 2 ч	5—20	—	2,4—6	Ручной			
					2,1—4				
					3,5—11,5				
					3—6				
0,9—1,15	1,3—10								2—5
	2—10								0,8—5
	2,5; 5; 10								5—10
	5; 10								3—6
	5; 10								20
—	7	—	—	—	1,5	—			
6; 12	3; 6; 12				6				
					10				
—	95-440	—	—		1				
	2—10				1,2—6				
	1,3—10				2—10				
—	—	—	—	—	1	Электро- двига- тельный			
					1,7—3				
1,2; 1,35	7; 10; 14	—	—	—	1,5—3,8	Ручной			
					1,2—3				
1,2; 1,25; 1,35	3:6; 7	—	—	—	2—28	Ручной, электро- магнитный			
	3; 7; 10				1,5—12				
—	6: 8: 10				25—31				
	12				10—12				
—	6	—	—	—	35—85				
—	20				12—20				
—	6; 8; 10; 12				5—110				
					3,5—20				

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Число полюсов	Расцепитель максимального		
				Вид		$I_{\text{ном.р}}, \text{А}$
				в зоне перегрузки	в зоне КЗ	
BA51-39	=220	630	2; 3	Тепловой	Электромагнитный	400; 500; 630
	~380					
	~660					
BA52-39	=440	630	2; 3	Тепловой	Электромагнитный	250; 320; 400; 500; 630
	~380					
	~660					
BA53-41	~380	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	Для полупроводникового 630; 800; 1000. Для электромагнитного 250; 400; 630; 1000
	~660					
	=440					
BA55-41	~380	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	Для полупроводникового 630; 800; 1000. Для электромагнитного 250; 400; 630; 1000
	~660					
	=440					
BA56-41	~380	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	Для полупроводникового 630; 800; 1000. Для электромагнитного 250; 400; 630; 1000
	~660					
	=440					
BA53-43	=440	1600	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	1000; 1280; 1600
	~660					
BA55-43	=440	1600	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	1000; 1280; 1600
	~660					
BA56-43	=440	1600	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	1000; 1280; 1600
	~660					
BA75-45	=440	2500	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	1575; 2000; 2500
	~660					
BA75-47	=440	4000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	2520; 3200; 4000
	~660					
BA81-41	=440	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	250; 400; 630; 1000
	~660					
BA83-41	=440	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	250; 400; 630; 1000
	~660					
BA85-41	=440	1000	2; 3	Полупроводниковый	Электромагнитный	250; 400; 630; 1000
	~660					

Окончание табл. 7.1

тока		Время выдержки (срабатывания), с			Предельная отключающая способность, кА	Вид привода
Уставка срабатывания						
в зоне перегрузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе 6 I _{ном}	в зоне КЗ		
6	2500; 3200; 4000	—	—	—	35	Ручной, электро- магнитный
10	2500; 3200; 4000; 5000; 6300				20	
					50	
6; 10	2500; 3200; 4000	—	—	—	85	Ручной, электро- магнитный
	2500; 3200; 4000; 5000; 6300				40	
					20	
1,25	2; 3; 5; 7	4; 8; 16	—	0,04	135	
	2; 4; 6				33,5	
				110		
1,25	2; 3; 5; 7	4; 8; 16	0,1; 0,2; 0,3	0,04	55	
			33,5			
	2; 4; 6	0,1; 0,2	100			
1,25	—	4; 8; 16	0,1; 0,2	0,04	55	
					33,5	
					100	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	—	—	160	
	2; 3; 5; 7				47,5	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	0,1; 0,2	—	100	
	2; 3; 5; 7		0,1; 0,2; 0,3		47,5	
1,25	—	4; 8; 16	—	—	100	
					47,5	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	—	—	50	
	2; 3; 5; 7				40	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	—	—	60	
	2; 3; 5; 7				45	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	—	—	100	
	2; 3; 5; 7				45	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	—	—	100	
	2; 3; 5; 7				45	
1,25	2; 4; 6	4; 8; 16	0,1; 0,2	—	100	
	2; 3; 5; 7				0,1; 0,2; 0,3	45

Основные технические характеристики автоматических выключателей приведены в табл. 7.1—7.6.

Таблица 7.2. Технические характеристики автоматических выключателей серии АЗ700 с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями максимального тока

Выключатель			Полупроводниковый расцепитель		Электромагнитный расцепитель
Габарит	Тип	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{ном.р}}, \text{А}$	Пределы регулирования $I_{\text{ном.р}}, \text{А}$	Номинальная уставка тока трогания выключателей, А
Исполнение токоограничивающее с полупроводниковым и электромагнитным расцепителями максимального тока					
1	A3710Б	160	40 80 160	20; 25; 32; 40 40; 50; 63; 80 80; 100; 125; 160	960/1600*
2	A3720Б	250	250	160; 200; 250	1 500/2 500
3	A3730Б	400	250 400	160; 200; 250 250; 320; 400	2 400/4 000
4	A3740Б	630	400 630	250; 320; 400 400; 500; 630	3 800/6 300
Исполнение селективное с полупроводниковыми расцепителями максимального тока (электромагнитного расцепителя нет)					
3	A3730С	400	250 400	160; 200; 250 250; 320; 400	Выключатели А3730С и А3740С выполняются в двух модификациях: с защитой в зоне перегрузки и без этой защиты
4	A3740С	630	400 630	250; 320; 400 400; 500; 630	
Исполнение токоограничивающее с электромагнитными расцепителями максимального тока (полупроводникового расцепителя нет)					
1	A3710Б	160	—	—	600/400; 750/630; 960/1 000; —/1 600
2	A3720Б	250	—	—	960/1 600; 1 200/2 000; 1 500/2 500
3	A3730Б	400	—	—	2 400/2 500; —/3 200; —/4 000
4	A3740Б	630	—	—	3 800/4 000; —/5 000; —/6 300

* Числитель — постоянный ток; знаменатель — переменный ток.

Таблица 7.3. Технические характеристики автоматических выключателей серии АЗ700 с термобиметаллическими и электромагнитными расцепителями максимального тока

Выключатель			Термобиметаллический расцепитель	Электромагнитный расцепитель
Габарит	Тип	$I_{ном}, А$	$I_{ном.р}, А$	Номинальная уставка тока трогания выключателей: постоянный ток/переменный ток, А
Токоограничивающие				
1	АЗ710Б	160	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	600/630*
			32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	960/1 600

Окончание табл. 7.3

Выключатель			Термобиметаллический расцепитель	Электромагнитный расцепитель
Габарит	Тип	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном.р}},$ А	Номинальная уставка тока трогания выключателей: постоянный ток/переменный ток, А
2	A3720B	250	160; 200; 250	1500/2500
3	A3730B	400	250; 320; 400	2400/4000
Нетокоограничивающие				
1	A3710Ф	160	16; 20; 25	600/630
			32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	600/630; 960/1600
2	A3720Ф	250	160; 200; 250	1500/2500
3	A3730Ф	630	250	2400/2500
			320	2400/3200
			400	2400/4000
			500	3800/5000
			630	3800/6300

* Числитель — постоянный ток, А; знаменатель — переменный ток, А.

Примечание. Выключатели серии A3700 применяют в установках постоянного тока до 440 В и переменного тока до 660 В. Габариты двухполюсных и трехполюсных выключателей одинаковые.

Таблица 7.4. Технические характеристики автоматических выключателей серии АВМ

Тип	Номинальный ток, А		Электро- динами- ческая стой- кость, кА	Цепь переменного тока			Цепь постоянно- го тока			Испол- нение по способу уста- новки
	вы- клю- ча- теля	максимальных расцепителей		330 В	500 В	cosφ	220 В	400 В	постоян- ная вре- мени, мс	
				Предельный ток отклю- чения I _{пред} , кА						
АВМ4Н АВМ4С	400	120—300 (УЗ); 150—400 (УХЛ4)	42	20*	10*	0,3	40*	30*	10	Стацио- нарное
АВМ10Н АВМ10С	1000	500; 600; 800; 1000	42	18	10	0,3	40	30	10	Выдвиж- ное
АВМ15Н АВМ15С	1500	1000; 1200; 1400—1600	70	35	20	0,3	45	30	10	Стацио- нарное и выдвиж- ное
АВМ20Н АВМ20С	2000	1200; 1500; 2000	75	35	20	0,3	45	30	10	То же

* При подводе тока от источника напряжения к нижним зажимам выключателя $I_{\text{пред}}$ снижается на 50%.

Примечание. В обозначении типа: АВМ — серия; числа — $I_{\text{ном}} = 4 \div 400$ А; $10 \div 1000$ А; $15 \div 1500$ А; $20 \div 2000$ А; буквы: Н — неселективное, С — селективное исполнение по виду максимально-токовой защиты. Масса выдвижных выключателей с ручным и электродвигательным приводом соответственно: от 47—55 до 55—98 и от 54—62 до 61—102 кг.

Таблица 7.5. Сопротивления автоматических выключателей

$I_{\text{ном}}, \text{A}$	$R_a, \text{МОм}$	$x_a, \text{МОм}$
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,1	0,05

Примечание. Приведенные сопротивления включают в себя сопротивления токовых катушек расцепителей и переходные сопротивления подвижных контактов.

Таблица 7.6. Приближенные значения активных сопротивлений разъемных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток, А	Активное сопротивление, МОм	
	рубильника	разъединителя
50	—	—
70	—	—
100	0,5	—
150	—	—
200	0,4	—
400	0,2	0,2
600	0,15	0,15
1000	0,08	0,08
2000	—	0,02
3000	—	0,02

7.1.2. Автоматические выключатели серии ВА 59 (ОАО «Позитрон»)

Автоматические выключатели серий ВА48, ВА49, ВА59 являются электрическими коммутационными аппаратами, снабженными двумя системами защиты от сверхтока: электротепловой и электромагнитной, с взаимосогласованными характеристиками. Предусмотрено одно-, двух-, трех-, четырех-полюсное исполнение. Автоматические выключатели серии ВА 59 — это современное поколение аппаратов, предназначенных для защиты электри-

ческих цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков). Рекомендованы к применению в вводно-распределительных устройствах для жилых и общественных зданий.

Автоматические выключатели серии ВА 59 выпускаются с защитными характеристиками В, С, D, а автоматические выключатели ВА59-31 — с защитными характеристиками С и D и снабжены индикаторами положения контактов (табл. 7.7).

Автоматические выключатели с защитными характеристиками В применяются для защиты низковольтных электрических сетей административных и жилых зданий.

Автоматические выключатели с защитными характеристиками С применяются для защиты низковольтных электрических сетей административных, жилых зданий и для потребителей с небольшими пусковыми токами.

Автоматические выключатели с защитными характеристиками D применяются для защиты низковольтных электрических сетей административных, жилых зданий и для потребителей с большими пусковыми токами (трансформаторы, электродвигатели).

Таблица 7.7. Технические характеристики выключателей серии ВА59

Параметр	ВА59-29	ВА59-30	ВА59-31
Номинальное напряжение, В	230/400		
Номинальная частота, Гц	50		
Номинальный ток расцепителей, А	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	63, 80, 100	
Номинальный условный ток КЗ, А	4500	6000	10000
Число полюсов	1, 2, 3, 4		
Характеристика отключений (тип)	В, С, D		С, D
Износостойкость, циклов ВО, не менее: электрическая (коммутационная) механическая	6000 20 000	4000 16 000	10 000 25 000
Частота срабатываний, раз в час	240	190	290
Диапазон рабочих температур, °С	-40 ÷ +50		
Климатическое исполнение	УХЛ4		
Степень защиты	IP20		
Максимальное сечение присоединяемого провода, мм ²	25		

7.1.3. Автоматические выключатели серии ВА07

Автоматические выключатели серии ВА07 (международная электротехническая компания ИЭК) — серия многофункциональных аппаратов защиты от сверхтоков на номинальные токи от 80 до 6000 А (табл. 7.8—7.10).

Область применения — электроустановки промышленного и гражданского назначения. В зависимости от условий применения возможно изготовление выключателей, предназначенных для эксплуатации в тропическом, холодном климате, в условиях агрессивной среды и др.

Впервые в мире в автоматических выключателях ВА07 применен принцип двойного разрыва контактов в каждом полюсе.

Уникальная конструкция главных контактов позволяет обеспечить кратковременный выдерживаемый ток (1 с), равным предельной отключающей способности для всех типоразмеров. Полная селективность гарантирует определение любых повреждений системы электроснабжения.

Выключатель ВА07 — один из наименьших аппаратов в мире по глубине, что позволяет сэкономить место в распределительном щите.

Достоинства выключателей ВА07:

- уникальная запатентованная система дугогашения Double Break;
- повышенная электродинамическая стойкость;
- использование электронного расцепителя, обеспечивающего защиту от длительной перегрузки; защиту от короткого замыкания; регулирующую функцию мгновенного отключения.

Таблица 7.8. Габариты автоматических выключателей серии ВА07, мм

Серии	Номинальный ток, А				
	800—2000	1250—2000	2500—3200	1600—3200	4000
Стандартная	354×345×460	—	400×345×460	—	631×375×460
С высокой отключающей способностью	—	354×345×460	—	400×345×460	

7.1.4. Модернизированные автоматические выключатели серий ВА57, D-мах

Модернизированные автоматические выключатели типа ВА57-39 (Дивногорский завод низковольтных автоматов), дополненные электронным расцепителем, адаптером для установки данных выключателей (взамен АЗ790) и комплектом зажимов для заднего присоединения, предназначены для проведения переменного тока в нормальном режиме, защиты от перегрузок и коротких замыканий в электрических сетях с током до 630 А (табл. 7.11).

Электронный расцепитель позволяет производить аварийное отключение сети в диапазоне от 1,5 до $10 I_{ном}$.

Изменяемая характеристика выключения в области перегрузки позволяет обеспечить защиту как распределительных трансформаторов, так и двигателей с различными режимами пуска. Расцепитель собран на современной элементной базе, что значительно увеличивает надежность устройства.

Таблица 7.9. Технические характеристики выключателей серии ВА07 (стандартная серия)

Параметр	ВА07-208	ВА07-212	ВА07-216	ВА07-220	ВА07-325	ВА07-332	ВА07-440
Максимальный номинальный ток, А	800	1250	1600	2000	2500	3200	4000
Номинальный первичный ток датчика электронного расцепителя, А	200, 400, 800	400, 800, 1250	400, 800, 1250, 1600	400, 800, 1250, 1600, 2000	2500	3200	4000
Номинальный ток электронного расцепителя, А	100—200 200—400 400—800	200—400 400—800 630—1250	200—400 400—800 630—1250 800—1600	200—400 400—800 630—1250 800—1600 1000—2000	1000—2500	1600—3200	2000—4000
Номинальное напряжение изоляции, В	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Рабочее напряжение (50/60 Гц), В	690	690	690	690	690	690	690
Номинальная предельная отключающая способность, кА, при: ~690 В ~440 В	50 65	50 65	50 65	50 65	65 85	65 85	75 100
Номинальная включающая способность, кА, при: ~690 В ~440 В	105 143	105 143	105 143	105 143	143 187	143 187	165 220
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, кВ	12	12	12	12	12	12	12
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток, кА: 1 с 3 с	65 50	65 50	65 50	65 50	85 65	85 65	100 85
Время отключения, с	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Время взвода пружины, с, не более	10	10	10	10	10	10	10

Окончание табл. 7.9.

Параметр	BA07-208	BA07-212	BA07-216	BA07-220	BA07-325	BA07-332	BA07-440
Время включения, с	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Общая износостойкость, циклов ВО: с обслуживанием без обслуживания	30000 15000	30000 15000	30000 15000	25000 12000	20000 10000	20000 10000	15000 8000
Коммутационная износостойкость, циклов ВО, при: ~440 В ~690 В	12000 10000	12000 10000	12000 10000	10000 7000	7000 5000	7000 5000	3000 2500
Число полюсов	3	4	3	4	3	4	3
Масса выключателя выдвижного исполнения, кг	73	86	73	86	76	90	125
							139
							176

Таблица 7.10. Технические характеристики выключателей серии BA07 (серия с высокой отключающей способностью)

Параметр	BA07-212M	BA07-216M	BA07-220M	BA07-316M	BA07-320M	BA07-325M	BA07-332M
Максимальный номинальный ток, А	1250	1600	2000	1600	2000	2500	3200
Номинальный первичный ток датчика электронного расцепителя, А	200, 400, 800, 1250	1600	2000	200, 400, 800, 1250, 1600	2000	2500	3200
Номинальный ток электронного расцепителя, А	100—200 200—400 400—800 630—1250	800—1600	1000—2000	100—200 200—400 400—800 630—1250 800—1600	1000—2000	1250—2500	1600—3200
Номинальное напряжение изоляции, В	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Рабочее напряжение (50/60 Гц), В	690	690	690	690	690	690	690

Окончание табл. 7.10

Параметр	BA07-212M	BA07-216M	BA07-220M	BA07-316M	BA07-320M	BA07-325M	BA07-332M
Номинальная предельная отключающая способность, кА, при: ~690 В ~440 В	55 80	55 80	55 80	85 100	85 100	85 100	85 100
Номинальная включающая способность, кА, при: ~690 В ~440 В	121 176	121 176	121 176	187 220	187 220	187 220	187 220
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, кВ	12	12	12	12	12	12	12
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток, кА: 1 с 3 с	80 55	80 55	80 55	100 75	100 75	100 75	100 75
Время отключения, с	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Время взвода пружины, с, не более	10	10	10	10	10	10	10
Время включения, с	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Общая износостойкость циклов ВО: с обслуживанием без обслуживания	30000 15000	30000 15000	30000 15000	25000 12000	20000 10000	20000 10000	15000 8000
Коммутационная износостойкость, циклов ВО, при: ~440 В ~690 В	12000 10000	12000 10000	12000 10000	10000 7000	7000 5000	7000 5000	7000 5000
Число полюсов	3	4	3	4	3	4	3
Масса выключателя подвижного исполнения, кг	79	94	79	105	125	105	125

Таблица 7.11. Технические характеристики выключателей типа ВА57-39-35

Параметр	Значение
Исполнение	ЗР
Номинальное рабочее напряжение (50, 60 Гц), В	660
Номинальный ток выключателя, А	320; 630
Регулируемый номинальный ток выключателя, А, при: 320 А 630 А	160; 200; 225; 250; 285; 320 320; 360; 400; 450; 500; 630
Время срабатывания в зоне токов перегрузки, с	0,5; 1; 2; 4; 8; 12
Уставки по току КЗ, отн. ед.	1,5; 2; 3; 5; 7; 10
Время срабатывания в зоне токов КЗ, с	0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4
Предельная коммутационная способность (~380 В), кА	40

Достоинства выключателей ВА57-39:

- индикация тока;
- возможность встраивания в систему диспетчеризации.

Автоматические выключатели типа ВА57-43 на ток до 1600 А (табл. 7.12), имеющие широкий диапазон номинальных токов, модульную конструкцию, многофункциональный регулируемый электронный расцепитель, по назначению аналогичны выключателю ВА57-39.

Функции электронного расцепителя:

- защита от перегрузки, срабатывающая по действующему значению тока с функцией тепловой памяти;
- селективная и мгновенная защита от токов КЗ;
- контроль, индикация тока по фазам и сигнализация перегрузки;
- тестирование.

Электронный расцепитель состоит из независимого, минимального и нулевого органов напряжения расцепителей.

Таблица 7.12. Технические характеристики выключателей типа ВА57-43

Параметр	Значение
Исполнение	ЗР
Номинальное рабочее напряжение, (~50, 60 Гц), В	660
Номинальный ток выключателя, А	1600
Регулируемый номинальный ток выключателя, А, при: 630 А 1000 А 1600 А	250; 285; 320; 400; 450; 500; 565; 630 400; 500; 630; 725; 800; 875; 900; 1000 630; 725; 800; 875; 900; 1000; 1250; 1600

Окончание табл. 7.12

Параметр	Значение
Время срабатывания в зоне токов перегрузки, с	2; 4; 8; 12; 16; 20
Уставки срабатывания в зоне токов КЗ с мгновенным срабатыванием $I/I_{\text{ном}}$	2; 3; 5; 7; 8; 9; 10
Уставки по току КЗ $I_K/I_{\text{ном}}$	1,5; 2; 3; 5; 7; 8; 9; 10
Время срабатывания в зоне токов КЗ, с	0,05; 0,1; 0,25; 0,4
Предельная коммутационная способность (~380 В), кА	65

Достоинства выключателей типа ВА57-43:

- возможность интеграции в систему диспетчеризации;
- защита распределительных трансформаторов, двигателей с легким, средним, тяжелым пуском.

Автоматические выключатели D-max 1600 на ток 1600 А предназначены для проведения переменного тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях и перегрузках в электрических сетях до 1600 А (табл. 7.13).

Выключатель имеет:

- широкий диапазон номинальных токов;
- модульную конструкцию;
- многофункциональный регулируемый электронный расцепитель.

Функции электронного расцепителя аналогичны функциям расцепителя выключателя ВА57-43.

Таблица 7.13. Технические характеристики выключателей D-max 1600

Параметр	Значение
Исполнение	ЗР
Номинальное рабочее напряжение (50, 60 Гц), В	660
Номинальный ток выключателя, А	1 600
Регулируемый номинальный ток выключателя, А, при 630 А 1000 А 1600 А	250; 285; 320; 400; 450; 500; 565; 630 400; 500; 630; 725; 800; 875; 900; 1000 630; 725; 800; 875; 900; 1000; 1250; 1600
Время срабатывания в зоне токов перегрузки, с	2; 4; 8; 12; 16; 20
Уставки срабатывания в зоне токов КЗ с мгновенным срабатыванием $I/I_{\text{ном}}$	2; 3; 5; 7; 8; 10; 12
Уставки по току КЗ, $I_K/I_{\text{ном}}$	1,5; 2; 3; 5; 7; 8; 9; 10
Время срабатывания в зоне токов КЗ, с	0,05; 0,1; 0,25; 0,4

Окончание табл. 7.13

Параметр	Значение
Предельная коммутационная способность (~380 В), кА	65

Достоинства выключателей D-max 1600 те же, что и выключателей ВА57-43.

7.2. Контакторы и пускатели

7.2.1. Общие технические сведения по контакторам и пускателям

Контактор является коммутационным аппаратом, предназначенным для частых коммутаций электрических цепей при номинальных режимах работы.

Контакторы переменного тока в основном применяются для управления асинхронными двигателями, работающими в разных режимах, включения трехфазных трансформаторов и т. д.

Контактор в комплекте с тепловым реле образует коммутационный аппарат управления — магнитный пускатель. Магнитные пускатели применяются для дистанционного управления трехфазными АД с короткозамкнутым ротором. Пускатели осуществляют пуск и останов электродвигателей (неревверсивные пускатели); пуск, останов и реверс электродвигателей (реверсивные пускатели); защиту управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности. Выпускаемые нашей промышленностью контакторы и пускатели имеют определенную область применения. Так, например, для включения и отключения АД с короткозамкнутым ротором применяют контакторы серии КМ13, КТ12Р, пускатели ПМЕ, ПМА, ПМЛ и др.

Кроме того, контакторы и пускатели имеют определенные климатические исполнения и, следовательно, могут надежно работать в условиях, соответствующих этим исполнениям.

Основные технические характеристики контакторов и пускателей приведены в табл. 7.14—7.20.

В табл. 7.21 приведены сведения о заменах электромагнитных пускателей.

Таблица 7.14. Основные технические характеристики контакторов серий КТ, КМ, КНЕ

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	Число контактов		$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Коммутационная способность, А			
		замыкающих	размыкающих		включаемый ток		отключаемый ток	
					~380 В	220 В	~380 В	220 В
КТ6000/01—КТ6000/04	=220; ~380	3; 6; 9; 12	3; 6; 9; 12	16	100	25	16	1
КТП6000/01—КТ6000/04								
КТ6000/21—КТ6000/24	=220; ~380	1; 4; 7; 10	1; 4; 7; 10	16	100	25	16	1
КТ6600	~660	—	—	63; 100; 160	—	—	—	—
КТ6600/2	~380	2; 3	—	40; 100; 160	160; 250; 630; 1 000	—	—	—
КТ6600/3	=220	1; 2	1	40; 100; 160	—	160; 250; 630	—	40
КМ18-36-5101	~380	1 (главные) 2 (вспомогательные)	— 2 (вспомогательные)	315	500	—	500	—
КМ24-21	=50	1; 2	—	10	—	20	—	20
КМ24-33	=50	1	—	160	—	320	—	320
КМ24-35	=50	1	—	250	—	500	—	500
КМ20-37	~380	—	—	400	300	—	2400	—
	~660			250				
КНЕ-230	—	3	—	63	—	—	—	—
КНЕ-220	—	2	—	100				
КНЕ-320	—	2	—	250				

Таблица 7.15. Технические характеристики контакторов серий КТМ и КГ

Параметр	КТМ15Р	КТ12	КТ12Р37М	КТМ15
Номинальное напряжение, кВ	1,14			
Номинальный ток, А	250	400		250
Частота, Гц	50			
Ток включения, А	500	600		500
Ток отключения, А	300			
Напряжение управления, В	36	220	36	220

Окончание табл. 7.15

Параметр	КТМ15Р	КТ12	КТ12Р37М	КТМ15
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов ВО, в категории:				
АС-3	1 600	2 000	1 600	1 600
АС-4	300	630	300	300
Общая износостойкость, тыс. циклов ВО	5 000			

Таблица 7.16. Номинальные напряжения и ток электромагнитных контакторов серий КТ и КТП (600, 700)

Серия	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А
КТ6000Б	380*	80—630
КТ6000А	660	1 000
КТП6000Б	380*	80—630
КТ7000Б	380*	80—630
КТ6000БС	380*	80—630
КТ6000АС	660	1 000
КТП6000БС	380	80—630
КТ7000БС	380	80—630

* Контактторы допускают работу в цепях с $U_{\text{ном}} = 500$ и 660 В.

Примечания: 1. В обозначении серии: КТ — контактор переменного тока с управлением переменным током; КТП — то же с управлением постоянным током; 6000; 7000 — условный номер серии; А — повышенная коммутационная способность при 660 В; Б — модернизированные контакты. Условное обозначение главных контактов: С — контакты с металлокерамическими накладками на основе серебра.

2. Число полюсов: 2; 3; 4; 5.

3. Предельные коммутируемые токи: включения — $6I_{\text{ном}}$, отключения — $I_{\text{ном}}$ (при $I_{\text{ном}}$ до 100 А) и $6I_{\text{ном}}$ (при $I_{\text{ном}} > 100$ А).

4. Климатическое исполнение: У и ХЛ, категория размещения — 3, степень защиты — IP00.

5. Масса в зависимости от типа 6 — 75 кг.

Широкое применение также получили электромагнитные контакторы серий КТ6600, КТ64, КТП64, КТ65, КТП65 и вакуумные контакторы серий КМ13, КТ12Р.

Контакторы электромагнитные серии КТ6600 $U_{\text{ном}}$, В 660 $I_{\text{ном}}$, А 63; 100; 160 $I_{\text{вкл}}$, кА:

380 В 25

660 В 3

 $I_{\text{откл}}$, кА:

380 В 2,5

660 В 0,3

Масса, кг 6—7,6

$U_{\text{ном}}, \text{ В} \dots\dots\dots$	380 и 660
$I_{\text{ном}}, \text{ А} \dots\dots\dots$	100; 160; 250; 400 и 630
Токоограничивающая способность, кА $\dots\dots\dots$	7,5; 8; 9 и 13
Масса, кг. $\dots\dots\dots$	13,2—41,5

$U_{\text{ном}}$, В.....	380; 660 и до 1000
$I_{\text{ном}}$, А.....	250; 400; 630
Предельная коммутационная способность:	
$I_{\text{вкл}}$	$10I_{\text{ном}}$
$I_{\text{откл}}$	$8I_{\text{ном}}$
Масса, кг.....	18—32,5

$U_{\text{НОМ}}$, В.....	660	
$I_{\text{НОМ}}$, А.....	160	400
$I_{\text{ВКЛ}}$, А.....	2500; 4600	4800; 8800
Габариты, мм.....	300×200×290	325×210×325
Масса, кг.....	18,5	32

Таблица 7.17. Технические характеристики высоковольтных контакторов

Тип	$U_{\text{ном}},$ кВ	$U_{\text{max}},$ кВ	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном.откл}},$ А	Ток электродина- мической стой- кости, кА		Ток тер- мической стойкости четырёх- секунд- ный, кА	Полное время отклю- чения, с
					ампли- тудное значе- ние	перио- дическая состав- ляющая		
БЕТ-6-4/400УЗ	6	—	400	4	20	5	5/4	0,12
KB/TEL 0,66-6,3/630УХЛ2	0,66	1,1	630	6,3	16	6,3	6,3/3	0,03
KB-1М6-40-2,3-У2	6	7,2	40	2,3	5,5	2,3	2,3/4	—
KB-1М6-100-3,9-У2			100	3,9	7,5	3,9	3,9/4	
KB-1 М6-160-3,9-У2			160	9	3,9	3,9/4		
KB-1М6-250-3,9-У2			250					
KB-1М6-400-3,9-У2			400					
KB-2М-6-40-0,7-У2			40	0,7	4	2	2/4	
KB-2М-6-100-1,0-У2			100	1	5,5	2	2/4	
KB-2М-6-160-1,5-У2			160	1,5	6	2	2/4	
KB-2М-6-250-3,9-У2			250	3,9	8	3,9	3,9/4	
KB-2М-6-400-3,9-У2			400	3,9	8	3,9	3,9/4	

Таблица 7.18. Основные технические характеристики пускателей

Серия	Техническое исполнение	Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении, В						I _{ном} , А
		36	127	220	380	500	600	
ПНВ, ПНВС	Магнитный, нереверсивный	—	1,7	2,8	4,5	4,5	—	12,5
ПНВ-Т, ПНВС-Т		—	0,6	0,6	0,6	—	—	5
ПА, ПА-Т	Магнитный, реверсивный и нереверсивный	1,5	4	1	17	17	—	30; 40; 26
		2,2	1	17	28	28	—	56; 63; 44
		4	17	30	55	55	—	106; 110; 78
		5	22	45	75	75	—	140; 146; 105
		0,27	1,1	2,2	4	4	—	6; 10
		0,8	3	5,5	10	10	—	14; 23; 25
		1,5	4	10	17	17	—	26; 36; 40
		2,2	10	17	30	22	—	35; 60; 63
ПМЕ111	ПМА	4	17	30	55	40	—	61; 106; 110
ПАЕ		5	22	40	75	55	—	80; 140; 146
ПМА		—	—	0,8	1,5	1,5	—	4
		—	—	2,2	4	4	—	10
		—	—	5,5	10	10	10	25
		—	—	10	17	22	22	40
		—	—	17	30	40	40	63
		—	—	30	55	55	55	100
—	—	40	75	100	100	160		
ПВИ	Магнитный, взрывозащищенный, нереверсивный	—	—	—	4,5	—	—	25; 63; 125
		—	—	—	17	—	—	250
ПТ	Тиристорный, реверсивный и нереверсивный	—	—	—	4,5	—	—	16
		—	—	—	17	—	—	40
ПТУ	Тиристорный, нереверсивный с динамическим торможением, реверсивный с динамическим торможением	—	—	34	60	—	—	63
		—	—	38	65	—	—	100
		—	—	60	105	—	—	160
		—	—	95	164	—	—	250
		—	—	—	—	—	—	400

Таблица 7.19. Техническое исполнение пускателей

Тип	Техническое исполнение	Число, назначение главных контактов	Число вспомогательных контактов	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$
ПМЕ-000М	Нереверсивный	3з	1з; 1з + 2р; 1з + 4р	~380	4; 6,3; 10
	Реверсивный	6з	2з + 4р(8р); 2з + 8р		
ПМА-0000	Нереверсивный; реверсивный	С кнопками или без кнопок управления	1з; 3з + 2р; 1з + 4р; 5з; 2р + 4з	~380	2,5
ПМА			2з + 2р; 4з + 2р; 2з	~600	1,2
				~380	40; 63; 80; 100; 160
ПМЛ			1з; 1з + 1р; 2з + 2р; 3з + 3р; 3з + 1р; 5з + 1р	~600	25; 40; 50; 63; 100
				~380	10; 25; 40; 63; 80; 125; 200
ПМ12*			2з + 2р; 4з + 4р и др.	~600	6; 16; 25; 40; 50; 60; 120
				~380	100—800
ПМ14-10	—	—	—	~220	47
ПМ14-16				~220	66
ПБН	Бесконтактный, нереверсивный	—	—	~380	4; 10; 25; 63
ПБР	Бесконтактный, реверсивный	—	—	~400	100; 160
ПТ	Тиристорный	—	—	~380	6,3; 10; 25; 40; 63; 160; 400

* С 2010 г. некоторые типы пускателей ПМ12 сняты с производства.

Таблица 7.20. Сведения о заменах электромагнитных пускателей

Тип	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Число тепловых реле × их токи, А	Примечания
ПМ 12-010	10	~600	0,25×10	Заменяют ПМЛ-1000, ПМЕ-100, ПМА-0000, ПМЕ-000, П-6
ПМ 12-025	25		5×25	Заменяют ПМЛ-2000, ПМЕ-200
ПМ 12-040	40		10×40	Заменяют ПМЛ-3000, ПМА-3000
ПМ12-0,63	63		32×63	Заменяют ПМЛ-4000, ПМА-4
ПМЕ-200	10		5×25	Исполнение: ПМЕ-211, ПМЕ-221, ПМЕ-213 (все без тепловых реле); ПМЕ-212, ПМЕ-214, ПМЕ-222 (все с тепловыми реле)
ПМА-3000	40	~380	10×40	Исполнение: ПМА-3100, ПМА-3110, ПМА-3300 (все без тепловых реле); ПМА-3200, ПМА-3400, ПМА-3210 (все с тепловыми реле)

Таблица 7.21. Технические характеристики трехфазных тиристорных пускателей

Параметр	ПТ-16-380-У5; ПТ-16-380Р-У5	ПТ-40-380-У5; ПТ-40-380Р-У5	ПТК-100-380- БПК-1000	ПТУ-63-380
	Назначение			
	включение и отключение асин- хронных электро- родвигателей	включение, отклю- чение и реверс асинхронных элект- родвигателей	коммутация и защиты от перегрузок, КЗ и обрыва фаз	коммутация и защиты от КЗ и пере- грузок
Номинальное напря- жение, В	380	380	380	380
Номинальный ток, А	16	40	100	63
Ток, А: включения отключения	100—130 16—25	200—360 40—63	— —	— —
Стойкость при сквоз- ных токах, А: термическая (при 0,1 с) электродинамиче- ская	400 560	900 1650	— —	— —
Ток утечки, мА	20	20	20	20
$R_{из}$ в холодном состоянии, МОм	50	50	—	—
Коммутационная способность, А	400	900	1000	1700

7.2.2. Контакторы электромагнитные серий КМ, КНЕУ, КНИ

Контакторы электромагнитные серии КМ (ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод») предназначены для работы в силовых электрических цепях схем управления электродвигателями электропогрузчиков, а также в схемах высоковольтных выключателей для коммутации цепи оперативного включения привода (контакторы КМ5100В) (табл. 7.22).

Таблица 7.22. Технические характеристики контакторов серии КМ

Параметр	Значение
Номинальный ток контактов вспомогательной цепи, А: для КМ5103 для остальных	10 2,5
Номинальное напряжение контактов вспомогательной цепи, В: для КМ5103 для остальных	40 80
Допустимая частота срабатываний, включений в час, не более	300
Общая износостойкость контакторов, циклов ВО, не менее: для КМ5103 для остальных	25 000 2 500 000
Климатическое исполнение	У2, УХЛ2, Т2

Контакторы полярны, все исполнения имеют постоянные магниты. Режим работы — повторно-кратковременный. Для контактора КМ5100В режим работы — кратковременный, длительность пребывания катушки под током — не более 15 с.

Контакторы электромагнитные серий КНЕ У и КНИ (табл. 7.23).

Контакторы КНЕ У относятся к одностабильным электромагнитным аппаратам с цепями управления постоянного тока с самовозвратом; контакторы КНИ — к электромагнитным поляризованным двустабильным коммутационным аппаратам, включение и отключение которых осуществляется подачей импульса напряжения прямоугольной формы длительностью не менее 0,3 с.

Контакторы предназначены для коммутации электрических цепей постоянного напряжения до 132 В и переменного напряжения до 418 В частотой от 50 до 1000 Гц и могут применяться в ответственной аппаратуре как мобильных, так и стационарных объектов: в наземной технике, судостроении, в авиации и космической аппаратуре, на АЭС и т. д.

Таблица 7.23. Технические характеристики контакторов серий КНЕ У и КНИ

Тип	Число контактов		Номинальный ток контактов, А		Напряжение цепи управления, В	Масса, кг
	главных, замыкающих	вспомогательных, переключающих	главных	вспомогательных		
КНЕ 030У	3	2	16	5	12; 24; 27	0,14
КНЕ 020У	2	2	25			
КНИ 030	3	1	16			
КНИ 020	2	1	25			
КНЕ 130У	3	2	25		12; 24; 27; 110; 220	0,22
КНЕ 120У	2	2	40			
КНИ 130	3	1	25		12; 24; 27	0,22
КНИ 120	2	1	40			
КНЕ 230У	3	2	63			0,36
КНИ 230	3	1	63			
КНЕ 220У	2	2	100			
КНИ 220	2	1	100			

Дополнительные технические характеристики контакторов серий КНЕ-У и КНИ приведены ниже:

Износостойкость контакторов, циклов ВО:

общая 100 000
 коммутационная $5-10^5$ (в зависимости от режима коммутации)

Падение напряжения в цепи контактов при токах от 0,5 А до номинального, В, не более	0,4
Частота включений, 1/ч, не более	1200
Время срабатывания контакторов КНЕ-У, мс	10—40
Время возврата, мс	1—25
Время срабатывания и возврата контакторов КНИ, мс, не более	50
Степень защиты:	
контакторов	IP40
выводов	IP00
Гарантийный срок эксплуатации, лет	20

Контакторы могут эксплуатироваться в широком диапазоне внешних воздействий, имеют высокую надежность.

7.2.3. Контакторы и пускатели электромагнитные серий КЭ, ПМ12К, ПМ12-125, ПМЕ-200, ПМА-3000 (ОАО «Кашинский завод электроаппаратуры»)

Контакторы электромагнитные серии КЭ12 (табл. 7.24—7.27) предназначены для применения в качестве комплектующих изделий в схемах управления электроприводами при напряжении до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц, главным образом для применения в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, останова и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Для подавления перенапряжений, возникающих на катушках контакторов, используются ограничители перенапряжений (ОПН). Контакторы, комплектуемые ОПН, пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники.

Виды климатического исполнения: УХЛ4, ТЗ. Контакторы и ОПН климатического исполнения УХЛ4 пригодны для применения в условиях климатического исполнения УЗ.

Номинальное напряжение по изоляции — 660 В. Номинальный ток контактов вспомогательной цепи — 10 А. Контакты вспомогательной цепи рассчитаны на номинальное напряжение до 660 В переменного тока и до 440 В постоянного тока.

Номинальное напряжение включающих катушек:

24; 36; 40; 42; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500; 660 В (50 Гц);

24; 36; 48; 110; 115; 220; 230; 380; 415; 440 В (60 Гц).

Номинальные рабочие токи контакторов категории применения АС-4 должны быть не менее 30% номинальных рабочих токов в категории применения АС-3.

Таблица 7.24. Токи контактов главной цепи контакторов серии КЭ12 (IP00, IP20) в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы при частоте 50, 60 Гц

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочий ток, А, при напряжении		
	до 380 В	415, 440, 500 В	660 В
160	160	160	80
180	180	180	100

Примечания. 1. Исполнение контакторов основной категории применения АС-3.

2. Температура окружающей среды 40 °С.

Таблица 7.25. Коммутационная и механическая износостойкость контакторов в категории применения АС-3

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочий ток в категории применения АС-1, А	Общая износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час
		А	Б	В		А	Б	В	
160	180	10	5	5	2400	1	0,5	0,2	300
180	210								

Примечание. Данные приведены для напряжения 380 В.

Таблица 7.26. Коммутационная износостойкость контакторов в категории применения АС-4

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочие токи, А, при напряжении			Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час при напряжении 380—660 В
	380 В	415 В 440 В 500 В	660 В	А	Б	В	
160	48	48	32	0,20	0,1	0,05	300
180	54	48	40				

Таблица 7.27. Время срабатывания контакторов при номинальном напряжении

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении			Мощность катушки, В·А, не более		Время срабатывания, мс
	380 В	500 В	660 В	включения	удержания	
160	75	90	100	515	55	25 ± 10
180	90	110	110			

Контакторы и пускатели электромагнитные серии ПМ12К (табл. 7.28—7.31) предназначены для применения в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, останова и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до 660 В частотой 50 и 60 Гц.

Для подавления перенапряжений, возникающих на катушках управления контакторов и пускателей, используются ОПН, которые включаются параллельно катушкам контакторов и пускателей и устанавливаются непосредственно на аппарате. Контакторы и пускатели, комплектуемые ограничителями перенапряжений, пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники.

Пускатели осуществляют защиту управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Контакторы и пускатели изготавливаются в исполнении по износостойкости классов А, Б и В. Категория основного применения контакторов и пускателей: контактов главной цепи — АС-1, АС-3, АС-4; контактов вспомогательной цепи — АС-15, DC-13. Номинальное напряжение по изоляции — 660 В. Номинальный ток контактов вспомогательной цепи контакторов, пускателей контакторов, пускателей и блоков контактных — 10 А. Контакты вспомогательной цепи рассчитаны на номинальное напряжение до 660 В переменного тока и 220 В постоянного тока.

Номинальное напряжение включающей катушки:

- 24; 36; 40; 42; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500; 660 В (50 Гц);
- 24; 36; 48; 110; 115; 220; 230; 380; 415; 440 В (60 Гц);
- 24; 48; 50; 60; 110; 125; 220 В (постоянный ток).

Значения мощностей, потребляемых включающими катушками контакторов и пускателей при номинальном напряжении:

- с управлением на переменном токе: на включение — не более (68 ± 8) В·А; на удержание — не более $(12 \pm 2,4)$ В·А;
- с управлением на постоянном токе: на включение и удержание — не более (10 ± 2) Вт.

Время срабатывания контакторов и пускателей при номинальном напряжении включающей катушки: с управлением на переменном токе — (20 ± 8) мс; с управлением на постоянном токе — (45 ± 10) мс. Степень защиты — IP20.

Таблица 7.28. Токи главной цепи контакторов и пускателей серии ПМ12К категории применения АС-3 главной цепи контактора и пускателя в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы при частоте 50, 60 Гц

$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Рабочий ток контактов, А, при напряжении		
	до 380 В	415, 440, 500 В	660 В
12	12	12	6
16	16	16	9

Примечание. Данные приведены для температуры окружающей среды 40 °С.

Таблица 7.29. Механическая и коммутационная износостойкость контакторов и пускателей серии ПМ12К в категории основного применения АС-3

$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Общая износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час
	А	Б	В		А	Б	В	
12	16	10	8	3600	2	1	0,3	1200
16								

Условная работоспособность контакторов и пускателей для категории АС-4 составляет 6000 циклов ВО.

Таблица 7.30. Токи контактов главной цепи неревверсивных контакторов и пускателей серии ПМ12К и коммутационная износостойкость их в категории применения АС-4

$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Рабочий ток, А, при напряжении			Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час при напряжении	
	220 В	380 В	660 В	А	Б	В	до 380 В	660 В
12	8	4,8	3	0,4	0,2	0,1	1200	600
16	10	6,4	4					

Таблица 7.31. Мощности управляемых двигателей с синхронной частотой вращения 1500 мин^{-1}

$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	Мощность управляемого электродвигателя, кВт
12	220	3
	380	5,5
	660	7,5
16	220	4
	380	7,5
	660	10

Пускатели электромагнитные типа ПМ12-125 (табл. 7.32—7.35) имеют те же назначение и описание, что и пускатели серии ПМ12К.

При наличии тепловых реле РТТ5-125 пускатель осуществляет защиту управляемых электродвигателей от перегрузки недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Климатическое исполнение и категория размещения пускателей: УХЛ4, ТЗ.

Пускатели изготавливаются в исполнении по износостойкости классов А, Б и В степеней защиты IP00, IP20.

Род тока главной цепи и цепи управления (включающих катушек) — переменный.

Номинальное напряжение по изоляции — 660 В. Номинальный ток контактов вспомогательной цепи — 10 А. Контакты вспомогательной цепи рассчитаны на номинальное напряжение до 660 В переменного тока.

Номинальное напряжение втягивающей катушки:

- 24; 36; 40; 42; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500; 660 В (50 Гц);

- 24; 36; 48; 110; 115; 220; 230; 380; 415; 440 В (60 Гц).

Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания применяемых реле типа РТТ5-125, А: 46—63; 58—80; 74—100; 93—125 (110).

Таблица 7.32. Токи контактов главной цепи пускателей серии ПМ12-125 в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы при частоте 50, 60 Гц

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочий ток контактов, А, при напряжении		
	до 380 В	415, 440, 500 В	660 В
125	150	125	80

Примечание. Данные приведены для температуры окружающей среды 40 °С для открытого и защищенного исполнений пускателей в категории применения АС-3.

Таблица 7.33. Механическая и коммутационная износостойкость пускателей серии ПМ12-125

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочий ток, А	Общая износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час
		А	Б	В		А	Б	В	
125	150	10	5	5	2400	1,5	0,75	0,3	600

Примечание. 1. Данные приведены для категории применения АС-3, напряжения 380 В.
2. Рабочий ток приведен для категории применения АС-1.

Таблица 7.34. Токи и коммутационная износостойкость пускателей в категории применения АС-4

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Рабочий ток, А, при напряжении			Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час при напряжении 360—660 В
	380 В	415 В 440 В 500 В	660 В	А	Б	В	
125	37,5	37,5	32	0,2	0,1	0,05	300

Таблица 7.35. Время срабатывания пускателей серии ПМ12-125 при номинальном напряжении

$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении			Мощность катушки, В·А, не более		Время срабатывания, мс
	380 В	500 В	660 В	включение	удержание	
125	55	75	100	360	45	23 ± 10

Пускатели электромагнитные типа ПМЕ-200 (табл. 7.36—7.38) имеют то же назначение и описание, что и пускатели ПМ12К.

При наличии тепловых реле РТТ-141 пускатель осуществляет защиту управляемых электродвигателей от перегрузки недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Климатическое исполнение и категория размещения пускателей: УХЛ4, УЗ — для поставок внутри страны и на экспорт в страны с умеренным климатом; ТЗ, 04 — для поставок на экспорт в страны с тропическим климатом.

Номинальное напряжение главной цепи — 380 В, номинальное напряжение по изоляции — 660 В. Номинальный ток контактов вспомогательной цепи — 6,3 А. Номинальные рабочие напряжения вспомогательных контактов: при переменном токе частоты 50 и 60 Гц — от 24 до 660 В, при постоянном токе — от 24 до 220 В.

Номинальное напряжение втягивающей катушки:

- 24; 36; 40; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500; 660 В (50 Гц);

- 36; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500 В (60 Гц).

Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания реле типа РТТ-141, А: 4,25—5,75; 5,35—7,23; 6,8—9,2; 8,5—11,5; 10,6—14,3; 13,6—18,4; 17—23; 21,3—25.

Таблица 7.36. Токи главной цепи пускателей

Исполнение		$I_{ном}$, А, для категории применения АС-1	$I_{ном}$, А, для категории применения АС-3 при напряжении	
по степени защиты	по наличию теплового реле		до 380 В	свыше 380 до 660 В
IP00	Без реле	32	25	14
	С реле	25	25	
IP30	С реле и без него	23	23	

Таблица 7.37. Механическая и коммутационная износостойкость пускателей в категориях применения АС-3 и АС-4

Общая износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО (категория АС-3), для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО (категория АС-4), для класса			Частота включений в час
А	Б	В		А	Б	В		А	Б	В	
16	16	5	3600	3,0	1,0	0,3	1200	0,4	0,1	0,04	600

Таблица 7.38. Время срабатывания пускателей при номинальном напряжении

Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт	Мощность катушки, В·А, не более		Время срабатывания, мс
	включение	удержание	
	200	20	
11			10—25

Пускатели электромагнитные типа ПМА-3000 (табл. 7.39–7.41) имеют то же назначение и описание, что и пускатели типа ПМ12К.

Пускатели ПМА-3200, ПМА-3400, ПМА-3210 комплектуются электротепловыми токовыми реле типа РТТ-141.

Диапазоны регулирования номинального тока несрабатывания реле для пускателей ПМА-3200, ПМА-3400, ПМА-3210, А: 3,4—3,6; 4,25—5,75; 5,35—7,23; 6,8—9,2; 8,5—11,5; 10,6—14,3; 13,6—18,4; 17—23; 21,2—28,7; 28—40. Рабочие токи в категории применения АС-4: 16 А при напряжении 380 В, 10 А при напряжении 660 В.

Таблица 7.39. Токи главной цепи пускателей в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы

Исполнение по степени защиты	$I_{\text{ном}}$, А	Рабочий ток контактов, А, при напряжении	
		до 380 В	свыше 380 до 660 В
IP00	40	40	16
IP40		36	

Таблица 7.40. Общая и коммутационная износостойкость пускателей в категориях применения AC-3 и AC-4

Общая износостойкость, млн циклов ВО, для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО (категория AC-3), для класса			Частота включений в час	Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО (категория AC-4), для класса			Частота включений в час, при напряжении	
А	Б	В		А	Б	В		А	Б	В	380 В	660 В
16	16	5	3 600	3,0	1,0	0,3	1200	0,35	0,16	0,08	600	300

Примечание. Механическая износостойкость реверсивных пускателей — не менее 5 млн циклов ВО.

Таблица 7.41. Время срабатывания пускателей при номинальном напряжении

Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт	Мощность катушки, В·А, не более		Время срабатывания, мс
	включение	удержание	
18,5	200	25	20—30

7.2.4. Контакторы вакуумные серий KB2, KB1

Контакторы вакуумные серии KB2 (ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод») предназначены для использования в пускателях, станциях управления для коммутации токов включения и отключения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и других приемников электроэнергии в системах дистанционного управления электроприводами (табл. 7.42).

Основные области применения — горнорудная, металлургическая, нефтегазовая отрасли, городской и железнодорожный транспорт и другие отрасли промышленности с тяжелыми режимами работы электроприводов.

Питание катушек осуществляется через электронный блок включения, благодаря чему уменьшена потребляемая мощность катушек в режиме удержания.

Реверсивные контакторы имеют механическую блокировку, исключающую одновременное замыкание контактов обоих контакторов.

Условия эксплуатации: климатическое исполнение — В3, температура окружающего воздуха — от -60 до $+60$ °С, высота над уровнем моря — до 1000 м, механические воздействия М7, М18, М25.

Таблица 7.42. Технические характеристики контакторов серии KB2

Параметр	KB2-160	KB2-250	KB2-400	KB2-630
Номинальное напряжение переменного тока частоты 50 (60) Гц, В, не более	1440			
Номинальный ток главной цепи, А	160	250	400	630
Время включения/отключения, с, не более	0,1/0,1			
Коммутационная износостойкость при 600 включениях-отключениях в час, циклов ВО, не менее: АС-3 при ПВ 40% АС-4 при ПВ 15%	1 500 000 300 000			
Общая износостойкость, циклов ВО, не менее	3 000 000			
Напряжение цепи управления, В	50, 110 и 220 (постоянный); 36, 110, 220, 380 (переменный)			
Потребляемая мощность при включении/удержании, В·А	660/60			
Номинальное напряжение вспомогательных контактов, А, не более	660			
Номинальный длительный ток вспомогательных контактов, А	10			
Число вспомогательных контактов (другие сочетания — по согласованию)	2з + 2р, 4з + 4р	2з + 2р, 4з + 4р	2з + 2р, 4з + 4р	3з + 3р
Масса, кг, не более	6,4	7,4	8,4	17,5

Преимущества контакторов серии KB2:

- отсутствие открытой дуги и необходимости обслуживания контактов;
- возможность использования в тяжелых температурных условиях и агрессивных средах;
- бесшумность работы;
- уменьшенные габариты и масса.

Контакты вакуумные серии KB1 (табл. 7.43) имеют то же назначение, что и контакторы серии KB2. Основные области применения — металлургическая, нефтегазовая, горнорудная, городской и железнодорожный транспорт и другие отрасли промышленности с тяжелыми режимами работы электроприводов.

Питание катушек от сети переменного тока осуществляется через выпрямительный блок или блок форсировки. Питание катушек от сети постоянного тока осуществляется непосредственно от сети с последующим включением балластного сопротивления в цепь втягивающих катушек при помощи контакта промежуточного реле, катушка которого получает питание от этой же сети постоянного тока. Питание катушек контакторов специального назначения осуществляется от сети переменного тока напряжением 36 В через выпрямительный блок; при этом после срабатывания контактора на-

пряжение на катушках снижается до 12 В, что обеспечивается трансформатором потребителя.

Ревверсивные контакторы имеют механическую блокировку, исключающую одновременное замыкание контактов обоих контакторов.

Таблица 7.43. Технические характеристики контакторов серии KB1

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	160, 250, 400, 630
Номинальное напряжение, В, не более	1140
Род тока	Переменный частотой 50 (60) Гц
Номинальное напряжение включающих катушек (цепи управления), В: постоянного тока переменного тока	12, 24, 36, 48 (50), 75, 110, 220 12, 36, 110, 127, 220, 380
Число и исполнение вспомогательных контактов	2з + 2р, 3з + 3р, 4з + 4р, до 3з + 5р
Номинальный длительный ток вспомогательных контактов, А	10
Номинальное напряжение контактов вспомогательной цепи, В: постоянного тока переменного тока	24—220 110—660
Коммутационная износостойкость главных контактов в режиме АС-3 при $I_{\text{ном.р.аб}} = I_{\text{ном}}$ при 600 включений-отключений в час и ПВ 40%, циклов ВО	1 500 000
Общая износостойкость, циклов ВО	3 000 000
Степень защиты	IP00
Режим работы	Продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный, кратковременный
Присоединение внешних проводников	Переднее, допускается и заднее
Климатическое исполнение	У2, В3, У5, Т5

7.2.5. Контакторы вакуумные серии KB1,14 (ФГУП ПО «Север»)

Контакторы вакуумные серии KB1,14 предназначены для коммутации цепей переменного тока с номинальным напряжением до 1440 В (табл. 7.44). Могут быть использованы в станциях управления для коммутации токов включения и отключения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и других приемников электроэнергии, в системах дистанционного управления электроприводами в станциях управления погружными насосами нефтепромыслов, в цехах заготовки твердого топлива ТЭЦ, на угольных комбинатах, в схемах управления эскалаторами метропо-

литенов, на электровозах в схемах охлаждения машины и других отраслях промышленности с тяжелыми режимами работы электроприводов, а также в условиях низких температур.

Стандартные напряжения питания катушек управления: 36, ~380 В, $\cong 220$ В, другие напряжения — по заказу. Диапазон рабочих температур — $-45 \div +55$ °С.

Таблица 7.44. Технические характеристики контакторов серии КВ1,14

Обозначение	$I_{\text{ном}}$, А	Отключающий ток (действующее значение), А, не более	Ток включения в течение не более 500 мс, А	Ток потребления в режиме удержания, А	Число вспомогательных контактов
КВ1,14-1,6/160	160	3120/2375*	1,77/1,03	0,22/0,125	2з, 2р
КВ1,14-2,5/250	250	3750/3000	2,03/1,16	0,26/0,145	
КВ1,14-4,0/400	400	5000/3200	1/0,6	0,3/0,2	
КВ1,14-6,3/630	630	5800/4600	3,5/2	0,45/0,28	
КВ1,14-10,0/1000	1000	—	—	—	
КВ1,14-1,6/160-ЗУЗ-Р	160	3120/2375	1,8/1,1	0,22/0,125	4з, 4р
КВ1,14-2,5/250-ЗУЗ-Р	250	3750/3000	2,1/1,2	0,26/0,145	
КВ1,14-4,0/400-ЗУЗ-Р	400	5000/3200	2,5/1,5	0,3/0,2	
КВ1,14-6,3/630-ЗУЗ-Р	630	5800/4600	3,5/2	0,65/0,4	

* Числитель — при 660 В; знаменатель — при 1140 В.

Примечание. Номинальное напряжение главной цепи — 1140 В. Время включения (отключения), 150 (350) мс. Напряжение питания включающих катушек, В 36, 220, 380.

Достоинства вакуумных контакторов;

- отсутствие открытой электрической дуги;
- высокое быстродействие, обусловленное малым ходом контактов;
- низкий уровень шумов в рабочем состоянии;
- меньшие в 2—3 раза габариты по сравнению с габаритами воздушных контакторов, аналогичными по техническим характеристикам.

Преимущества контакторов производства ФГУП ПО «Север»:

- исполнение корпуса из трекингоустойчивого материала, обеспечивающего высокую взрыво- и пожаробезопасность;
- общая износостойкость главных контактов — не менее $2,5 \cdot 10^6$ циклов ВО.

7.2.6. Контакторы вакуумные серии LSM/TEL (ООО «ПК Таврида Электрик»)

Контакторы низковольтные вакуумные серии LSM/TEL-1-4/400 предназначены для частых коммутаций электрических цепей, в сетях переменного трехфазного тока промышленной частоты с номинальным напряжением до 1140 В (табл. 7.45).

Контакторы способны включать, проводить и отключать токи в нормальных условиях и при рабочих перегрузках.

Отличительные особенности контакторов:

- не требуют обслуживания на протяжении всего срока службы;
- устойчивы к полным провалам напряжения во вторичных сетях питания;
- имеют самоконтроль работоспособности и индикацию состояний и режимов работы.

Таблица 7.45. Технические характеристики контакторов серии LSM/TEL

Параметр	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В:	
LSM/TEL-1-400-350	1140
LSM/TEL-1-400-352	220/380
Номинальный ток, А	400
Номинальный ток включения-отключения, кА	4
Предельная коммутационная способность, кА	7
Ток динамической стойкости (ампл.), кА	10
Ток термической стойкости, 10 с, кА	3,2
Номинальное напряжение управления, В	220
Коммутационная износостойкость, циклов ВО, не менее:	
при номинальном токе	2000 000
при номинальном токе отключения	50
Время включения, мс, не более	50
Время отключения, мс, не более	60
Степень защиты	IP40
Климатическое исполнение	У3
Масса, кг, не более	10

Контакторы серии LSM/TEL имеют высокие технические характеристики и сохраняют надежность на протяжении всего срока службы. Они применяются:

- в пусковых сборках электродвигателей;
- в системах дистанционного управления приводами;
- в устройствах автоматического включения резерва;
- на станциях и блоках управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым и фазным ротором.

Низковольтные вакуумные контакторы серии LSM/TEL разработаны на основе самых современных технологий в области коммутационной аппаратуры и микропроцессорной техники. Все компоненты контактора заключены в изоляционный корпус из прочного дугостойкого материала — лексана. При использовании специальных манжет степень защиты персонала обеспечивается на уровне IP40.

Строго линейное перемещение подвижных контактов и привода существенно упрощает кинематическую схему и обеспечивает высокую надежность, долговечность и стабильность заводских характеристик контактора.

Встроенный микропроцессорный модуль управления позволяет расширить функциональность контактора и повысить надежность его работы в тяжелых условиях эксплуатации.

Применение микропроцессорного блока управления позволяет:

- сохранять работоспособность контактора при длительных просадках напряжения оперативного питания (до 5 мин при 120 В) и при полных провалах напряжения по цепи оперативного питания (до 0 В длительностью не более 0,5 с);
- выводить информацию о различных состояниях и режимах работы контактора.

В стандартную конструкцию контакторов входят блоки ОПН серии SAU/TEL.

7.2.7. Вакуумные контакторы серии КВТп (ОАО «Позитрон»)

Вакуумные контакторы одно-, двух-, трехполюсные серии КВТп-1,14 УЗ предназначены для коммутации электрических цепей в сетях переменного трехфазного тока промышленной частоты с номинальным напряжением до 1140 В (0,66 и 1,14 кВ). Применяются для частых коммутаций, устанавливаются в пусковых сборках, станциях и блоках управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым и фазным ротором, в системах дистанционного управления приводами, могут быть использованы в устройствах автоматического включения резерва (табл. 7.46).

Таблица 7.46. Типоисполнение контакторов

Тип контактора	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном откл}}, \text{ кА}$	$U_{\text{ном}}$ управляющей катушки, В
КВТп 1-1,14-2,0/80 УЗ	80	2	36, 110, 220, 380
КВТп 1-1,14-2,0/125 УЗ	125		
КВТп1-1,14-2,0/160 УЗ	160		
КВТп2-1,14-4,5/250 УЗ	250	4,5	
КВТп2-1,14-4,5/400 УЗ	400		
КВТп3-1,14-6,0/630 УЗ	630	6	

Вакуумные контакторы серии КВТп при значительно меньших размерах и массе опережают традиционные воздушные контакторы по числу циклов срабатывания без ремонта и ревизий. При использовании специальных манжет, устанавливаемых на кабели, степень защиты контакторов обеспечивается на уровне IP40. Контакторы серии КВТп отвечают современным требованиям по надежности и безопасности эксплуатации.

Отличительные особенности контакторов серии КВТп:

- необслуживаемость на протяжении всего срока эксплуатации;

- самоконтроль цепей управления и температуры блока управления;
- малые габариты и масса;
- нечувствительность к провалам напряжения в вспомогательных цепях.

7.2.8. Контакторы постоянного и переменного тока серий МК, КПВ, КТПВ, КТ, КТП (ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»)

Контакторы постоянного тока серии МК (табл. 7.47) предназначены для работы в силовых электрических цепях и цепях управления постоянного тока при напряжении до 220 В постоянного тока (кроме контакторов МК1-20Д, МК3-20Д, МК1-30, МК2-30), до 1000 В постоянного тока (контакторы МК1-20М) и до 380 В переменного тока 50, 60 Гц (контакторы МК1-20А, Б; МК1-22А, Б; МК2-20А, Б; МК2-30А, Б; МК1-20Д; МК3-20Д) общепромышленных установок, а также для коммутирования электрических цепей тепловозов и электровозов на напряжение 220 В постоянного тока.

Контакторы МК1-20Д, МК3-20Д применяются в лифтовых низковольтных комплектных устройствах управления, МК1-20М — для вагонов метрополитена.

Контакторы МК1-20, МК2-20, МК3-20, МК4-20 могут применяться при работе в силовых цепях постоянного тока при напряжении 440 В как однополюсные аппараты, при этом главные контакты должны быть соединены последовательно.

Контакторы МК1-20, МК1-30, МК2-20, МК2-30 могут использоваться при работе в силовых цепях переменного тока при напряжении 500 В частоты 50 и 60 Гц при снижении рабочего тока.

Контакторы МК1Б-МК4Б предназначены для неавтоматизированного электропривода, отличаются от контакторов МК1А-МК4А коммутационной износостойкостью.

Таблица 7.47. Технические характеристики контакторов серии МК

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	20, 40, 63, 100, 160
Номинальное напряжение, В, не более:	
постоянного тока	1000
переменного тока	380
Номинальное напряжение постоянного тока втягивающей катушки (сети), В	24 (27), 48 (50), 75, 110, 220
Номинальный длительный ток вспомогательных контактов, А	10
Номинальное напряжение контактов вспомогательной цепи, В:	
постоянного тока	110—220
переменного тока	110—660

Окончание табл. 7.47

Параметр	Значение
Общая износостойкость контакторов, млн циклов ВО, не менее:	
на номинальные токи 40, 63 А (МК1-20М)	16
на номинальные токи 100, 160 А	10
Степень защиты	IP00
Режим работы	Продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный, кратковременный
Присоединение внешних проводников	Переднее
Потребляемая мощность, Вт, не более	45
Климатическое исполнение	УЗ, ТЗ, УХЛЗ

Контакторы постоянного и переменного тока серий МК5 и МК6 (табл. 7.48). Контакторы типов МК5-10 и МК6-10 предназначены для работы в силовых электрических цепях тепловозов и общепромышленных стационарных установок с номинальным напряжением 220 В постоянного тока, контакторы типов МК5-20 и МК6-20 — 440–660 В постоянного тока.

Контакторы типов МК6-20П, МК6-20Т, МК6-30П, МК6-30Т предназначены для работы силовых контактов на переменном токе с номинальным напряжением 380 В.

Контакторы типов МК6-20Н и МК6-30 предназначены для работы силовых контактов на постоянном токе с номинальным напряжением 220 В.

Контакторы типов МК5-10Р и МК6-10Р — реверсивные с механической блокировкой.

Контакторы типа МК6-10М — реверсивные с защелкой, применяются для работы на подвижном составе городского электротранспорта.

Контакторы пригодны для работы в продолжительном, прерывисто-продолжительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы. Главные контакты контактора МК6-10М: рассчитаны для работы только в продолжительном режиме работы, а втягивающая катушка контактора и катушка защелки — только в кратковременном.

Таблица 7.48. Технические характеристики контакторов серий МК5 и МК6

Параметр	Значение
Число и исполнение главных контактов для:	
МК5-10, МК6-10	1з
МК5-01	1р
МК5-20, МК6-20	2з (соединены последовательно)
МК6-20Н, МК6-20П, МК6-20Т	2з
МК6-30, МК6-30П, МК6-30Т	3з
Номинальный ток контакторов, А	250 — 400

Окончание табл. 7.48

Параметр	Значение
Номинальный ток контактов вспомогательной цепи, А	10
Номинальное напряжение вспомогательной цепи, В: постоянного тока переменного тока	24; 50; 75; 110; 220 110—380
Номинальное напряжение цепи управления, В: постоянного тока; переменного тока	24; 27; 50; 75; 110; 220 110; 220; 380
Допустимая частота срабатываний контактора МК5-01, циклов в час	600
Потребляемая мощность включающих катушек при 20 °С, Вт, не более:	
МК5-10, МК5-10Р, МК6-10, МК6-10Р	75
МК5-20, МК6-20, МК6-20Н, МК6-20П, МК6-20Т	150
МК6-30, МК6-30П, МК6-30Т	230
МК6-10М	85
Общая износостойкость, млн циклов ВО, не менее, для:	
МК6-10	10
МК6-10М	0,5
остальных	5
Климатическое исполнение	УЗ, УХЛЗ, ТЗ
Степень защиты	IP00

Контакторы постоянного тока типа МК2-20Б (табл. 7.49–7.51) предназначены для коммутирования цепей соленоидных приводов высоковольтных выключателей в момент включения последних. Контакторы обеспечивают трехкратное включение и отключение с интервалом 5 с токов, значения которых приведены в табл. 7.49.

Таблица 7.49. Коммутируемые токи

Коммутируемый ток, А	Номинальное напряжение, В	Постоянная времени, мс
$I_{\text{ном}}$	220	50
$2I_{\text{ном}}$	220	50
$4I_{\text{ном}}$	220	150
$6I_{\text{ном}}$	220	200
$8I_{\text{ном}}$	110	200
$8I_{\text{ном}}$	220	200

Контакторы предназначены для работы только при кратковременном режиме с общей длительностью пребывания втягивающей катушки под током не более 15 с. Контактор изготавливается без контактов вспомогательной

цепи. Контакторы пригодны для монтажа как на изоляционной, так и на металлической заземленной плите либо на рейках.

Таблица 7.50. Технические характеристики контакторов типа МК2-20Б

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	63
Номинальное напряжение постоянного тока, В, не более	220
Климатическое исполнение	УЗ, ТЗ, УХЛ3
Габариты, мм	174×197×132
Масса контактора, кг, не более	3

Таблица 7.51. Типоисполнения и технические данные контакторов типа МК2-20Б

Номинальное напряжение катушки, В	Номинальный ток катушки, А	Допустимое отклонение номинального тока при холодной катушке, %	Ток отпадения якоря, А, не менее	Минимальное напряжение втягивания, % $U_{ном}$, не более	Время срабатывания, с, не более	
					при включении	при отключении
110	2	+25 -15	0,3	80	0,08	0,03
220	1		0,15			
48	4,5		0,7			

Контакторы постоянного тока с магнитным гашением типов КПВ604, КПВ605 (табл. 7.52) предназначены в основном для управления электродвигателями постоянного тока и применяются в качестве линейных контакторов, реверсирующих контакторов, контакторов ускорения и др.

Таблица 7.52. Технические характеристики контакторов серии КПВ

Параметр	КПВ604	КПВ605
Номинальное напряжение постоянного тока главных контактов, В	220	
Номинальный ток главной цепи, А	250	630
Число и исполнение главных контактов	13	
Максимальная допустимая частота включений в час	1200	
Износостойкость, млн циклов ВО:		
общая	3	
коммутационная	0,2	
Потребляемая мощность, Вт	50	75
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	
Степень защиты	IP00	

Окончание табл. 7.52

Параметр	КПВ604	КПВ605
Габариты (Ш×В×Г), мм, не более: на металлической плите без плиты	195×415×265 195×360×230	235×560×335 235×500×300
Масса, кг, не более	17	33

Имеется более 20 различных типоразмеров контакторов серии КПВ 600.

Контакторы переменного тока с магнитным гашением серии КТПВ600 с управлением от сети постоянного тока (табл. 7.53) предназначены для включения и отключения электрических цепей в стационарных установках.

Таблица 7.53. Технические характеристики контакторов серии КТПВ

Параметр	КТПВ623	КТПВ624
Номинальный ток главной цепи, А	160	250
Номинальное напряжение переменного тока главных контактов, В	380	
Номинальное напряжение постоянного тока втягивающей катушки, В	110 либо 220	
Число и исполнение главных контактов	2з	
Максимальная допустимая частота включений в час	1200	
Износостойкость, млн циклов ВО:		
общая	3	
коммутационная	0,2	
Потребляемая мощность, Вт	50	75
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ и ТЗ	
Степень защиты	IP00	
Габариты (Ш×В×Г), мм, не более	205×340×205	245×425×280
Масса, кг, не более:		
без вспомогательных контактов	14	29
с вспомогательными контактами	15	30

Имеется более 20 типоразмеров контакторов серии КТПВ600.

Контакторы переменного тока типов КТ 6050, КТП 6050 с управлением от сети постоянного и переменного тока (табл. 7.54) с замыкающими главными контактами рассчитаны на номинальное напряжение 380 В переменного тока частотой 50, 60 Гц и предназначены для дистанционного включения и отключения силовых электрических цепей в металлургических, крановых и других электроприводах с тяжелым режимом работы.

Имеется более 10 типоразмеров контакторов серии КТ 6050.

Таблица 7.54. Технические характеристики контакторов КТ и КТП

Параметр	КТ6052	КТ6053	КТ6054	КТ6055	КТП6052	КТП6053	КТП6054
Номинальный ток главных контактов, А	630		400		630		400
Число и исполнение контактов: главных вспомогательных	2з	3з	4з	5з	2з	3з	4з
	2з, 2р, допускается переустановка на 3з, 1р или 4з						
Максимальная допустимая частота включений в час	600		150		1200		150
Общая износостойкость, млн циклов ВО	1,6		1,25		1,6		1,25
Присоединение	Универсальное						
Масса, кг	48	57	66	75	56	66	75
Габариты, мм: ширина высота глубина	580	680	880	980	580	680	880
	275				405		
Потребляемая мощность, Вт	140				170		
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ, ТЗ						
Степень защиты	IP00						

Контакторы постоянного и переменного тока серий КТ6050/2, КТ6050/3 с защелкивающим механизмом с управлением от сети постоянного и переменного тока (табл. 7.55) с замыкающими главными контактами и защелкивающим механизмом рассчитаны для работы в электрических цепях напряжением до 380 В переменного тока частотой 50, 60 Гц и предназначены для продолжительного режима работы при отсутствии напряжения в цепи питания катушки.

Контакторы серии КТ6050/3 с замыкающими и размыкающими главными контактами и защелкивающим механизмом рассчитаны для работы в цепях 220 В постоянного тока и предназначены для гашения поля синхронных машин в цепях, где недопустимо отключение контактора при отсутствии напряжения в цепи питания катушки.

Контакторы серии КТ6050/2 допускают механическое блокирование с контакторами серии КТ6050, исключающее одновременное их включение.

Имеется более 10 типоразмеров контакторов серий КТ6050/2 и КТ6050/3.

Таблица 7.55. Технические характеристики контакторов серий КТ6050/2 и КТ6050/3

Параметр	КТ6052/2	КТ6053/2	КТ6051/3	КТ6052/3
Номинальное напряжение главных контактов, В	380 переменного тока частоты 50, 60 Гц		220 постоянного тока	
Номинальный ток главных контактов, А: замыкающих размыкающих	630 630		630 160	
Число и исполнение контактов: главных вспомогательных	2з 3з и 3р, допускается переустановка с з на р и наоборот	3з	1з, 1р	2з, 1р
Максимальная допустимая частота включений в час	60			
Износостойкость, млн циклов ВО: общая коммутационная	0,025 0,025			
Режим работы	Продолжительный			
Присоединение внешних проводников	Универсальное			
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ, ТЗ			
Степень защиты	IP00			
Габариты (Ш×В×Г), мм	580×550×310	680×550×310	580×550×310	680×550×310
Масса, кг	50	59	44	53

Контакторы переменного тока серии КТ6060 с управлением от сети переменного тока (табл. 7.56) с замыкающими главными контактами предназначены для коммутации электрических цепей.

Таблица 7.56. Технические характеристики контакторов серии КТ6060

Параметр	КТ6062	КТ6063
Номинальное напряжение переменного тока частоты 50 Гц главных контактов, В	400	
Номинальный ток главных контактов, А	1000	
Число и исполнение контактов: главных вспомогательных	2з 2з и 2р, допускается переустановка с з на р и наоборот	3з
Максимальная допустимая частота включений в час	60	
Износостойкость, млн циклов ВО: общая коммутационная	1 0,025	
Режим работы	Продолжительный	

Окончание табл. 7.56

Параметр	КТ6062	КТ6063
Присоединение внешних проводников	Универсальное	
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	
Степень защиты	IP00	
Потребляемая мощность, Вт, не более	140	
Габариты (Ш×В×Г), мм	580×450×330	680×450×330
Масса, кг	52	62

Имеется около 10 типоразмеров контакторов серии КТ6060.

Контакторы серии КТ6060/2 с замыкающими главными контактами, с защелкивающим механизмом, с управлением от сети постоянного и переменного тока (табл. 7.57) рассчитаны для работы в электрических цепях напряжением до 380 В переменного тока частотой 50, 60 Гц и предназначены для продолжительного режима работы при отсутствии напряжения в цепи питания катушки.

Таблица 7.57. Технические характеристики контакторов серии КТ6060/2

Параметр	КТ6062/2	КТ6063/2
Номинальное напряжение главных контактов, В	380 (50 Гц)	
Номинальный ток главных контактов, А	1 000	
Число и исполнение контактов: главных вспомогательных	2з Зз и Зр, допускается переустановка с з на р и наоборот	Зз
Максимальная допустимая частота включений в час	60	
Износостойкость, млн циклов ВО: общая коммутационная	0,025 0,025	
Режим работы	Продолжительный	
Присоединение внешних проводников	Универсальное	
Климатическое исполнение	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	
Степень защиты	IP00	
Потребляемая мощность, Вт, не более	140	
Габариты (Ш×В×Г), мм	580×450×272	680×550×272
Масса, кг	54	64

Имеется около 10 типоразмеров контакторов серии КТ6060/2.

7.2.9. Пускатели постоянного тока серий ПМЛ, ПМЛ-7000 (ОАО НПО «ЭТАЛ»)

Специальные магнитные пускатели (СМП) типов ПМЛ-1165М и ПМЛ-1166М предназначены для использования в системах компенсаций реактивной составляющей мощности как коммутирующий аппарат конденсаторов. Специальные магнитные пускатели конструктивно построены на серийно выпускаемых пускателях электромагнитных ПМЛ и приставках компактных ПКЛ, имеющих параметры, отличные от серийно выпускаемых (табл. 7.58, 7.59).

Таблица 7.58. Технические характеристики контактной аппаратуры постоянного тока

Параметр	Пускатели	Реле
	ПМЛ-1165М, ПМЛ-1166М	РПЛ-222М, РПЛ-231М, РПЛ-140М
Номинальное напряжение по изоляции, В	660	
Номинальный ток главной цепи, А	10; 16	
Потребляемая мощность катушки, Вт	10	
Износостойкость, млн циклов ВО:		
общая	20	
коммутационная	3	
Габариты, мм	44×72×110	
Напряжение цепи управления (катушки), В	24, 48, 110, 220	
Мощность управляемого двигателя, кВт	5,5	

Таблица 7.59. Дополнительные технические характеристики СМП серии ПМЛ

Тип	Номинальная коммутируемая нагрузка, квар	Габариты, мм	Масса, кг
ПМЛ-2161МК	12,5	80,6×56×122	0,65
ПМЛ-3161ДМК	25	80,6×56×135	0,7
ПМЛ-4160МК	40	125×75×150	1,5
ПМЛ-4160ДМК	50	125×75×160	1,81

Пускатели серии ПМЛ-7000 (табл. 7.60). Назначение пускателей этой серии аналогично назначению пускателей ПМА-3000, приведенных ранее.

Таблица 7.60. Технические характеристики пускателей серии ПМЛ-7000

Параметр	Значение
Номинальное напряжение по изоляции, В	660
Номинальный ток главной цепи, А	250
Номинальное напряжение катушки, В	24; 36; 40; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 500; 660
Потребляемая мощность катушки (пусковая/удержания), В·А	500/56
Износостойкость, млн циклов ВО:	
общая	10,0
коммутационная	0,75
Максимальная мощность управляемого двигателя, кВт	132
Степень защиты:	
открытого исполнения	IP00
исполнения в оболочке	IP54
Число вспомогательных контактов *:	
ПМЛ-7000	1з + 1р
ПМЛ-7001	2з + 2р
ПМЛ-7002	3з + 3р
ПМЛ-7003	3з + 1р
ПМЛ-7004	5з + 1р
Диапазон регулирования тока электротеплового реле РТЛ-3270, А	165–270
Масса пускателей, кг:	
нереверсивных	6,6
реверсивных	14,3
нереверсивных в оболочке с РТЛ-3270	19,8
реверсивных в оболочке с РТЛ-3270	34,2

* Вспомогательные контакты набираются с помощью приставок ВКЛ-11 и ВКЛ-20

7.2.10. Контакторы электромагнитные серий КТ(КТП)7000, КТ(КТП)6000

Контакторы электромагнитные серий КТ7000Б, КТП7000Б (ОАО «Владикавказский завод «Электроконтактор») открытого исполнения, общего применения, с естественным воздушным охлаждением предназначены для включения и отключения приемников электрической энергии (табл. 7.61).

Таблица 7.61. Технические характеристики контакторов электромагнитных серий КТ7000Б, КТП7000Б (категория применения АС-4)

Параметр	КТ7022Б КТ7023Б	КТ7024Б	КТП7022Б КТП7023Б	КТП7024Б
Номинальный ток, А	160	125	160	125
Номинальное напряжение, В	380			
Номинальное напряжение втягивающей катушки, В: переменного тока постоянного тока	36, 110, 220, 380, 500 —		— 24, 48, 110, 220	
Число вспомогательных контактов	2з и 2р или 3з и 3з			
Число полюсов	2; 3	4	2; 3	4
Допустимая частота включений циклов в час	1200	600	1200	600
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов ВО	330			
Масса, кг	6,1—7,2	9	6,1—7,2	9

Контакторы электромагнитные серий КТ7100У и КТ7200У (табл. 7.62) предназначены в основном для работы во взрывозащищенных и рудничных пускателях.

Контакторы серий КТ7100У и КТ7200У изготавливаются со вспомогательными контактами в сочетании два замыкающих и два размыкающих контакта или три замыкающих и три размыкающих контакта для цепей управления всех типов контакторов; а также в сочетании один — замыкающий и один размыкающий контакт для цепей управлений, и два замыкающих и два размыкающих контакта для искробезопасных цепей.

Таблица 7.62. Технические характеристики контакторов электромагнитных серий КТ7100У и КТ7200У

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	125
Номинальное напряжение, В	660
Номинальное напряжение втягивающей катушки переменного тока, В	36, 220, 380, 440, 500, 600
Число полюсов КТ7100У и КТ7200У	3
Износостойкость, млн циклов ВО:	
общая	3
коммутационная	1

Контакты электромагнитные серии КТ(КТП)6000 (табл. 7.63) предназначены для включения и отключения приемников электрической энергии. Контакты серии КТ6000/20 с защелкивающим механизмом применяют в приводах, где не допускается отключение контактора при исчезновении или снижении напряжения в цепи включающей катушки.

Контакты изготавливаются для применения в электрооборудовании, комплектных устройствах для обеспечения их эксплуатации, а также ремонта.

Режим работы контакторов — продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный и кратковременный.

Таблица 7.63. Технические характеристики контакторов электромагнитных серии КТ(КТП)6000

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	16
Номинальное напряжение, В: переменного тока постоянного тока	500 220
Номинальное напряжение втягивающей катушки, В: переменного тока частотой 50 Гц постоянного тока	110, 220, 380, 500 48, 110, 220
Число полюсов	3
Общая износостойкость, млн циклов ВО: КТ6000/00, КТП6000/00 КТ6000/20	5 0,025
Коммутационная износостойкость, млн циклов ВО: КТ6000/00, КТП6000/00 КТ6000/20	500 25
Наибольшая частота включений в час: КТ6000/00, КТП6000/00 КТ6000/20	600 60

Контакты электромагнитные серии КТ6600. Технические характеристики контакторов приведены в табл. 7.64.

Таблица 7.64. Технические характеристики контакторов электромагнитных серии КТ6600 (категория применения АС-4)

Параметр	КТ6622 КТ6623	КТ6632 КТ6633	КТ6632Г КТ6633Г
Номинальный ток, А	160	250	
Номинальное напряжение, В	660	380	
Номинальное напряжение втягивающей катушки, В: переменного тока частотой 50 Гц постоянного тока	36, 110, 220, 380, 500, 600 —		— 24, 48, 110, 220
Число вспомогательных контактов	2з и 2р или 3р и 3р		

Окончание табл. 7.64

Параметр	КТ6622 КТ6623	КТ6632 КТ6633	КТ6632Г КТ6633Г
Число полюсов	2; 3		
Допустимая частота включений циклов в час	1200		
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов ВО	250	200	200
Масса, кг, не более	6,2—7,4	7,0—8,2	9,4—10,6

Контакты электромагнитные серии КТ(КТП)6000Б. Технические характеристики контакторов приведены в табл. 7.65.

Таблица 7.65. Технические характеристики контакторов электромагнитных серии КТ(КТП)6000Б (категория основного применения АС-4)

Параметр	КТ6022Б КТ6023Б	КТ6024Б	КТП6022Б КТП6023Б	КТП6024Б
Номинальный ток, А	160	125	160	125
Номинальное напряжение, В	380			
Номинальное напряжение втягивающей катушки, В: переменного тока постоянного тока	36, 110, 220, 380, 500 —		— 24, 48, 110, 220	
Число вспомогательных контактов	2з и 2р или 3з и 3з			
Число полюсов	2; 3	4	2; 3	4
Допустимая частота включений циклов в час	1200	600	1200	600
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов ВО	330			
Масса, кг	6; 7	8,6	8,4; 9,6	11,3

Контакты электромагнитные серии КТ6640-УЗ. Технические характеристики контакторов приведены в табл. 7.66.

Таблица 7.66. Технические характеристики контакторов электромагнитных серии КТ6640-УЗ (категория применения АС-4)

Параметр	Значение
Номинальный ток, А	400
Номинальное напряжение, В	660
Номинальное напряжение втягивающей катушки переменного тока, В	220; 380
Число вспомогательных контактов	2з и 2р или 3з и 3р
Число полюсов КТ6642-УЗ/КТ6643-УЗ	2; 3
Наибольшая частота включений в час	300

Окончание табл. 7.66

Параметр	Значение
Износостойкость, млн. циклов ВО:	
общая	1
коммутационная	0,2

7.2.11. Низковольтные контакторы серий КТМ, КТ, МКТМ (ОАО «Электрокомплекс», г. Минусинск)

Контакторы предназначены для включения и отключения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и других приемников электроэнергии и могут быть встроены в оболочки рудничного и взрывозащищенного электрооборудования (табл. 7.67).

Таблица 7.67. Техническая характеристика низковольтных контакторов серий КТМ, КТ, МКТМ

Параметры	КТМ15Р	КТ12	КТ12Р37	МКТМ15
Номинальное напряжение, кВ	1,14			
Номинальный ток, А	250	400		250
Частота, Гц	50			
Ток включения, А	5 600	6 500		5 600
Ток отключения, А	3 000			
Напряжение управления, В	36	220	36	220
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов ВО, в категории применения:				
АС-3	1 600	2 000	1 600	
АС-4	300	630	300	
Общая износостойкость, тыс. циклов ВО	5 000			
Габариты, мм:				
длина	150	325		220
ширина	220	325		160
высота	195	210		170
Масса, кг	6	22	22,5	6,4

7.3. Низковольтные комплектные устройства серии ЩО70 (Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры)

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) серии ЩО70 предназначены для комплектования распределительных устройств (щитов) напряжением 380/220 В трехфазного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью, служащих для приема и распределения электрической энергии, а также для защиты от перегрузок и токов короткого замыкания (табл. 7.68).

Таблица 7.68. Технические характеристики НКУ серии ЩО70

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,4
Род тока	Переменный
Частота, Гц	50
Число отходящих линий	1; 2; 4; 6
Номинальный ток отходящих линий, А	100; 200; 400; 600; 1 000
Номинальный ток вводных панелей, А	400; 600; 1 000; 1 500; 2 000
Электродинамическая стойкость сборных шин и отпаяк от них, кА:	
для вводных и секционных панелей до 1000/1500 А	30/50
вводных панелей на 2000 А	50
линейных	30 и 50
Габариты, мм:	
высота	2 000
ширина	1000; 800; 300; 60
глубина	600
Масса панели, не более, кг:	
секционной с рубильником	67
линейной с автоматическими выключателями или с рубильниками	150
вводной с автоматическими выключателями	350
Выполнение ввода 0,4 кВ	Кабельный, кабельный с земляной защитой, шинный, шинный с земляной защитой
Назначение панели	Вводные, линейные, секционные, вводно-линейные, вводно-секционные, уличного освещения, с аппаратурой АВР, торцевые
Способ установки автоматических выключателей	Со стационарным выключателем

7.4. Шкафы, щиты, распределительные устройства, ящики, рубильники, щитки

7.4.1. Общие сведения по низковольтному электрооборудованию

Технические характеристики низковольтного электрооборудования приведены в табл. 7.69—7.79.

Таблица 7.69. Шкафы распределительные силовые серии СПМ 75

Тип	Номинальный ток рубильника, А	Число групп предохранителей			Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг
		НПН2-60	ПН2-100	ПН2-250		
СПМ-75-1	250	5	—	—	1 600×500×350	70
СПМ-75-2		—	5	—		
СПМ-75-3		2	3	—		

Окончание табл. 7.66

Тип	Номинальный ток рубильника, А	Число групп предохранителей			Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг
		НПН2-60	ПН2-100	ПН2-250		
СПМ-75-4	400	8	—	—	1 600×500×350	90
СПМ-75-5		—	8	—		
СПМ-75-6		4	4	—		
СПМ-75-7		—	—	5		
СПМ-75-8		—	5	2		
СПМ-75-9		2	4	2		

Таблица 7.70. Шкафы распределительные силовые серии СПА 77

Тип	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Число автоматических выключателей, шт.				Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг
		АЕ2040 (63 А)	АЕ2050 (100 А)	А3710 (160 А)	А3710 (250 А)		
СПА77-1	250	5	—	—	—	1600×700×350	100
СПА77-2		2	—	—	—		
СПА77-3		—	6	—	—		
СПА77-4	400	—	—	—	4	1800×700×350	50
СПА77-5		8	—	—	—		
СПА77-6		4	4	—	—		
СПА77-7		—	8	—	—		
СПА77-8		—	—	8	—		
СПА77-9		—	—	5	2		

Таблица 7.71. Силовые распределительные устройства серии СУ9500 с установочными автоматическими выключателями А3110 и А3130

Тип	Число автоматических выключателей, шт.		Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг
	А3110	А3130		
СУ9521-11	6	—	850×850×211	67
СУ9521-12	2	1		66
СУ9521-14	4	—		64
СУ9521-15	—	1		64
СУ9522-11	8	—	1250×850×211	79
СУ9522-12	10	—		85
СУ9522-13	2	2		76
СУ9522-16	4	1		77
СУ9522-17	6	1		84
СУ9522-18	—	2		83

Окончание табл. 7.71

Тип	Число автоматических выключателей, шт.		Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг
	A3110	A3130		
СУ9523-11	12	—	1165×850×211	94
СУ9523-12	—	3		91
СУ9523-13	8	1		93
СУ9523-14	4	2		92
СУ9531-11	6	—	850×850×211	68
СУ9531-12	2	1		70
СУ9531-14	4	—		63
СУ9531-15	—	1		65
СУ9541-11	1	1		64
СУ9541-12	—	1		66
СУ9532-11	8	—	1060×850×211	82
СУ9532-12	10	—		82
СУ9532-13	2	2		82
СУ9532-16	4	1		80
СУ9532-17	6	1		88
СУ9532-18	—	2	1060×850×211	85
СУ9542-11	8	—		83
СУ9542-13	6	—		75
СУ9542-14	2	1		71
СУ9542-15	4	1		81
СУ9542-16	—	2		86
СУ9533-11	12	—	1165×850×211	98
СУ9533-12	—	3		95
СУ9533-13	8	1	1165×850×211	98
СУ9533-14	4	2		96
СУ9543-11	10	—		92
СУ9543-12	6	1		89
СУ9543-13	2	2		92

Таблица 7.72. Ящики распределительные серии ЯРП11

Типоисполнение ящика	Номинальный ток ящика, А	Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А	Номинальное напряжение, В	Тип встраиваемых аппаратов	Число полюсов
ЯРП11-301-32УЗ ЯРП11-301-54У1 ЯРП11-301-Х54У1	100	30; 40; 50; 60; 80; 100	380 (50, 60 Гц)	Рубильник Р26-31370-00УЗ Предохранители ПН2-100-10	3
ЯРП11-302-32УЗ ЯРП11-302-54У1 ЯРП11-302Х54У1			=220	Рубильник Р26-31270-00УЗ Предохранители ПН2-100-10	2
ЯРП11-341-32УЗ ЯРП11-341-54У1 ЯРП11-341-Х54У1	250	80; 100; 120; 150; 200; 250	380 (50, 60 Гц)	Рубильник Р26-35370-00УЗ Предохранители ПН2-250-10	3
ЯРП11-342-32УЗ ЯРП11-342-54У1 ЯРП11-342Х54У1			=220	Рубильник Р26-35270-00УЗ Предохранители ПН2-250-10	2

Примечание. 1. Ящики с предохранителями ПН2 допускают работу в сетях напряжением до 500 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

2. Номинальный ток ящика и плавкой вставки снижается: для ящиков степени защиты IP32 — на 10%, для ящиков степени защиты IP54 — на 20%.

Таблица 7.73. Шкафы распределительные силовые серии ШРСУЗ

Тип	Степень защиты	$I_{\text{ном}}$, А	Число отходящих линий $\times I_{\text{п.ном}}$, А	Габариты (В \times Ш \times Г), мм
ШРС1-20УЗ	IP22	250	5 \times 60	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-50УЗ	IP54	175	5 \times 60	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-21УЗ	IP22	250	5 \times 100	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-51УЗ	IP54	175	5 \times 100	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-22УЗ	IP22	250	2 \times 60 + 3 \times 100	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-52УЗ	IP54	175	2 \times 60+3 \times 100	1 600 \times 500 \times 380
ШРС1-23УЗ	IP22	400	8 \times 60	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-53УЗ	IP54	280	8 \times 60	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-24УЗ	IP22	400	8 \times 100	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-54УЗ	IP54	280	8 \times 100	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-25УЗ	IP22	400	4 \times 60 + 4 \times 100	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-55УЗ	IP54	280	4 \times 60 + 4 \times 100	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-26УЗ	IP22	400	5 \times 250	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-56УЗ	IP54	280	5 \times 250	1 600 \times 700 \times 580

Окончание табл. 7.73

Тип	Степень защиты	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Число отходящих линий $\times I_{\text{п.ном}}, \text{А}$	Габариты (В \times Ш \times Г), мм
ШРС1-27У3	IP22	400	5 \times 100 + 2 \times 250	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-57У3	IP54	280	5 \times 100 + 2 \times 250	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-28У3	IP22	400	2 \times 60 + 4 \times 100 + 2 \times 250	1 600 \times 700 \times 580
ШРС1-58У3	IP54	280	2 \times 60 + 4 \times 100 + 2 \times 250	1 600 \times 700 \times 580

Таблица 7.74. Групповые щитки серий ОП, ОЩ, УОЩВ

Тип	Аппарат на вводе	Автоматические выключатели на группах		Способ установки	Масса, кг
		тип	число		
ОП-ЗУХЛ4	—	АЕ1000	3	Открыто	6; 9
ОП-6УХЛ4			6		
ОП-9УХЛ4			9		
ОП-12УХЛ4			12		
ОЩ-6УХЛ4	Зажимы	А63	6; 12	Открыто	13
ОЩ-12УХЛ4					19,5
ОЩВ-6АУХЛ4	АЕ2046-10	А3161	6; 12		16,5
ОЩВ-12АУХЛ4					23
УОЩВ-6АУХЛ4	АЕ2046-10	А3161	6; 12	В нише	17,5
УОЩВ-12АУХЛ4					24,5

Примечание. Степень защиты — IP20.

Таблица 7.75. Распределительные пункты серии ПР41

Тип	Число трехполюсных выключателей		Число трехфазных конденсаторов КС1-038-18У3
	вводных А3728Ф	групповых А2046	
ПР41-4301-4ЗУ4	1	4	4
ПР41-4302-УЗУ4			

Примечание. Степень защиты — IP43.

Таблица 7.76. Щитки осветительные взрывонепроницаемые

Тип	Аппарат на вводе	Автоматические выключатели на группы			
		тип	ток расцепителя	число	
				однополюсных	трехполюсных
ЩОВ-1А	Трехполюсный разъединитель	АЕ2044	16	6	—
ЩОВ-2А		АЕ2046	50	12	

Таблица 7.77. Технические характеристики путевых выключателей и микропереключателей

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	Коммутационная износостойкость при ПВ = 40÷80%, циклов ВО	Масса, кг, не более
Выключатель путевой ВП 61-19: переменный ток постоянный ток	380, 220, 40 220, 110, 27	0,4; 0,6; 1,6 0,1; 0,16; 0,4	$0,4 \cdot 10^6$ $0,1 \cdot 10^6$	0,0094
Выключатель путевой ВПК4000: переменный ток постоянный ток	12, 40, 110, 127 220, 380, 660 12, 24, 110, 220, 440	69,3; 44; 27,5; 17,6 17,6; 11; 8,8 5,5; 2,75; 0,66; 0,33; 0,13	$4 \cdot 10^6$ $0,25 \cdot 10^6$	0,765
Выключатель путевой ВК200Г, ВК3300Г: переменный ток постоянный ток	24—500 24—220	Не более 6 Не более 4	$1,6 \cdot 10^6$	1,2
Выключатель путевой ВПК2000: переменный ток постоянный ток	24—500 24—220	6,3 4	$2 \cdot 10^6$	0,433
Микропереключатель МП2000: переменный ток постоянный ток	24, 40, 220, 380, 660 24, 27, 110, 220, 440	1,6; 1,6; 1; 0,6; 0,25 0,6; 0,25; 0,16; 0,06	$1 \cdot 10^6$ $0,6 \cdot 10^6$	0,5 0,5

Таблица 7.78. Технические характеристики пакетных переключателей

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	Сквозной ток КЗ, не менее, кА	Число коммутируемых цепей
ПУ12-34	440	200	2,4 в течение 1 с	4
ПВП11	380; 660	25—100	0,5—2 в течение 1 с	Не более 24
УП5300 (открытое исполнение) УП5400 (защищенное исполнение)	380	16	0,25 в течение 3 с	24
ПМО	~380 =220	1,6—6,3	0,08 в течение 1 с	24

Таблица 7.79. Технические характеристики рубильников

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	Предельный сквозной ток КЗ, кА (амплитудное значение)	Термическая стойкость при КЗ, $\text{kA}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Число полюсов		
Р, РП	380; 660	100	20	50	1, 2, 3		
		250	40	120			
		400	65	540			
		600	80	512			
	220; 440	100	20	50	1, 2, 3		
		250	40	120			
		400	—	—			
		600	—	—			
Р, П, РПЦ, ППЦ	380; 380; 660; 220; 440	100	—	—	1, 2, 3		
		100	10	16			
		250	20	64			
		400	30	144			
		630	40	256			
РО, ПО, П, РП, РПО	660; 440	100; 250; 400; 600	10; 20; 30; 40	16; 64; 144; 256	1, 2, 3		
Р2000, Р2000Т	400; 500 (постоянный ток)	800; 600	50	900	1, 2, 3		
		1 500; 1 200; 2 500; 2 000; 4 000; 3 200;	50	900			
		800; 630; 600; 1 600; 1 500; 1 200; 3 000; 2 400; 5 000; 4 000	60	2 000			
		110	3 600				
П2000, П2000Т	380; 220	800; 630; 600; 1 600; 1 500; 1 200; 3 000; 2 400; 5 000; 4 000	50	900			
		50	900				
		60	2 000				
		110	3 600				
ППО, ППЦ	500; 400	1 000	40	Не испытывался	1, 2, 3		
РПЦ	380	100; 250; 400; 630	10; 20; 30; 40	16; 64; 144; 256	1, 2, 3		
РПП	До 500	100; 250	—	—	2, 3		
БПВ	380	100; 250; 400					
	500	100; 200; 350					
ППВ	380	100; 250					3
	220						2

7.4.2. Щитки гаражные «Гарант» (ОАО «Московское Электрооборудование и Лифты»), щиты вводно-распределительные

Щиток гаражный «Гарант» предназначен для учета и распределения электроэнергии в гаражах и других закрытых помещениях. Щиток имеет выход переменного напряжения 12 В для питания электробезопасного освещения на 12 В и выход 220 В для питания освещения и электроинструмента на 220 В. Для этого имеются розетки с выходным переменным напряжением 12 и 220 В, а также вводы для подсоединения осветительных линий на 12 и 220 В и электроинструмента на 220 В. Щиток снабжен защитными выключателями-автоматами. В зависимости от заказа щитки снабжены устройствами защитного отключения (УЗО) от прикосновения к токоведущим частям (табл. 7.80).

Таблица 7.80. Технические характеристики гаражного щитка

Параметр	Значение
Входное напряжение, В	220
Частота, Гц	50
Выходное переменное напряжение, В	12 и 220
Суммарная мощность потребителей 12 В, Вт, не более	100
Суммарная мощность потребителей 220 В, Вт, не более	2100
Суммарная мощность потребителей освещения 220 В, Вт	300
Максимальная мощность потребителей щитка, Вт	2500
Ток срабатывания УЗО, мА	30
Степень защиты	IP40
Рабочая температура, °С	-35(-20) ÷ +55
Температура хранения, °С	+5 ÷ +40
Относительная влажность, %	80
Масса, кг, не более	5
Габариты, мм	400×300×130

Щит вводно-распределительный серии ВРЩ предназначен для малоэтажной застройки (табл. 7.81)

Таблица 7.81. Технические характеристики щита серии ВРЩ

Параметр	Значение
Рабочее напряжение сети, В	380/220
Частота, Гц	50
Номинальный ток, А	2×150(250)
Степень защиты	IP54
Категория размещения	1

Окончание табл. 7.81

Параметр	Значение
Число абонентов, шт.	12
Ток выключателя потребителя, А	63
Число питающих кабелей	4×2
Максимальное сечение питающих кабелей, мм ²	240
Габариты (В×Г×Ш), мм	1200×1300×660

7.4.3. Панели распределительных щитов серий ЩО70, ЩО91, пункты распределительные (160 Электромеханический завод)

Панели распределительных щитов серий ЩО70Б, ЩО91Б предназначены для комплектования щитов для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц сетей с глухозаземленной нейтралью, а также для защиты линий от перегрузок и токов короткого замыкания (табл. 7.82, 7.83).

Панели могут изготавливаться для применения с системами заземления TN-S, TN-C, TN-C-S.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха — от –25 до +45 °С; высота над уровнем моря — не более 2000 м; окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов или паров, разрушающих металлы и изоляцию.

Панели изготавливаются как с кабельным, так и с шинным вводом.

Таблица 7.82. Технические характеристики панелей распределительных щитов серий ЩО70Б, ЩО91Б

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	380/220
Номинальный ток сборных шин, А	600; 1 000; 1500; 2000
Номинальные токи панелей, А: линейных вводных секционных	100; 200; 250; 400; 600; 1000 400; 600; 1000; 1500; 2000 400; 600; 1000; 1500
Ток электродинамической стойкости сборных шин, кА	30; 50
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В	220
Степень защиты: с лицевой стороны с остальных сторон	IP21 IP00

Таблица 7.83. Массогабаритные параметры панелей

Параметр	Значение
Ширина панелей, мм:	
линейных	800
вводных	800, 1 000
секционных	300, 800, 1 000
торцевых	60
Глубина, мм	600
Высота Щ070Б, мм	2 200
Высота Щ091Б, мм	2 200
Масса панелей, не более, кг:	
линейных	150
вводных и секционных	150
секционных с рубильником	67

Пункты (шкафы) распределительные (ПР) предназначены для распределения электрической энергии, защиты электрических установок напряжением до 440 В постоянного тока и 660 В переменного тока частотой 50—60 Гц при перегрузках и коротких замыканиях, для нечастых включений и отключений электрических цепей и пусков асинхронных двигателей (табл. 7.84). Пункты могут изготавливаться для применения с системами заземления TN-S, TN-C, TN-C-S.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха — от -5 до $+40$ °С; высота над уровнем моря — не более 2000 м; окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов или паров, разрушающих металлы и изоляцию.

Ошиновка ПР выдерживает без повреждений ударный ток КЗ, равный 10 кА.

Пункты распределительные бывают напольного, навесного и утопленного исполнения в виде металлического шкафа, внутри которого устанавливается набор автоматических выключателей. Доступ обеспечен со стороны фасада через двери. Ввод питающих кабелей и отходящих линий осуществляется как сверху, так и снизу, через съемные дно и крышу. За дверью ПР располагается оперативная панель с выведенными на нее органами управления аппаратов, которая исключает доступ к токоведущим частям.

Пункты распределительные могут быть с вводным автоматическим выключателем и без него.

Таблица 7.84. Технические характеристики низковольтного оборудования, применяемого в ПР

Параметр	Значение
Номинальный ток ПР (вводного аппарата), А	63; 100; 160; 250; 400; 630
Номинальные токи автоматических выключателей на отходящих линиях, А: однополюсных трехполюсных	6—63 10—250
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток КЗ для сборных шин*, кА, не более: без вводного автоматического выключателя с вводным автоматическим выключателем	10 15
Число автоматических выключателей на отходящих линиях, не более: однополюсных трехполюсных	30 12

* При токе отключающегося автоматического выключателя не выше 15 кА при номинальной отключающей способности.

7.5. Низковольтные комплектные устройства на базе микропроцессорных блоков

7.5.1. Собственные нужды

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) на базе микропроцессорных блоков для нефтяной и газовой промышленности выпускаются ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод».

Низковольтные комплектные устройства ввода с микропроцессорными блоками АВР, защитами, удаленным управлением и мониторингом и блоками связи с верхним уровнем серии ШО8320МК на ток до 630 А и серии Ш8330МК на ток до 2500 А предназначены для комплектования щитов распределения электроэнергии и управления электродвигателями, которые имеют две секции сборных шин, разделенных секционным выключателем (табл. 7.85).

Шкафы серии ШО8320МК на ток до 630 А и серии Ш8330МК на ток до 2500 А представляют собой обновленный и переработанный вариант шкафов серий ШО8320, Ш8330, в которые добавлены микропроцессорные блоки различного назначения.

В качестве вводных и секционных выключателей используются как стационарные, так и выдвижные автоматические выключатели отечественного производства серии ВА, а также импортного производства серий «Compact» и «Masterpact» фирмы «Schneider Electric» или иных фирм.

Шкафы ШО8320МК и Ш8330МК обеспечивают:

Таблица 7.85. Технические характеристики НКУ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение главной цепи, В	~380
Номинальная частота, Гц	50
Номинальное напряжение цепей управления, В:	
параллельное с питанием по схеме фаза—нуль от главной цепи	220
постоянное от независимого источника	220
Номинальный ток двух рабочих вводов, А	40–2 500
Ток электродинамической стойкости, кА, не более:	
шины внутри щита	30
шины над щитом	50
Степень защиты	IP41, IP54
Габариты, мм:	
одностороннее обслуживание	600×600×2000(2200) 600×800×2000(2200) 800×800×2000(2200)
двухстороннее обслуживание	800×1 000×2000(2200) 600×800×2000(2200) 800×800×2000(2200)

- АВР нескольких вводов с расширенным набором характеристик;
 - защиту вводов от короткого замыкания и перегрузок в соответствии с алгоритмами максимальной токовой и времятоковой защит;
 - локальный и удаленный мониторинг состояния и управления исполнительными аппаратами;
 - отображение и архивирование информации с помощью панели оператора, расположенной на лицевой стороне двери одного из шкафов;
 - возможность обмена данными с верхним уровнем управления АСУ ТП.
- Данная система интеллектуальных НКУ включает в себя серию новых блоков управления асинхронными двигателями:
- серию БМН-5×30 с применением обновленного аппаратного состава: пускателей ПМ12, реле защиты двигателя РЗД-3М. Блоки адаптированы для работы в пятипроводной системе;
 - серию БМР-5×30 на базе автоматических выключателей типа ВА21-29В с повышенной коммутационной способностью (от 18 кА), цепи управления защищены автоматическим выключателем типа ВМ40 (ОАО «Электроаппарат», г. Курск). Дополнительно предусмотрена возможность установки либо рубильника типа ВРА, либо рубильника-предохранителя RBK (по заказу), реле контроля фаз;
 - серию БМУ, аналогичную по аппаратному составу серии БМР, но с дополнительной установкой микропроцессорных устройств защиты двигателя типа УЗУД (ООО «Горизонт», г. Екатеринбург);
 - серию блоков БМТ с применением импортных комплектующих фирмы «Schneider Electric» — пускателей типа LC, автоматических выключателей с

повышенной коммутационной способностью типа GV2 с возможностью изменения $I_{\text{ном}}$ теплового расцепителя. Цепи управления защищены выключателями типа С-60, при этом отпадает необходимость в тепловом реле. По заказу возможно применение импортных комплектующих фирм «Siemens», ABB и т.д.

Применение в блоках управления микропроцессорных устройств защиты двигателя обеспечивает следующие функции:

- защиту от асимметрии тока, обрыва фаз, перегрузки по току, токов КЗ, от перегрева обмотки статора, уменьшения сопротивления изоляции двигателя (фаза—корпус);
- включение аварийной сигнализации при возникновении аварии;
- дистанционное включение двигателя, изменение уставок, контроль характеристик двигателя, чтение архива аварий по интерфейсу RS 485.

Комплектные трансформаторные подстанции для собственных нужд (КТПСН) серии РУСН-0,4 предназначены для распределения электроэнергии 0,4 кВ на электростанциях, промышленных предприятиях и объектах нефтегазовой промышленности (табл. 7.86).

Низковольтные комплектные устройства серии РУСН-0,4 изготавливаются в виде щитов ячеечного типа с выдвижными автоматическими выключателями серии ВА производства АО «Контактор» (г. Ульяновск), с выдвижными автоматическими выключателями серий «Masterpact», «Compact» фирмы «Schneider Electric».

Таблица 7.86. Технические характеристики КТПСН серии РУСН-0,4

Параметр	Значение
Номинальное напряжение главных цепей, В, не более	660
Частота главных цепей, Гц	50
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного тока частотой 50 Гц	220
постоянного тока	220
Номинальное напряжение, кВ:	
на стороне ВН	6; 10
на стороне НН	0,4; 0,69
Номинальный ток сборных шин, А, не более	1 600
Ток электродинамической стойкости сборных шин, кА, не более	50 (в зависимости от мощности)
Ток термической стойкости сборных шин, кА/1 с, не более	25 (в зависимости от мощности)
Степень защиты	IP 31
Габариты (В×Ш×Г)*, мм:	
шкафов ввода	2200×800×1000(2 200×1200×1000)
остальных шкафов	2200×800×1000
Масса одного шкафа, кг	300—400

* Иные габариты — по заказу.

Конструктивно НКУ серии РУСН-0,4 представляет собой щит, который собирается из отдельных типовых шкафов ЗАО «ЧЭАЗ».

Конструкция НКУ предусматривает двухстороннее обслуживание шкафов, установку сборных шин горизонтально в верхней части шкафов в отдельном отсеке, взаимозаменяемость однотипных блоков.

Комплектные трансформаторные подстанции также изготавливаются в сейсмостойком исполнении (до 9 баллов).

7.5.2. Щиты больничные распределительные (завод электро-щитового оборудования «ТПЭ — Тяжпромэлектро»)

Низковольтные комплектные устройства — щиты больничные распределительные (ЩБРТ) — предназначены для приема и распределения электроэнергии напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц в медицинских помещениях, использующих систему питания с изолированной нейтралью, для защиты линий от перегрузок, токов короткого замыкания, автоматического включения резерва и питания от источника бесперебойного питания в случае отсутствия напряжения, а также для дистанционной сигнализации об аварийной работе щита (табл. 7.87).

Щиты больничные распределительные комплектуются из отдельных панелей одностороннего обслуживания. Каждая панель представляет собой шкаф напольного или навесного исполнения с дверью.

По назначению панели ЩБРТ изготавливаются следующих видов:

- ввода с автоматическим включением резерва АВР;
- с источником бесперебойного питания ИБП;
- с распределительной группой TN-системы;
- с разделительным трансформатором;
- с распределительной группой IT-системы.

Панели ввода с автоматическим включением резерва АВР изготавливаются по схемам питания от двух («ФИДЕР1 — ФИДЕР2») или трех («ФИДЕР1 — ФИДЕР2 — ДГУ») вводов и обеспечивают время переключения между «ФИДЕР1 — ФИДЕР2» — 0,5 с; между «ФИДЕР2 — ДГУ» — 30—90 с. В панели ввода с АВР устанавливаются аппаратура защиты линий, блок АВР и распределительная группа TN-системы.

Панель с источником бесперебойного питания ИБП выполняется по схеме с двойным преобразованием и включает в себя автоматический и ручной байпас. Панель с ИБП обеспечивает мгновенное переключение (менее 0,15 с) на питание от аккумуляторных батарей и сглаживает провалы питающего напряжения при переключениях АВР. Количество панелей аккумуляторных батарей определяется мощностью и временем работы от ИБП.

Таблица 7.87. Технические характеристики ЩБРТ

Параметр	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В	~380/220 (50 Гц)
Номинальный ток, А	63; 80; 100; 160
Номинальная мощность разделительного трансформатора, кВ·А	2; 4; 7; 10
Нормируемая двухчасовая перегрузка, %	10—15
Порог срабатывания контроля изоляции, кОм	50 ^{+25%}
Напряжение оперативного тока контроля изоляции, В	24
Оперативный ток контроля изоляции, мА, не более	1
Число одновременно подключаемых ПДК, не более	3
Режим работы	Продолжительный
Вид системы заземления	TN, IT
Класс защиты от поражения электрическим током	1
Степень защиты: НКУ	IP31, IP54
ПДК (пульт дистанционного контроля)	IP55
Климатическое исполнение	УХЛ4, 1
Габариты панелей напольного исполнения (В×Ш×Г)*, мм	1 700×450×450 мм

* За исключением ИБП и батарейного модуля.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха — от +5 °С до +35 °С; высота установки над уровнем моря — не более 1000 м; окружающая среда — невзрывоопасная и не пожароопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

7.5.3. Низковольтные комплектные устройства «Нева» (ОАО «ПО «Элтехника»)

Модульная конструкция усовершенствованных НКУ ЩО-2000 «Нева» позволяет создавать устройства любой степени сложности с возможностью интеграции в системы АСУ ТП и АСКУЭ (табл. 7.88).

Низковольтные комплектные устройства «Нева» имеют внутреннее секционирование, систему механических блокировок, каналы и клапаны для сброса избыточного давления. Надежные коммутационные аппараты и компоненты системы управления гарантируют длительную, надежную и безопасную эксплуатацию НКУ ЩО-2000 «Нева». Низковольтные комплектные устройства «Нева» комплектуются коммутационными аппаратами ведущих производителей, таких как ABB, «Schneider Electric», «Siemens». Габариты зависят от схемы главных цепей.

Таблица 7.88. Технические характеристики НКУ «Нева»

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В:	
главных цепей	400
вторичных цепей	230
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный ток сборных шин, А, не более	6 300
Ток термической стойкости, кА/1 с, не более	100
Ток электродинамической стойкости, кА, не более	275
Степень защиты оболочкой, не более	IP54
Гарантийное обслуживание, лет	3
Нагрузка главных цепей и цепей управления, кВт, не более	250

Низковольтные комплектные устройства отличаются:

- удобством эксплуатации за счет применения автоматических выключателей преимущественно втычного и выкатного исполнений, что позволяет в случае необходимости быстро заменить неисправный выключатель;
- безопасностью благодаря специальному конструктивному выполнению;
- надежностью за счет того, что шинная система отделена от аппаратов, что исключает перекрытия на шинах во время регламентных работ на присоединениях, а также за счет применения высококачественных комплектующих.

7.5.4. Низковольтные комплектные устройства «Ассоль» (ЗАО «Электронмаш»)

Низковольтные комплектные устройства «Ассоль» предназначены для предприятий нефтегазоперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, металлургической отраслей, где имеют место производства с непрерывным технологическим циклом.

Модульная система «Ассоль» позволяет выстраивать НКУ разной конфигурации, эффективно используя площади для его размещения.

Особенности НКУ «Ассоль»:

- степень защиты — до IP54 (в зависимости от требований заказчика);
- внутреннее секционирование позволяет локализовать возгорание при возникновении неотключаемого короткого замыкания;
- использование выдвижных и втычных модулей и аппаратов, облегчающих процесс эксплуатации за счет возможности производить ремонт или замену оборудования без снятия напряжения на всем НКУ;
- возможность использования в агрессивной среде.

Коммутационное оборудование напряжением выше 1 кВ

8.1. Выключатели

8.1.1. Общие технические сведения по выключателям

Технические характеристики выключателей приведены в табл. 8.1—8.7.

Таблица 8.1. Технические характеристики выключателей типов ВГМ-15 и МГУ-20*

Параметр	ВГМ-15	МГУ-20
Номинальное напряжение, кВ	15	20
Номинальный ток, А	11 200	6300
Номинальный ток отключения, кА	90	90
Время отключения выключателя, не более, с:		
собственное	0,15	0,15
полное	0,2	0,2
Время включения выключателя собственное, не более, с	0,7	0,8

* Выключатели (высоковольтные маломасляные) применяют в сетях как с изолированной, так и с глухозаземленной нейтралью.

Таблица 8.2. Технические характеристики вакуумных выключателей

Тип	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном.откл}}$, кА	Время отклю- чения, с		Износостойкость, циклов ВО	
			собст- венное	пол- ное	коммута- ционная при $I_{\text{ном.откл}}$	общая
ВВТЭ-М-10-31,5 20/630, 1000, 1600	630; 1000; 1600	12,5; 20; 31,5	0,04	0,1	50	30 000
ВВПС-1020/630, 1000, 1600		12,5; 20; 31,5	0,055	0,06	50	25 000
ВВЭ-М-10-31,5 20/630, 1000, 1600		20; 31,5	0,04; 0,05	0,1	50	30 000
ВВПВ-1020/630, 1000, 1600		20; 31,5	0,055	0,06	50	25 000
ВВЭ-М-10-31,5; 40/2000, 2500, 3150	2000; 2500; 3150	31,5; 40	0,05	0,01	50	10 000
ВВЧ-СП-10-31,5 (ВВЧ-СЭ-10- 31,5) 20/630, 1000, 1600	630; 1000; 1600	20; 31,5	0,04	0,01	50	30 000
ВВСК-10-12,5 20/630, 1000	2000; 2500; 3150	31,5; 40	0,05	0,2	50	50 000

Таблица 8.3. Технические характеристики выключателей

Тип	$U_{ном},$ А	$I_{ном},$ А	$I_{ном.откл},$ кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{ном.вкл},$ кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей		
Маломалярные выключатели									
ВММ-10А-400-10У2	10	400	10	25,5	10	25,5	10	10/3	0,105
ВММ-10-630-10У2	10	630							
ВММ-10-320-10Т3	11	320							
ВММ-10-20/630У3	11	630	30	52	20	52	20	20/4	0,11; 0,14
ВММ-10-20/630У2	11	630	30	52	20	52	20	20/4	0,14
ВММ-10-20/630У3									
ВММ-10-20/1000У3	11	1000	30	52	20	52	20	20/4	0,11; 0,14
ВММ-10-20/1000У2									
ВММ-10-20/1000У3									
ВММТЭ-10-630-20У3	11	630	30	52	20	52	20	20,8	0,095
ВММТЭ-10-1000-20У3		1000							
ВММТЭ-10-1600-20У3		1600							
ВММТЭ-11-630-20Т3	11	630	20	52	20	52	20	20,8	0,095
ВММТЭ-11-1250-20Т3		1250							
ВММТЭ-10-630-31,5У3	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,095
ВММТЭ-10-1000-31,5У3		1000							
ВММТЭ-10-1600-31,5У3		1600							
ВММТЭ-10-3150-31,5У3	10	3150	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,12
ВММТЭ-11-630-31,5Х3	11	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,095
ВММТЭ-11-1250-31,5Т3		1250							
ВММТЭ-11-2500-31,5Т3		2500							

Продолжение табл. 8.3

Тип	$U_{ном}$, А	$I_{ном}$, А	$I_{ном.откл}$, кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{ном.вкл}$, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший пик	начальное действующее значение периодической составляющей		
ВК-10-630-20У2	10	630	20	52	20	52	20	20/4	0,07
ВК-10-630-20Т3	11	630							
ВК-10-1000-20У2	10	1000							
ВК-10-1250-20Т3	11	1250							
ВК-10-1600-20У2	10	1600							
ВК-10-630-31,5У2	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,07
ВК-10-630-31,5Т3	11	630							
ВК-10-1000-31,5У2	10	1000	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,07
ВК-10-1250-31,5Т3	11	1250							
ВК-10-1600-31,5У2	10	1600							
ВКЭ-10-20/630У3	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,095
ВКЭ-10-20/630Т3	11	630							
ВКЭ-10-20/1000У3	10	1000							
ВКЭ-10-20/1250Т3	11	1250							
ВКЭ-10-20/1600У3	10	1600							
ВКЭ-10-31,5/630У3	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/3	0,095
ВКЭ-10-31,5/630Т3	11	630							
ВКЭ-10-31,5/1000У3	10	1000							
ВКЭ-10-31,5/1250Т3	11	1250							
ВКЭ-10-31,5/1600У3	10	1600							

Продолжение табл. 8.3

Тип	$U_{ном}$, А	$I_{ном}$, А	$I_{ном.откл}$, кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{ном.вкл}$, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший пик	начальное действующее значение периодической составляющей		
МГТ-10-3150-45УЗ	10	3150/-	45/45	120	45	120/51	45/20	45/4	0,15
МГТ-10-4000-45УЗ		4000/-							
МГТ-10-5000-45УЗ		5000/-							
МГТ-10-5000-63УЗ	10	-5000	63/58	170	64	170/100	64/38	64/4	0,13
МГТ-10-2000-45ТЗ	11	-/2000	45/45	120	45	120/51	45/20	45/4	0,15
МГТ-10-3150-45ТЗ		-/3150							
МГТ-10-4000-45ТЗ		-/4000							
МГТ-11-3500/1000ТЗ	11,5	4000/3500	64/58	170	64	170/100	64/38	64/4	0,12
Электромагнитные выключатели									
ВЭМ-10Э-1000/20УЗ	10	1000	20	52	20	52	20	20/4	0,07
ВЭМ-10Э-1250/20УЗ		1250							
ВЭ-6-40/1600УЗ(ТЗ)	6	1600	40	128	40	128	40	40/4	0,075
ВЭ-6-40/2000УЗ(ТЗ)	(6,6)	2000							
ВЭ-6-40/3200УЗ(ТЗ)		3200							
ВЭС-6-40/1600УЗ(ТЗ)		1600							
ВЭС-6-40/2000УЗ(ТЗ)		2000							
ВЭС-6-40/3200УЗ(ТЗ)		3200							
ВЭЭ-6-40/1600УЗ(ТЗ)									
ВЭЭС-6-40/1600УЗ(ТЗ)		1600							

Продолжение табл. 8.3

Тип	$U_{ном}$ А	$I_{ном}$ А	$I_{ном.откл}$ кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{ном.вкл}$, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший пик	начальное действующее значение периодической составляющей		
ВЭ-6-40/2000ТЗ	6,6	2000	40	128	40	128	40	40/3	0,08
ВЭС-6-40/2000ТЗ									
ВЭ-6-40/2500УЗ(ТЗ)	6 (6,6)	2500							
ВЭС-6-40/2500УЗ(ТЗ)									
ВЭ-6-40/3150УЗ	6	3150							
ВЭС-6-40/3150УЗ									
ВЭ-10-1250-20-УЗ(ТЗ)	10	1250	20	51	20	51	20	20/4	0,075
ВЭ-10-1600-20-УЗ(ТЗ)		1600							
ВЭ-10-2500-20-УЗ(ТЗ)		2500							
ВЭ-10-3600-20-УЗ(ТЗ)		3600							
ВЭ-10-1250-31,5-УЗ(ТЗ)	10	1250	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/4	0,075
ВЭ-10-1600-31,5УЗ(ТЗ)		1600							
ВЭ-10-2500-31,5-УЗ(ТЗ)		2500							
ВЭ-10-3600-31,5-УЗ(ТЗ)		3600							
ВЭ-10-40/1600УЗ	10	1600	40	100	40	100	40	40/3	0,08
ВЭ-10-40/1600ТЗ	11								
ВЭ-10-40/2500УЗ	10	2500	40	100	40	100	40	40/3	0,08
ВЭ-10-40/2500ТЗ	11								
ВЭ-10-40/3150УЗ	10	3150							
ВЭ-10-40/3150ТЗ	11								

Продолжение табл. 8.3

Тип	$U_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном.откл}},$ кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{\text{ном.вкл}},$ кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший пик	начальное действующее значение периодической составляющей		
Вакуумные выключатели									
ВВТЭ-10-10/630У2	10	630	10	25	10	25	10	10/3	0,05
ВВТП-10-10/630У2									
ВВТЭ-10-20/630УХЛ2	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,075
ВВТП-10-20/630УХЛ2		1000							
ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2		630							
ВВТП-10-20/1000УХЛ2		1000							
ВВЭ-10-20/630У3	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/3	0,075
ВВЭ-10-20/1000У3		1000							
ВВЭ-10-20/1600У3		1600							
ВВЭ-10-31,5/630У3	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/3	0,075
ВВЭ-10-31,5/1000У3		1000							
ВВЭ-10-31,5/1600У3		1600							
ВВЭ-10-31,5/2000У3		2000							
ВВЭ-10-31,5/3150У3	11	3150							0,075
ВВЭ-10-20/630Т3		630	20	52	20	20	52	20	
ВВЭ-10-20/1250Т3	11	1250						20/3	0,075
ВВЭ-10-31,5/630Т3		630	31,5	80	31,5	31,5	80	31,5	
ВВЭ-10-31,5/1250Т3		1250						31,5/3	
ВВЭ-10-31,5/1600Т3		1600							
ВВЭ-10-31,5/2500Т3		2500							

Окончание табл. 8.3

Тип	$U_{ном}$, А	$I_{ном}$, А	$I_{ном.откл}$, кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		$I_{ном.вкл}$, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
				наибольший	начальное действующее значение периодической составляющей	наибольший пик	начальное действующее значение периодической составляющей		
ВБПЭ-10-31,5/1600У3	10	1600	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/3	0,08
ВБСН-10-25/1000У3	6, 10	1000	25	63	25	63	25	25/3	0,06
ВБКЭБ-10-20/630У3	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,07
ВБКЭБ-10-20/1000У3		1000							
ВБКЭБ-10-20/1600У3		1600							
ВБКЭБ-10-31,5/630У3	10	630	31,5	80	31,5	80	31,5	31,5/3	0,07
ВБКЭБ-10-31,5/1000У3		1000							
ВБКЭБ-10-31,5/1600У3		1600							
ВБКЭР-10-20/630У3	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,08
ВБКЭР-10-20/1000У3		1000							
ВБКЭР-10-20/1600У3		1600							
ВБМЭ-10-40/2500У3	10	2500	40	100	40	100	40	40/3	0,07
ВБМЭ-10-40/3150У3		3150							
ВВ/TEL-6-8/800	6	800	8	20	8	20	8	8/3	0,025
ВВ/TEL-6-10/800	6	800	10	25	10	25	10	10/3	0,025
ВВ/TEL-10-8/800	10	800	8	20	8	20	8	8/3	0,025
ВВ/TEL-10-12,5/800	10	8800	12,5	32	12,5	32	12,5	12,5/3	0,025
ВВ/TEL-10-16/800	10	8800	16	40	16	40	16	16/3	0,025
ВВ/TEL-10-20/800	10	8800	20	50	20	50	20	20/3	0,025
ВБТ-10-20/630УХЛ3	10	630	20	52	20	52	20	20/3	0,05

Таблица 8.4. Технические характеристики выключателей вакуумных серии ВБЭ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	1250; 1600
Номинальный ток отключения, кА	20; 31,5
Отключаемый емкостной ток, не более, А	1600
Время отключения выключателя, с, не более:	
собственное	0,06
полное	0,08
Износостойкость общая, циклов ВО	10 000
Износостойкость коммутационная, циклов ВО:	
при номинальном токе	20 000
при номинальном токе отключения	50

Примечание. Выключатели вакуумные серии ВБЭ-110 применяют для ЗРУ напряжением 110 кВ, в том числе для коммутации трансформаторов ДСП; привод электромагнитный.

Таблица 8.5. Основные технические характеристики выключателей вакуумных серии ВБЦ-35 (трехполюсных)

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальный ток, А	1250; 1600
Номинальный ток отключения, кА	20
Отключаемый емкостной ток, А, не более	1250
Ток термической стойкости, кА/3 с	20
Амплитуда предельного сквозного тока, кА	50
Время отключения выключателя, с, не более:	
собственное	0,06
полное	0,08
Время включения собственное, с, не более	0,3
Износоустойчивость общая, циклов ВО	50 000
Износостойкость коммутационная:	
при номинальном токе, циклов ВО	20 000
при номинальном токе отключения, циклов ВО	50
при номинальном токе отключения, операций О	70

Примечание. Выключатели вакуумные серии ВБЦ-35 (трехполюсные) применяют в электроустановках с частыми коммутациями; выключатель заменяет любой выключатель класса 35 кВ внутренней установки; имеет встроенное устройство ограничения перенапряжений.

Таблица 8.6. Основные технические характеристики выключателей вакуумных серии ВБКЭ-10 с пружинным приводом

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток отключения, кА	20; 31,5
Нормированные параметры тока включения, кА:	
наибольший пик тока КЗ	52; 80
начальное действующее значение периодической составляющей	20; 31,5
Предельный сквозной ток, кА:	
начальное действующее значение периодической составляющей	20; 31,5
амплитуда	52; 80
Предельный ток термической стойкости, кА	20; 31,5
Время протекания предельного тока термической стойкости, с	3
Минимальная бестоковая пауза при АПВ, с, не более	0,3
Время отключения выключателя, с, не более:	
собственное	0,06
полное	0,08
Время включения выключателя собственное, не более, с	0,06
Износоустойчивость общая, циклов ВО:	
при номинальном токе отключения	50
при номинальном токе	25 000

Примечание. Выключатели вакуумные серии ВБКЭ-10 с пружинным приводом приспособлены для встраивания в шкафы КРУ выкатного типа и предназначены для замены маломасляных выключателей типов ВК-10 и ВКЭ-10 в шкафах КРУ серий КМ-1, К-104, К-59, К-ХП, К-ХХVI, КРУ-2-10, КРУ-37.

Таблица 8.7. Сопротивления постоянному току токоведущего контура контактной системы масляных и электромагнитных выключателей

Тип выключателя	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Сопротивление контактов, мкОм, не более
ВПМ-10	630	78
	1000	72
МГ-10, МГ-20	5000	300*
	6000	Нет данных
МГТ-10	3150	18; 240*
	4000	14; 240*
	5000	12; 240*
ВМ-14, ВМ-16	200	350
	600	150
	1000, 1250	100
ВМ-22, ВМ-23	600	150
	1000, 1500	100
ВМГ-133	600	100
	1000	75

Окончание табл. 8.7

Тип выключателя	$I_{\text{ном}}$, А	Сопротивление контактов, мкОм, не более
ВМГ-10	630	75
	1000	70
ВМП-10	630	78
	1000	72
ВМПЭ-10	630	50
	1000	40
	1600	30
ВМПП-10	630	55
	1000	45
	1600	32
ВМП-10, ВМП-10П	600	55
	1000	40
	1500	30
ВММ-10	630	85
ВК-10, ВКЭ-10	630	50/45**
	1000	45/40**
	1600	25
ВЭ-10, ВЭС-6	1 600	30
	2000—2500	20
	3200—3600	15
С-35	630	310
	3200	60
МКП-35	1000	250
ВТ-35, ВТД-35	630	550
МКП-110Б	630	1300
	1000	800
У-110-2000-40	2000	800
У-110-2000-50	2000	365
У-220-1000/2000-25	2000	600
У-220-2000-40	2000	450
ВМТ-110	—	115/85***
ВМТ-220	—	115/85***
ММО-110	1250	180
ВМПЭ-10	3150	10
ВММ-10	400	55
МКП-220	600	1200
МКП-274	600	800
МКП-110М	630	800
МКП-110-5	1000	800
ВКЭ-М-10	1600	25

* Сопротивление дугогасительных контактов.

** В числителе указаны данные для выключателей на номинальный ток отключения 20 кА, в знаменателе — на 31,5 кА.

*** В числителе указано сопротивление дугогасительного устройства для выключателей на номинальный ток отключения 25 кА, в знаменателе — на 40 кА.

8.1.2. Выключатели вакуумные высоковольтные 10(6) кВ серии ВВп-1-10 (ОАО «Позитрон»)

Вакуумные выключатели серии ВВп-1-10 предназначена для эксплуатации в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 6 или 10 кВ с изолированной или заземленной нейтралью (табл. 8.8, 8.9).

Вакуумные выключатели серии ВВп-1-10 применяются в комплектных распределительных устройствах, а также в камерах КСО как при новом строительстве, так и при замене выключателей прежних лет выпуска. Привод — пружинно-моторный. Исполнение — выкатное (В); стационарное (С).

Таблица 8.8. Технические характеристики выключателей серии ВВп-1-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Номинальный ток, А	630, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150
Номинальный ток отключения, кА	20; 25; 31,5; 40
Климатическое исполнение	У2

Таблица 8.9. Номинальный ток и номинальный ток отключения выключателей серии ВВп-1-10

Тип выключателя	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном.откл}}$, А	Ток электродинамической стойкости, кА
ВВп-1-10/630/20/С	630	20	50
ВВп-1-10/630/20/В			
ВВп-1-10/630/25/С		25	63
ВВп-1-10/630/25/В			
ВВп-1-10/1250/20/С	1250	20	50
ВВп-1-10/1250/20/В			
ВВп-1-10/1250/25/С		25	63
ВВп-1-10/1250/25/В			
ВВп-1-10/1250/31,5/С		31,5	80
ВВп-1-10/1250/31,5/В			
ВВп-1-10/1600/31,5/С	1600		100
ВВп-1-10/1600/31,5/В			
ВВп-1-10/2000/31,5/С	2000	31,5	100
ВВп-1-10/2000/31,5/В			
ВВп-1-10/2000/40/С	2000	40	100
ВВп-1-10/2000/40/В			
ВВп-1-10/2500/31,5/С	2500	31,5	100
ВВп-1-10/2500/31,5/В			
ВВп-1-10/2500/40/С		40	100
ВВп-1-10/2500/40/В			
ВВп-1-10/3150/40/С	3150	40	100
ВВп-1-10/3150/40/В			

Отличительные особенности выключателей серии ВВп:

- высокий коммутационный и механический ресурс;
- отсутствие необходимости проведения текущего и среднего ремонтов;
- малое потребление мощности из сети оперативного питания;
- полная взаимозаменяемость с устаревшими маломасляными выключателями по главным и вспомогательным цепям;
- малые габариты и масса.

8.1.3. Вакуумные выключатели ВВТЭ-М-10, ВБПС-10, ВВЭ-М-10, ВБПВ-10, ВБЧ-СП-10, ВБЧ-СЭ-10, ВБСК-10 (ОАО «Электрокомплекс», г. Минусинск)

Технические характеристики вакуумных выключателей приведены в табл. 8.10, 8.11.

Таблица 8.10. Технические характеристики вакуумных выключателей ВВТЭ-М-10, ВБПС-10, ВВЭ-М-10, ВБПВ-10

Параметр	ВВТЭ-М-10	ВБПС-10	ВВЭ-М-10	ВБПВ-10
Номинальное напряжение, кВ	10			
Номинальный ток, А	630—1600			
Номинальный ток отключения, кА	12,5; 20; 31,5	1,5; 20; 31,5	20; 31,5	
Полное время отключения, с	0,04	0,055	0,04	0,035
Собственное время включения, с	0,1	0,06	0,1	0,06
Коммутационная износостойкость, циклов ВО: при номинальном токе при номинальном токе отключения	50 000	25 000	50 000	25 000
	50			
Габариты (В×Ш×Д), мм	640×547×436	650×560×390	828×617×593	828×617×623
Масса, кг, не более	77	73	96	92
Привод	Электромагнитный	Пружинно-моторный	Электромагнитный	Пружинно-моторный

Примечание. 1. Выключатели ВВТЭ-М-10 и ВБПС-10 предназначены для установки в ячейки КРУЭ-6П, 2КВЭ-6М, КРУП-6П, а также для замены маломасляных выключателей в любых типах распределительных устройств; исполнение — стационарное. 2. Выключатели ВВЭ-М-10 и ВБПВ-10 предназначены для установки в КРУ типов К-104, КМ-1Ф, К-49. Выключатели по своим присоединительным размерам и схемам управления взаимозаменяемы с выключателями типов ВК-10 и ВКЭ-10; исполнение — выкатной элемент.

Таблица 8.11. Технические характеристики вакуумных выключателей ВБЧ-СП-10, ВБЧ-СЭ-10, ВБСК-10, ВВЭ-М-10 с электромагнитным приводом

Параметр	ВБЧ-СП-10	ВБЧ-СЭ-10	ВБСК-10	ВВЭ-М-10
Номинальное напряжение, кВ	10			
Номинальный ток, А	630–1 600			2000—3150
Номинальный ток отключения, кА	20; 31,5		12,5; 20	31,5–40
Полное время отключения, с	0,04		0,05	
Собственное время включения, с	0,1			
Коммутационная износостой- кость, циклов ВО:				
при номинальном токе	30 000		50 000	10 000
при номинальном токе отключения	50		50	25
Габариты (В×Ш×Д), мм	960×560×516	1160×560×516	492×467×310	945×624×678
Масса, кг, не более	104		42	210

Примечания: 1. Выключатели ВБЧ-СП-10 и ВБЧ-СЭ-10 предназначены для установки в КРУ типов КРУЭ10, КРУЭП-10, ПП-10-6/630ХЛ1; исполнение — выкатной элемент. 2. Выключатель ВБСК-10 предназначен для замены маломасляных выключателей; исполнение — стационарное. 3. Выключатель ВВЭ-М-10 предназначен для установки в КРУ типа К-105 и замены маломасляных выключателей; исполнение — выкатной элемент, стационарное.

8.2. Разъединители

8.2.1. Общие технические сведения по разъединителям

Технические характеристики разъединителей приведены в табл. 8.12, 8.13.

Таблица 8.12. Технические характеристики разъединителей

Тип	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном},$ А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
Для внутренней установки								
РВР(3)-10/2500У2 (УЗ)	10	2500	125	45/4	ПДВ-1УЗ; ПЧ-50УЗ; ПР-ЗУЗ	ПР-ЗУЗ	—	545×1050×—
РВР(3)-10/4000УЗ	10	4000	125	45/4	ПДВ-1УЗ; ПЧ-50УЗ; ПР-ЗУЗ	ПР-ЗУЗ	—	545×1050×—
РВР(3)-Ш-10/2000УЗ	10	2000	85	31,5/4	ПДВ-1УЗ; ПЧ-50УЗ; ПР-ЗУЗ	ПР-ЗУЗ	—	790×1100×—
РВР(3)-Ш-12/2000ТЗ	12	2000	85	31,5/4	ПД-1ТЗ; ПЧ-50Т; ПД-1ТЗ	ПР-ЗТ	—	790×1090×—
РВР(3)-12/4000ТЗ	12	4000	125	45/4	ПД-1ТЗ	ПЧ-50Т	—	545×1050×—
РВР(3)-24/63000ТЗ	24	6300	220	80/4	ПД-1ТЗ	ПЧ-50Т	—	1050×1490×—
РВР(3)-24/8000ТЗ	24	8000	300	112/4	ПД-1ТЗ	ПЧ-50Т	—	1050×1490×—
РВР(3)-20/6300УЗ	20	6300	220	80/4	ПДВ-1УЗ; ПЧ-50	ПЧ-50Т	155—225	1050×1400×100
РВР(3)-20/8000УЗ	20	8000	300	112/4	ПЧ-50	ПЧ-50	227—205	1050×1400×700
РВ-20/630УЗ	20	630	50	20/4	ПР-3	ПЧ-50	85	550×1200×—
РВ-20/1000УЗ	20	1000	55	20/4	ПР-3	ПЧ-50	87	550×1200×—
РВ-35/630УЗ	35	630	50	20/4	ПР-3	ПЧ-50	86	1340×1750×—
РВ-35/1000УЗ	35	1000	55	20/4	ПР-3	ПЧ-50	147	1340×1750×—
РВ3-1а-20/630УЗ	20	630	50	20/4	ПР-3	ПР-3	95	670(775)×1200×—
РВ3-1а(16)-20/1000УЗ	20	1000	55	20/4	ПР-3	ПР-3	96	670(775)×1200×—
РВ3-1а(16)-35/630УЗ	35	630	50	20/4	ПР-3	ПР-3	97	1340×1750×—
РВ3-1а(16)-35/1000УЗ	35	1000	80	31,5/4	ПР-3	ПР-3	171	1340×1750×—
РВ3-2-20/630УЗ	20	630	50	20/4	ПР-3	ПР-3	113	800×1200×—

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{ном}},$ А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РВЗ-2-20/1000УЗ	20	1000	55	20/4	ПР-3	ПР-3	114	800×1200×—
РВЗ-2-35/630УЗ	35	630	51	20/4	ПР-3	ПР-3	115	1340×1750×—
РВЗ-2-35/1000УЗ	35	1000	80	31,5/4	ПР-3	ПР-3	195	1340×1750×—
РВ(З)-33/800ТЗ	33	800	38	16/4	ПР-3Т	ПР-3Т	—	940×1905×1750
РВ(З)-33/400ТЗ	33	400	21	8/4	ПР-3Т	ПР-3Т	—	930×1765×1750
РВК-10/2000	10	2000	85	31,5/4	ПР-3УЗ; ПЧ-50УЗ	—	26	350×560×—
					ПДВ-1УЗ	—	74	700×980×—
РВК-35/2000	35	2000	115	45/4	ПР-3УЗ			1600×820×857
РВП(З)-20/12500УЗ	20	12500	250	100/4	ПД-12УЗ	ПЧ-50	23	436×171×468
РВ-6/400	6	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	—	43	381×180×406
РВФ-6/400	6	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	—	38	391×180×437
РВФ-6/630	6	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	83	381×180×406
РВФ-6/1000	6	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	44	397×180×630
РВФЗ-6/630	6	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	70	410×180×649
РВФЗ-6/1000	6	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	31	191×463×498
РВЗ-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	33	191×470×733
РВЗ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	49	221×470×773

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РВЗ-10/1000	10	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	45	397×200×630
РВФЗ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	71	410×202×649
РВФЗ-10/1000	10	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР-10; ПР-11	14—17	460×486×380
РЛВОМ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	26	191×465×468
РВ-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	—	28	191×470×468
РВ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	42	210×470×484
РВ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	5,9	429×468×—
РВО-40/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	—	6,3	433×468×—
РВО-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	11	440×480×—
РВО-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	37	381×191×406
РВФ-10/400	10	400	41	16/4	ПР-10; ПР-11	—	—	—
РВФ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	40	397×191×401
РВФ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	ПР	65	410×175×424
РВЗ-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР	53	—
РВЗ-11/1000	11	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР	61	—
РЛВОМ-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	20— 24,7	—
РВФ-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	64	410×180×424
РВФ-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	70	412×180×466

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{ном}},$ А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РВО-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	11,5	441×484×—
РВО-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	14,2	455×510×—
РВФ3-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР	69	410×180×660
РВФ3-11/1000	11	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР	75	412×180×660
РВ-15С-1У3	15	—	450/ 210	90/4	ПДВ-1У3	—	—	1040×920×670— 1660
РВФ-10/630	10	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	40	397×191×401
РВФ-10/1000	10	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	ПР	65	410×175×424
РВ3-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР	53	—
РВ3-11/1000	11	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР	61	—
РДВОМ-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	20—24,7	—
РВФ-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	64	410×180×424
РВФ-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	70	412×180×466
РВО-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	—	11,5	441×484×—
РВО-11/1000	11	1000	100	40/4	ПР-10; ПР-11	—	14,2	455×510×—
РВФ3-11/630	11	630	52	20/4	ПР-10; ПР-11	ПР	69	410×180×660
РВФ3-11/1000	11	1000	81	31,5/4	ПР-10; ПР-11	ПР	75	412×180×660
РВ-15С-1У3	15	—	450/ 210	90/4	ПДВ-1У3	—	—	1040×920×670— 1660
Для наружной установки								
РНД(3)-35/1000У1	35	1000	63	25/4	ПР-У1; ПБ-20У2	ПР-У1; ПБ-20У2	—	715×1170×—

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РНД(3)-35/1000ХЛ1	35	1000	63	25/4	ПР-ХЛ1-110В; ПВ-20У; ПРН-110В	ПР-ХЛ1; ПВ-20	—	715×1170×—
РНД(3)-35Б/1000У1	35	1000	63	25/4	ПВ-20У; ПРН-110; ПР-У1	ПР-У1; ПВ-20У	—	715×—×—
РНД(3)-35У/1000У1	35	1000	63	25/4	ПР-У1; ПРН-110; ПВ-20У	ПР-У1; ПВ-20У	—	1000×—×—
РНД3-35/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1	—	870×—×—
РНД3-35/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1	—	870×—×—
РНД(3)- 35(Б)/2000У1(ХЛ1)	35	2000	80	31,5/4	ПР-У1; ПРН-110	ПР-У1	—	870×—×—
РНД(3)-35У/2000У1	35	2000	80	31,5/4	ПВ-20У; ПРН-110; ПР-У1	ПВ-20У; ПР-У1	—	1140×—×—
РНД(3)-35/3200У1	35	3200	125	50/3	ПР-У1	ПР-У1	—	—
РНД(3)-33У/630ТУ	33	630	64	25/4	ПР-Т1	ПР-Т1	—	1100×855×—
РНД(3)-33У/1250Т1	33	1250	80	31,5/4	ПР-Т1	ПР-Т1	—	1140×870×—
РНД(3)-66/6300Т1	66	630	80	31,5/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	1400×1805×—
РНД(3)-66У/1250Т1	66	1250	100	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	1565×1845×—
РНД(3)-110/630Т1	110	630	100	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	1556×2343×—
РНД(3)-110/1250Т1	110	1250	100	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	1644×2456×—
РНД(3)-132/630Т1	132	630	100	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	2050×2550×—
РНД(3)-132/1250Т1	132	1250	100	40/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	2080×2550×—
РНД(3)-220/630Т1	220	630	80	31,5/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	—	—	2650×3370×—

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{ном}},$ А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РНД(3)-220/1250Т1	220	1250	80	31,5/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	2670×3370×—
РНД(3)-220У/1250Т1	220	1250	80	31,5/3	ПР-Т1; ПДВ-220Т	ПР-Т1	—	4100×3980×—
РНД(3)-110(Б) (У)/1000У1 (ХЛ)	110	1000	80	31,5/3	ПР-У1; ПНД-1У1; ПДН- 110В	ПР-У1; (ПР-ХЛ1)	—	1400×1805×—
РНД(3)- 110(У)/2000У1 (ХЛ)	110	2000	100	40/3	ПР-У1; ПНД-1У1	ПР-У1	—	1485×1580×—
РНД(3)-110/3200У1	110	3200	125	50/3	ПР-У1; ПНД-1У1	ПР-У1	—	1625×2000×—
РНД(3)-150/1000У1	150	1000	100	40/3	ПР-У1; ПДН-1У1	ПР-У1	—	2050×2550×—
РНД(3)-150/2000У1	150	2000	100	40/3	ПР-У1; ПДН-1У1	ПР-У1	—	2050×2050×—
РНД(3)-15Р/3200У1	150	3200	112	45/3	ПР-У1; ПНД-1У1	ПР-У1	—	2080×2610×—
РНД(3)- 220/1000У1 (ХЛ1)	220	1000	100	40/3	ПР-У1; ПДН-1У1	ПР-У1	—	2650×3370×—
РНД(3)-220(У)/ 2000У1 (ХЛ1)	220	2000	100	40/3	ПР-У1; ПДН-1У1	ПР-ХЛ1	—	2590×3970×—
РНД(3)-220/3200У1	220	3200	125	50/3	ПР-У1; ПДН-У1	ПР-У1	—	2590×3370×—
РНД-330(У)/3200У1	330	3200	160	63/2	ПДН-1У1	ПРН-1У1	—	4300×4755×—
РНД-500/3200У1 (ХЛ1)	500	3200	160	63/2	ПДН-1У1	ПРН-1У1	—	5400×5955×—
РНД3.1(2)- 330(У)/3200У1	300	3200	160	63/2	ПДН-1У1	ПРН-1У1	—	4300×4755×—
РНД3.1(2)- 500/3200У1 (ХЛ1)	500	3200	160	63/2	ПДН-1У1	ПРН-1У1	—	5400×4755×—
РПД-500-1(2)/3200У1	500	3200	160	63/2	Электродвигательный	—	6060	—
РПД-750-1(2)/3200У1	750	3200	160	63/2	Электродвигательный	—	9330	—

Продолжение табл. 8.12

Тип	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, А	Предель- ный сквоз- ной ток главных ножей, кА	Ток термиче- ской стойкости главных ножей/ время его про- хождения, кА/с	Тип привода		Масса, кг	Габариты (В×Ш×Д), мм
					главных ножей	зазем- ляющих ножей		
РНВ(3).1(2)- 500/2000Т1	500	2000	45	16/2	ПДН-220Т	ПРН-1Т1	—	8450×7800×—
РНВ(3).1(2)- 750П/4000	750	4000	160	63/2	ПДН-1	ПРН-1	—	—
РОН-10К/500У2	10	500	180	71/4	ПЧН	—	135	850×670×400

Примечание. Структура условного обозначения: Р — разъединитель; В — внутренней установки; Н — наружной установки; К — с корробочной токоведущей системой; Д — двухколонковый; В — с вертикальным движением главных ножей (РНВ); Р — рубящего типа; Ф — фигурный; Л — линейный; 0 — однополюсный; 3 — с заземляющими ножами; У — с усиленной изоляцией; Б — с механической блокировкой главных и заземляющих ножей; П — наличие рычажной передачи для уменьшения крутящего момента на валу электро-двигательного привода; цифры 1 и 2, стоящие перед первым дефисом, обозначают число заземляющих ножей с пластинами. Цифра в числителе — номинальное напряжение, кВ; цифра в знаменателе — номинальный ток, А; буквы после цифр означают климатическое исполнение (У — район с умеренным климатом; Т — с тропическим климатом; ХЛ — с холодным климатом); цифры 1 и 3 на конце обозначают категорию размещения (1 — на открытом воздухе, 3 — в закрытом помещении с естественной изоляцией, 2 — для рабо-ты в помещениях со свободным доступом наружного воздуха).

Таблица 8.13. Допустимые сопротивления контактных систем разъединителей

Тип разъединителя	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Допустимое сопротивление, мкОм
РЛН	35—220	600	220
РОНЗ	500	2000	200
		600	175
Остальные типы	Все классы	1000	120
		1500—2000	20

8.2.2. Вакуумные разъединители (ФГУП ПО «Север»)

Вакуумные разъединители предназначены для работы в трехфазных цепях переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 1140 В и номинальным током 400 А в нормальном режиме работы с изолированной нейтралью (табл. 8.14).

Вакуумные разъединители применяются:

- для коммутации под напряжением участков электрической цепи при отсутствии нагрузочного тока;
- изменения схемы соединения;
- обеспечения безопасного производства на отключенном участке;
- включения и отключения холостого тока трансформаторов, токов небольших нагрузок;
- установки в взрывозащищенных пускателях рудничного исполнения, применяемых в составе горно-шахтного оборудования;
- установки в энергетических блоках управления комбайнами горно-шахтного оборудования.

Условия эксплуатации: максимальное значение рабочей температуры при эксплуатации вакуумного разъединителя — +55 °С; минимальное значение рабочей температуры при эксплуатации вакуумного разъединителя — -45 °С.

Таблица 8.14. Технические характеристики вакуумных разъединителей

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	1140
Частота, Гц	50 (60)
Номинальный ток, А	400
Электрическое сопротивление главной цепи, мкОм	150
Масса коммутационного модуля, кг	7
Сквозной ток КЗ, кА:	
в течение одной полуволны (амплитудное значение)	10
в течение 0,2 с (действующее значение)	8
Раствор главных контактов, мм	$2 \pm 0,2$
Провал главных контактов, мм	$1 \pm 0,2$

Вакуумный разъединитель укомплектован вспомогательными контактами, позволяющими сначала производить отключение вспомогательных цепей, а потом при повороте вала на 30° отключать главные цепи.

Достоинства вакуумных разъединителей:

- отсутствие открытой электрической дуги;
- меньшие (в 1,5—2 раза) габариты по сравнению с габаритами воздушных разъединителей, аналогичных по техническим характеристикам;
- исполнение корпуса из трекингстойкого материала, обеспечивающего высокую взрыво- и пожароопасность.

Трансформаторы

9.1. Общие технические сведения по трансформаторам

Буквенное обозначение трансформатора содержит следующие данные в указанном порядке: исполнение трансформатора — трехфазное Т, однофазное О; вид охлаждения — естественная циркуляция воздуха и масла М, естественное воздушное охлаждение при открытом исполнении С, естественное воздушное охлаждение при защищенном исполнении СЗ; принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла Д; число обмоток — трехобмоточный трансформатор Т. Выполнение одной обмотки с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) обозначают буквой Н. Трансформатор с расщепленной обмоткой НН обозначают буквой Р (например, ТРДН). Исполнение трансформатора для собственных нужд электростанций обозначают буквой С (например, ТРДНС); Г — грузоупорное исполнение.

Для обозначения автотрансформатора добавляют букву А впереди букв, указанных выше. Исполнение трансформатора с естественным масляным охлаждением с защитой при помощи азотной подушки, без расширителя, обозначают дополнительной буквой З после вида охлаждения (например, ТМЗ). Буква А может стоять на втором, третьем или четвертом месте — в этом случае используются трансформаторы с алюминиевыми обмотками (например, ТСЛ, ТСЗЛ). Тип ТСЗ означает трансформатор сухой, защищенный (азотной подушкой, герметичный, без расширителя); буква В в типе трансформатора означает витой магнитопровод; вторая буква М в типе трансформатора означает модернизированный (например, ТМВМЗ).

Числитель дроби — номинальная мощность, $\text{kB} \cdot \text{A}$; знаменатель — номинальное напряжение, кВ. Цифра после дроби — год разработки; У1 — климатическое исполнение и категория размещения.

Технические характеристики трансформаторов приведены в табл. 9.1—9.16.

Таблица 9.1. Технические характеристики силовых трехфазных трансформаторов с естественным охлаждением

Тип	$S_{\text{т.ном.}}$ кВ · А	Напряжение, кВ		Потери, кВт		u_k , %	I_x , %	Сопротивление фазы, мОм	
		ВН	НН	ΔP_x	ΔP_k			x	r
ТМ-10/6	10	6	0,4	0,105	0,335	5,5	10	363	240
ТМ-20/6	20	6	0,4	0,18	0,6	5,5	9	152	84
ТМ-20/10	20	10	0,4	0,22	0,6	5,5	10	369	240
ТМ-50/6	50	6	0,525	0,35	1,325	5,5	6,5	78,5	38
ТМ-50/10	50	10	0,4	0,44	1,325	6,5	7,5	152	84
ТМ-100/35	100	35	0,525	0,9	2,4	6,5	7	96	38
ТМ-180/6	180	6	0,525	1	4	5,5	8	26	9,7
ТМ-180/10	180	10	0,525	1,2	44,1	5,5	6,6	25,8	9,7
ТМ-180/35	180	35	0,4	1,5	4,1	6,5	7	53,4	20
ТМ-320/6	320	6	0,525	16	6,07	5,5	7,5	15	4,9
ТМ-320/10	320	10	0,525	1,9	6,2	5,5	6	14,9	4,8
ТМ-320/35	320	35	0,4	2,3	6,2	6,5	6,5	31	9,7
ТМ-560/10	560	10	6,3	2,5	9,4	5,5	6	10,8	3,9
ТМ-560/35	560	35	10,5	3,35	9,4	6,5	6,5	17,9	4,8
ТМ-750/10	750	10	0,525	4,1	11,9	5,5	6	14,6	4,14
ТМ-1000/35	1000	35	10,5	5,1	15	6,5	5,5	17,4	4,14

Примечание. Сопротивления фазы обмотки приведены к обмотке низкого напряжения.

Таблица 9.2. Технические характеристики трансформаторов ТСМА, ТМА, ТАМ

Тип	$S_{\text{т.ном.}}$ кВ · А	Напряжение, кВ		Потери, кВт		u_k , %	I_x , %	КПД, %
		ВН	НН	ΔP_x	ΔP_k			
ТСМА-60/6-10	60	10	0,4	0,575	1,3	4,5	7,5	97,34
ТСМА-100/6-10	100	10	0,4	0,4	2,07	4,5	6,5	97,42
ТСМА-100/6-10	100	10	0,525	0,575	2,07	4,5	6,5	97,42
ТСМА-180/6-10	180	10	0,525	1	3,2	4,5	6	97,72
ТСМА-320/6-10	320	10	0,525	1,6	4,85	4,5	5,5	98,02
ТСМА-320/6-10/0,4	320	10	0,4	1,6	4,85	4,5	5,5	98
ТСМА-320/6-10/0,23	320	10	0,23	1,6	4,85	4,5	5,5	98
ТМА-100/6-10	100	10	0,525	0,65	2,4	5,5	7,0	97,42
ТМА-180/6-10	180	10	0,525	1,1	4	5,5	6,5	97,72
ТМА-320/6-10	320	10	0,525	1,7	6,1	5,5	6,5	98,02
ТАМ-560/10	560	10	0,525	2,5	9,4	5,5	6	97,8
ТАМ-750/10	750	10	0,525	4,1	11,9	5,5	6	97,9
ТАМ-1000/10	1000	10	0,525	4,9	15	5,5	5	98,05
ТАМ-1800/10	1800	10	0,525	8	24	5,5	4,5	98,25
ТАМ-1800/35	1800	35	0,525	8,3	24	6,3	5	98,3
ТАМ-3200/35	3200	38,5	10,5	11,5	37	7	4,5	98,51
ТАМ-5600/35	5600	38,5	10,5	18,50	57	7,5	4,5	98,6

Таблица 9.3. Допустимые послеаварийные перегрузки для сухих трансформаторов

$k_{д.п}^*$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$t_{д.п.}^{**}$ мин	60	45	32	18	5

* Коэффициент допустимой перегрузки.

** Продолжительность допустимой перегрузки.

Таблица 9.4. Технические характеристики силовых трехфазных сухих защищенных трансформаторов общего назначения мощностью от 10 до 160 кВ·А на напряжение 660 В

Тип	$S_{т.ном'}$ кВ·А	Потери, Вт		u_k , %	I_x , %	Масса, кг	Габариты (В×Д×Ш), мм
		ΔP_x	ΔP_k				
ТСЗ-10/0,66	10	90	280	4,5	7,0	150	650×700×440
ТСЗ-16/0,66	16	125	400	4,5	5,8	180	680×760×480
ТСЗ-25/0,66	25	180	560	4,5	4,8	240	720×820×520
ТСЗ-40/0,66	40	250	800	4,5	4,0	320	820×890×540
ТСЗ-63/0,66	63	355	1090	4,5	3,3	440	920×970×580
ТСЗ-100/0,66	100	500	1500	4,5	2,7	580	980×1060×620
ТСЗ-160/0,66	160	710	2060	4,5	2,3	800	1150×1150×680

Примечания: 1. Номинальные напряжения ВН — 380, 500 и 660 В; НН — 230 и 400 В.

2. Обмотки ВН соединены в звезду; начала и концы фаз обмоток НН выведены на панель зажимов, что позволяет соединять обмотки НН в звезду или треугольник.

3. Обмотки ВН — ПБВ $\pm 5\%$.

Таблица 9.5. Технические характеристики силовых трехфазных сухих защищенных трансформаторов общего назначения мощностью от 160 до 1600 кВ·А на напряжение 10 и 15 кВ

Тип	$S_{т.ном'}$ кВ·А	Потери, Вт		u_k , %	I_x , %	Масса, кг	Габариты (В×Д×Ш), мм
		ΔP_x	ΔP_k				
ТСЗ-160/10	160	700	2700	5,5	4	1400	1700×1800×950
ТСЗ-250/10	250	1000	3800	5,5	3,5	1800	1850×1850×1000
ТСЗ-400/10	400	1300	5400	5,5	3	2400	2150×2250×1000
ТСЗ-630/10	630	2000	7300	5,5	1,5	3400	2300×2250×1100
ТСЗ-1000/10	1000	3000	11 200	5,5	1,5	4600	2250×2400×1350
ТСЗ-1600/10	1600	4200	16 000	5,5	1,5	6500	3200×2650×1350
ТСЗ-250/15	250	1100	4440	8	4	2200	1850×2300×1200
ТСЗ-400/15	400	1400	6000	8	3,5	2700	2150×2450×1200
ТСЗ-630/15	630	2300	8700	8	2	4000	2350×2450×1350
ТСЗ-1000/15	1000	3200	12 000	8	2	5000	2750×2550×1350
ТСЗ-1600/15	1600	4300	16 000	8	2	6800	3200×2600×1350
ТСЗС-630/10*	630	2000	8500	8	2	3800	2300×2250×1100
ТСЗС-1000/10*	1000	3000	12 000	8	2	5600	2550×2400×1350

* Трансформаторы для собственных нужд электростанций.

Таблица 9.6. Технические характеристики сухих трансформаторов для электрических распределительных сетей с литой изоляцией «Trihal» (Франция)

Параметр	Значение												
Номинальная мощность*, кВ·А	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Номинальное напряжение обмотки ВН, кВ	6,10												
Уровень изоляции, кВ, для:													
6 кВ	7,2												
10 кВ	12												
Частота, Гц	50												
Максимальная температура окружающей среды, °С	40												
Напряжение холостого хода обмотки НН, В: между фазами между фазой и нейтралью	400 231												
Способ и диапазон регулирования (без возбуждения)	ПБВ±2×2,5%												
Схема и группа соединения обмоток	Δ/Y ₀ – 11 или Δ/Y ₀ – 5 (треугольник, звезда с выведенной нейтралью)												
Потери холостого хода, Вт: при 75 °С при 120 °С	610	820	950	1150	1300	1500	1700	2000	2500	2800	3500	4300	5500
	2300	3100	3600	4300	5200	6400	7700	8800	10500	12300	14900	18300	22000
	2700	3500	4100	4900	6000	7300	8800	10000	12000	14000	17000	21000	25000
Напряжение КЗ, %	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	7
Ток холостого хода, %	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Масса, кг: в металлическом кожухе без защитного кожуха	960	1150	1360	1580	1810	2060	2120	2620	2990	3750	5340	6340	7900
	770	950	1150	1360	1580	1820	1880	2360	2710	3400	4800	5800	7300

* Номинальная мощность дана для естественного охлаждения, при принудительной вентиляции может быть увеличена на 40%.

Таблица 9.7. Технические характеристики силовых трехфазных трансформаторов серии ТНЭЗ* с негорючим жидким наполнителем на напряжение 6—10 кВ (ОАО «Уралэлектротяжмаш»)

Параметр	ТНЭЗ-160/10	ТНЭЗ-250/10	ТНЭЗ-400/10	ТНЭЗ-630/10	ТНЭЗ-1000/10	ТНЭЗ-1600/10	ТНЭЗ-2500/10
Номинальная мощность, кВ·А	160	250	400	630	1000	1600	2500
Номинальное напряжение сети, кВ	6; 6,3; 10; 10,5						
Вторичное напряжение, В	400						
Частота, Гц	50/60						
Номинальный ток обмотки НН, А	231	361	577	909	1440	2310	3610
Напряжение КЗ, %	4,1	4,8	4,3	5,3	5,6	5,7	6,4
Потери КЗ, кВт	2,28	3,25	4,5	6,8	10,5	15,6	22,0
Ток холостого хода, %	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Масса, кг:							
жидкости	280	350	415	560	770	1350	2075
полная	1200	1400	1615	2250	3170	4820	7300
Габариты, мм:							
длина	1550	1620	1700	1910	2140	2245	2500
ширина	870	900	915	1110	1160	1445	2190
высота	1500	1560	1590	1755	1790	2145	2490

* Т — трехфазный; Н — охлаждение естественное негорючим диэлектриком; Э — экологически чистый диэлектрик; З — герметизированный.

Таблица 9.8. Технические характеристики силовых трехфазных сухих трансформаторов старых типов

Тип	$S_{т.ном.}$ кВ·А	Напряжение, кВ		Потери, кВт		u_k , %	I_x , %	КПД, %
		ВН	НН	ΔP_x	ΔP_k			
ТС-180/10	180	10	0,525	1,6	3,0	5,5	4	97,51
ТС-320/10	320	10	0,525	2,6	4,9	5,5	3,5	97,51
ТС-560/10	560	10	0,525	3,5	7,4	5,5	3,0	98,21
ТС-750/10	750	10	0,525	4	8,8	5,5	2,5	98,32
ТС-560/15	560	13,8	0,4	3,4	6,4	8	3	98,23
ТС-750/15	750	13,8	0,4	5,15	8,0	8	3	98,35
ТС-560/10*	560	6,3	0,525	3,5	7,4	8	3	98,21
ТС-750/10*	750	6,3	0,525	4	8,8	8	2,5	98,32

* Трансформаторы для собственных нужд электростанций

Примечание. Трансформаторы трехфазные сухие ТС с естественным охлаждением изготовляют мощностью от 180 до 1000 кВ·А на напряжение 3; 6; 10 и 13,8 кВ. В них обмотки высшего напряжения (ВН) имеют четыре ответвления для изменения коэффициента трансформации: $\pm 5\%$; $\pm 2,5\%$. Переключение с одного ответвления на другое можно производить только при полном отключении трансформатора от сети.

Таблица 9.9. Технические характеристики трансформаторов серий ТСЛ и ТСЗЛ

Тип	$S_{т.ном},$ кВ · А	Потери, Вт		$u_{к}, \%$	Номинальное напряжение обмоток, кВ	
		$\Delta P_{х}$	$\Delta P_{к}, Вт$		ВН	НН
ТСЛ-400/10-УЗ ТСЗЛ-400/10-УЗ	400	1000	4500	6	10,5; 10; 6,3; 6	0,4
ТСЛ-630/10-УЗ ТСЗЛ-630/10-УЗ	630	1370	6700			
ТСЛ-1000/10-УЗ ТСЗЛ-1000/10-УЗ	1000	2000	8800			
ТСЛ-1250/10-УЗ ТСЗЛ-1250/10-УЗ	1250	2500	10 500			
ТСЛ-1600/10-УЗ ТСЗЛ-1600/10-УЗ	1600	2800	12 300			
ТСЛ-2500/10-УЗ ТСЗЛ-2500/10-УЗ	2500	4300	18 300			

Примечание. Трансформаторы трехфазные сухие с литой изоляцией 400—2500 кВ·А, 6—10 кВ серий ТСЛ и ТСЗЛ предназначены для внутренней установки.

Трансформаторы отличает экологическая безопасность, исключительная взрыво- и пожаробезопасность, высокая динамическая стойкость обмоток к токам КЗ, низкий уровень частичных разрядов, малощумность, малые габариты. Схема и группа соединения обмоток Δ/Y_n-11 .

Таблица 9.10. Технические характеристики трехфазных сухих трансформаторов

Тип	$S_{\text{т.ном}}$ кВ·А	Номинальное напряжение, В		Потери, Вт		$u_{\text{к}}$ %	$I_{\text{х}}$, %
		ВН	НН	$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$		
ТС-10/0,66	10	380; 660	230; 400	75 (90)	280	4,5	7
ТС3-10/0,66		380	36; 42				
ТС-16/0,66 ТС3-16/0,66	16	380; 660	230; 400	100 (125)	400		5,8
		220	230				
		380	36; 42				
ТС-25/0,66 ТС3-25/0,66	25	380; 660	230; 400	140 (180)	560		4,8
		220	230				
		380	36; 42				
ТС-40/0,66 ТС3-40/0,66	40	380; 660	230; 400	200 (250)	800	4	
		220	230				
		380	36; 42				
ТС-63/0,66	63	380; 660	230; 400	280 (350)	1050	3,3	
ТС3-63/0,66		220	230				
ТС-100/0,66	100	380; 660	230; 400	390 (490)	1450	2,7	
ТС3-100/0,66							
ТС-160/0,66	160			560 (700)	2000	2,3	
ТС3-160/0,66							

Окончание табл. 9.10

Тип	$S_{\text{т.ном}}$ кВ·А	Номинальное напряжение, В		Потери, Вт		$u_{\text{к}},$ %	$I_{\text{х}},$ %		
		ВН	НН	$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$				
ТСЗ-160/10	160	6; 6,3; 10; 10,5*	0,23; 0,4;	0,7**	2,7**	5,5	4		
ТСЗ-250/10	250	6; 10		1	3,8		3,5		
ТСЗ-400/10	400	6; 6,3; 10; 10,5	0,69	1,3	5,4		3		
ТСЗА-400/10		6,10					1,8		
ТСЗА-400/10		6,3; 10,5					0,4	1,12	5,4
ТСЗА-630/10	630	6; 6,3; 10; 10,5	0,4; 0,69	2	7,3				
ТСЗА-630/10		6,3; 10,5	0,4	1,72					
ТСЗА-630/10		6; 10	0,4; 0,69						
ТСЗА-630/10		6; 6,3; 10; 10,5	0,4	2	8,5			8	2
ТСЗС-630/10		6; 10	0,4; 0,69		11,2			5,5	1,5
ТСЗС-1000/10	1000	6; 6,3; 10; 10,5	0,4	3	12	8	2		
ТСЗА-1000/10		6; 6,3; 10	0,4	2,5	12	8	1,1		
ТСЗА-1000/10				2,15	12	8	1,1		
ТСЗУ-1000/10		6; 10	0,4; 0,69	2,45	10,4	5,5	1		
ТСЗ-1600/10				4,2	16		1,5		
ТСЗУ-1600/10	1600	6; 10; 10,5	0,4; 0,69	3,4	17		0,7		
ТСЗЛ-630/10	630	6; 10; 6,3; 10,5	0,4; 0,69	1,65	7,1		1,4		
ТСЗЛ-1000/10	1 000	6; 10	0,4; 0,69	2	10,2		1,0		
ТСЗЛ-1600/10	1 600				15		0,7		
ТСЗЛ-2500/10	2 500				4		20,25	6	0,65

* Здесь и ниже значения даны в киловольтах.

** Здесь и ниже значения даны в киловаттах.

Примечания: 1. Обмотки ВН соединены в звезду; начала и концы фаз обмотки НН выведены на доску зажимов, что позволяет соединять обмотки НН в звезду или в треугольник.

2. Климатическое исполнение — УХЛ4.

3. Уровень шума — не более 65 дБ.

4. Степень защиты — IP11 в кожухе и IP00 без кожуха. Обмотки ВН — ПБВ ± 5%.

5. Схема и группа соединений обмоток — $\Delta/Y_H - 11$ для всех исполнений и $\Delta/Y_H - 0$ (до 1000 кВ · А включительно).

Таблица 9.11. Технические характеристики трехфазных масляных трансформаторов

Тип	$S_{\text{т.ном.}}$ кВ · А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа сое- динений обмоток	Потери, Вт		$u_{\text{к}}, \%$	$I_{\text{х}}, \%$
		ВН	НН		$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$		
Напряжение до 35 кВ								
ТМ-25/10	25	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0; Y/Z _Н – 11	130	600 690	4,5; 4,7	3,2
ТМ-40/10	40				175	880 1000		3
ТМ-63/10	63				240	1280 1470		2,8
ТМ-100/10	100				330	1970		2,6
ТМ-100/35	100	35	0,4		420	2270	6,5; 6,8	2,6
ТМ-160/10	160	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0	510	2650	4,5	2,4
ТМФ-160/10		6; 10	0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11	510	3100	4,7	
ТМ-160/35		35	0,4	Y/Z _Н – 11	620	3100	6,5 6,8	
ТМ-250/10	250	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0	740	3700	4,5	2,3
ТМФ-250/10		6; 10	0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11	740	4200	4,7	
ТМ-250/35		35	0,4	Y/Z _Н – 11	900	4200	6,5; 6,8	
ТМ-400/10	400	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0	950	5500	4,5	2,1
ТМФ-400/10			0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11	950	5900	4,5	
ТМН-400/10			0,4					
ТМ-400/35		35	0,4	Y/Y _Н – 0	1200	5500	6,5	
ТМН-400/35	0,69		Y/Y _Н – 11	5900				
ТМ-630/10	630	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0	1310	7600	5,5	2
ТМФ-630/10			0,4	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11	1310	8500	5,5	
ТМН-630/10			0,69					
ТМ-630/35		35	0,4	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 0	1600	7600	6,5	
ТМФ-630/35			0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11		8500		
ТМН-630/35			6,3; 11	Y/ Δ – 11		7600		
ТМ-1000/10*	1000	6; 10	0,4	Y/Y _Н – 0	—	—	—	—
			0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11				
			3,15; 6,3					
		10	10,5	Y/ Δ – 11	2000	12 200; 11 600	6,5	1,4
ТМ-1000/35		13,8	0,4	Y/Y _Н – 0				
		15,75	0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}}$ – 11				
		20	6,3; 10,5	Y/ Δ – 11				
		35	3,15					
			6,3					
			10,5					

Продолжение табл. 9.11

Тип	$S_{г.ном},$ кВ · А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа сое- динений обмоток	Потери, Вт		$u_k, \%$	$I_x, \%$
		ВН	НН		ΔP_x	ΔP_k		
ТМН-1000/35	1000	20	0,4	Y/Y _Н – 0	2100	2200; 11 600	6,5	1,4
			0,69	$\Delta/Y_H - 11$				
			6,3	Y/ $\Delta - 11$				
			11					
		35	0,4	Y/Y _Н – 0	2100	12 200		
			0,69					
		35	6,3	Y/ $\Delta - 11$	2100	11 600		
			11					
ТМ-1600/10*	1600	6	0,4	Y/Y _Н – 0	—	—	—	—
			0,69	$\Delta/Y_H - 11$				
		10	3,15; 6,3	Y/ $\Delta - 11$				
ТМ-1600/35	1600	20	0,4	Y/Y _Н – 0	2750	18 000	6,5	1,3
			0,69	$\Delta/Y_H - 11$				
			6,3	Y/ $\Delta - 11$				
			10,5					
		35	0,4	Y/Y _Н – 0	2750	16 500	6,5	1,3
			0,69					
		35	3,15	Y/ $\Delta - 11$				
			6,3					
			10,5					
ТМН-1600/35	1600	13,8	0,4	$\Delta/Y_H - 11$	2900			
		15,75	11	Y/ $\Delta - 11$				
		20	0,4	Y/Y _Н – 0				
		20	0,69	$\Delta/Y_H - 11$				
			6,3					
ТМН-1600/35	1600	20	11	$\Delta/Y_H - 11$	2900	16500	6,5	1,3
		35	0,4	Y/Y _Н – 0		18000		
			0,69			16500		
		6,3; 10,5	Y/ $\Delta - 11$					
ТМ-2500/10*	2500	6	0,4	$\Delta/Y_H - 11$	3850	23 500	6,5	1
			0,69					
		10	3,15	Y/ $\Delta - 11$	3850	23 500		
			6,3					
			10,5					

Продолжение табл. 9.11

Тип	$S_{\text{т.ном}},$ кВ · А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа сое- динений обмоток	Потери, Вт		$u_{\text{к}}, \%$	$I_{\text{х}}, \%$					
		ВН	НН		$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$							
ТМ-2500/35	2500	20	0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}} - 11$	3900	23 500	6,5	1					
		35	3,15	$Y/\Delta - 11$									
		20; 35	6,3	$Y/\Delta - 11$									
			10,5										
ТМН-2500/35		13,8	6,3	$Y/\Delta - 11$	4100	23 500							
		15,75	11	$Y/\Delta - 11$									
		20	0,69	$\Delta/Y_{\text{Н}} - 11$									
		35	6,3	$Y/Y_{\text{Н}} - 0$									
		20; 35	11	$Y/\Delta - 11$									
ТМ-4000/10	4000	6; 10	3,15	$Y/\Delta - 11$	5200	33 500	7,5	0,9					
		10	6,3										
ТМ-4000/35		35	3,15		5300								
		20; 35	6,3										
ТМН-4000/35		10	$Y/\Delta - 11$	5600									
		13,8			6,3; 11								
		15,75											
		20											
		35											
ТМ-6300/10	6300	10	3,15	$Y/\Delta - 11$	7400	46500	7,5	0,8					
			6,3										
			10,5										
ТМ-6300/35		35	3,15		7600								
		20,35	6,3										
			10,5										
ТМ-6300/35		35	6,3; 11		8000								
ТД-10000/35*		10 000	38,5		6,3				$Y/\Delta - 11$	—	—	—	—
					10,5								
ТД-16000/35*	16 000	—	—	—	—	—	—	—					
ТД-80000/35	80 000	15,75	6,3	$\Delta/\Delta - 0$	58 000	280 000	10	0,45					
			10,5										

Модернизированные с масляным диэлектриком

ТМ-400/10	400	6; 10	0,4; 0,69	—	900	5500	4,5	1,5
ТМ-630/10	630				1250	7600		1,25
ТМ-1000/10	1000				1900	10 500		1,15
ТМВМЗ-630/10	630				1200	8500		0,4
ТМВМЗ-1000/10	1000				1650	11 000		

Продолжение табл. 9.11

Тип	$S_{\text{т.ном.}}$ кВ · А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа сое- динений обмоток	Потери, Вт		$\eta_{\text{к}}$, %	$I_{\text{х}}$, %		
		ВН	НН		$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$				
Для комплектных трансформаторных подстанций										
ТМЗ-250/10	250	6; 10	0,4; 0,69	—	740	3700	4,5	2,3		
ТМЗ-400/10	400				950	5500		2,1		
ТМЗ-630/10	630				1310	7600	5,5	1,8		
ТНЗ-630/10					1900	10800		1,2		
ТМЗ-1000/10	1000								2650	16500
ТНЗ-1000/10	1600			2650	16500	6	1			
ТМЗ-1600/10							2500	3750		
ТНЗ-1600/10	2500			3750	24000	0,8				
ТМЗ-2500/10							2500	3750	24000	0,8
ТНЗ-2500/10	2500			3750	24000	0,8				
Напряжение до 220 кВ										
ТМН-2500/110	2,5	110	6,6; 11	—	5,5	22	10,5	1,5		
ТМН-6300/110	6,3	115	6,6; 11; 16,5	—	10	44	10,5	1		
ТДН-10000/110	10				14	58		0,9		
ТДН-16000/110	16				18	85		0,7		
ТДН-25000/110	25		22; 34,5		25	120	0,65			
ТДН-40000/110	40				34	170	0,55			
ТРДН-25000/110	25		6,3—6,3 10,5—10,5		25	120	0,65			
ТРДН-40000/110	40				34	170	0,55			
ТРДН-63000/110	63		6,3—10,5		50,5	245	0,5			
ТРДН-80000/110	80				58	310	0,45			
ТРДН-63000/110	63				242	10,5—10,5; 6,3; 10,5; 13,8	38,5	50	10,5	0,5
ТДН-80000/110	80	58	0,45							
ТРДЦН-125000/110	125	105	400	11			0,55			
ТД-80000/220	80	79	315				0,45			
ТДЦ-125000/220	125	120	380				0,55			
ТРДН-32000/220	32	230	6,3—6,3	—	45	150	11,5	0,65		
			6,6—6,6							
			11—11							
			11—6,6							
ТРДНС-40000/220	40		6,3—6,3		50	170	11,5	0,6		

Окончание табл. 9.11

Тип	$S_{\text{т.ном}}$, кВ · А	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа сое- динений обмоток	Потери, Вт		$u_{\text{к}}$, %	$I_{\text{х}}$, %
		ВН	НН		$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$		
ТРДН-63000/220	63	230	6,6—6,6	—	70	265	—	0,5
ТРДЦН-63000/220			11—11					
			11—6,6					
ТРДЦН-100000/220	100	230	11—11	—	102	340	12,5	0,65
ТРДЦН-160000/220	160				155	500	—	0,6
ТРДЦН-200000/220*	200				—	—	—	—

Примечания: 1. У трансформаторов, отмеченных звездочкой (*), потери определяют при приемочных испытаниях.

2. Для трансформаторов с расщепленной обмоткой НН указано напряжение КЗ: для обмоток ВН-НН1 (НН2) $u_k = 20\%$ (110 кВ); $u_k = 21\%$ (220 кВ) (у трансформаторов ТРДЦН-100 000/220 и 160 000/220 для обмоток ВН-НН1 (НН2) $u_k = 23\%$); для обмоток НН1-НН2 $u_k > 30\%$ (110 кВ); $u_k > 28\%$ (220 кВ).

3. Потери КЗ для трансформаторов с расщепленной обмоткой приведены для обмоток ВН-НН.

4. Схема и группа соединений обмоток трансформаторов — $Y_n/\Delta - 11$, для трансформаторов с расщепленной обмоткой НН — $Y_n/\Delta - \Delta - 11 - 11$.

5. Трансформаторы 110 кВ должны допускать работу с заземленной нейтралью обмоток ВН при условии защиты нейтрали соответствующим разрядником.

6. Вводы и отводы нейтрали НН трансформаторов 110 кВ и выше должны быть рассчитаны на продолжительную нагрузку током, равным номинальному току обмоток ВН.

7. Режим работы нейтрали обмоток ВН трансформаторов 220 кВ — глухое заземление. При этом изоляция нейтрали должна выдерживать одноминутное напряжение промышленной частоты, равное 85 кВ (действующее значение).

Таблица 9.12. Данные двухобмоточных трехфазных трансформаторов мощностью 25—25000 кВ·А, напряжением 6—10 кВ

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Номинальное напряже- ние, кВ		Потери, кВт		I _{хр} %	Габариты (L×B×H), м	Масса, т			
		ВН	НН	ΔP _х	ΔP _к			транспортная	активной части	полная	
Без регулирования напряжения											
ТМ-25/10У1	25	6; 10	0,4	0,13	0,6	4,5	3,2	1,12×0,46×1,22	0,35	0,15	0,35
ТМ-40/10У1	40			0,19	0,88	3	1,12×0,48×1,27	0,45	0,2	0,45	
ТМ-63/10У1	63			0,26	1,28	2	1,12×0,56×1,4	0,54	0,27	0,54	
ТМ-100/10У1	100			0,36	1,97	2,6	1,12×0,8×1,47	0,67	0,35	0,67	
ТМ-160/10У1	160			0,56	2,65	2,4	1,21×0,92×1,58	0,97	0,4	0,97	
ТМ-250/10У1	250	0,4; 0,69		0,82	3,7	2,3	1,26×1,04×1,72	1,3	0,64	1,3	
ТМ-400/10У1	400			1,05	5,5	2,1	1,4×1,08×1,9	1,9	0,89	1,9	
ТМ-630/10У1	630			1,56	7,6	5,5	2 1,75×1,27×2,15	3	1,4	3	
ТМ-1000/10У1	1000			2,45	12,2	1,4	2,7×1,75×3	5	1,98	5	
ТМ-1600/10У1	1600			2,75		8	2,7×1,77×3,15	6	2	6	
ТМ-2500/10У1	2500	3,15—10,5	0,4—0,525	3,3	18	5,5	1,3	2,45×2,3×3,4	7	2,9	7
ТМ-4000/10У1	4000			4,6	26	1	3,5×2,26×3,6	6,4	4,2	8	
ТМ-6300/10У1	6300			3,15; 6,3	6,4	33,5	6,5	0,9	3,9×3,65×3,9	9,7	5,6
		10	3,15—10,5	9	46,5	0,8	4,3×3,7×4,05	12,1	8,1	17,3	
С регулированием напряжения под нагрузкой: РПН на стороне ВН±12% ± 8 ступеней											
ТРДНС-25000/ 10-73У1	25000	10,5	6,3	25	115	9,5	0,5	6,22×4,3×5,34	47,2	23,1	55,0
С переключением без возбуждения: ПВБ на стороне ВН ± 2×2,5%:											
масляные											
ТМЗ-400/10У1	400	6; 10	0,4	1,08	5,5	5,5	4,5	1,72×1,1×1,58	2,1	0,8	2,1
ТМЗ-630/10У1	630	6; 10	0,4	1,68	7,6	6,5	3,2	1,93×1,1×1,83	2,9	1,25	2,9
ТМЗ-1000/10У1	1000	6; 10	0,4; 0,69	2,45	11	5,5	1,4	2,28×1,25×2,07	4,3	2,07	4,3
ТМЗ-1600/10У1	1600	6; 10	0,4; 0,69	3,3	16,5	5,5	1,3	2,51×1,34×2,58	6,5	2,97	6,5
ТМЗ-2500/10У1	2500	6; 10	0,4; 0,69	4,6	24	5,3	1	3,5×2,3×3,5	10	4,2	10
с негорючим заполнением											
ТНЗ-630/10У1	630	6; 10	0,4	1,68	7,6	5,5	3,2	1,9×1,1×1,8	3,4	1,4	3,4
ТНЗ-1600/10У1	1600	6; 10	0,4; 0,69	3,3	16,5	5,5	1,3	2,5×1,4×2,6	8	2,6	8
ТНЗ-2500/10У1	2500	6; 10	0,4; 0,69	4,6	24	5,5	1	3,5×2,3×3,5	12	4,2	12

Таблица 9.13. Технические характеристики трансформаторов трехфазных мощностью до 63 000 кВ·А, напряжением 35 кВ

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		I _{кз} %	I _х %	Габариты, м	Масса, т		
		ВН	НН	ΔP _х	ΔP _к				транс- портная	активной части	пол- ная
Без регулирования напряжения											
ТМ-100/35У1	100	35	0,4	0,46	1,97	6,5	2,6	1,33×0,9×2,2	1,3	0,45	1,3
ТМ-160/35У1	160	35	04; 0,69	0,7	2,65	6,5	2,6	—	1,7	0,65	1,7
ТМ-250/35У1	250	35	04; 0,69	1	3,7	6,5	2,6	1,53×1,6×2,18	2	0,75	2
ТМ-400/35У1	400	35	04; 0,69	1,35	5,5	6,5	3,5	1,53×1,67×2,22	2,7	1	2,7
ТМ-630/35У1	630	35	04; 0,69	1,9	7,6	6,5	3	1,71×1,82×2,37	3,5	1,45	3,5
ТМ-1000/35У1	1000	20; 35	0,4—10,5	2,75	12,2	6,5	1,5	2,7×1,57×3,15	6	2,4	6
ТМ-1600/35У1	1600	20; 35	0,4—10,5	3,65	18	6,5	1,4	2,66×2,3×3,4	7,1	3,06	7,1
ТМ-2500/35У1	2500	20; 35	0,69—10,5	5,1	26	6,5	1,1	3,8×2,45×3,8	7,62	4,03	9,6
ТМ-4000/35У1	4000	20; 35	3,15—10,5	6,7	33,5	7,5	1	3,85×3,6×3,73	10,6	5,69	13,2
ТМ-6300/35У1	6300	20; 35	3,15—10,5	9,25	46,5	7,5	0,9	4,25×3,65×3,78	12,2	8,1	10,2
С переключением без возбуждения:											
ПВБ на стороне ВН ± 2×2,5%											
ТД-10000/35У1	10000	38,5	6,3; 10,5	14,5	65	7,5	0,8	2,99×3,76×4,29	20	11,4	21,8
ТД-16000/35У1	16000	38,5	6,3; 10,5	21,6	90	8	0,6	3,69×3,96×4,84	28	15,5	31,8
С регулированием напряжения под нагрузкой:											
РПН на стороне ВН ± 12% ± 8 ступеней											
ТМН-1000/35У1	1000	20; 35	0,4—10,5	2,75	12,2	6,5	1,5	3,5×2,45×3,56	8,1	4,3	8,1
ТМН-1600/35У1	1600	20; 35	0,4—11	3,65	16,5	6,5	1,4	3,7×2,55×3,75	9,6	5,6	9,6
ТМН-2500/35У1	2500	20; 35	0,69—11	5,1	26	6,5	1,1	3,46×3,49×3,97	12,3	5,4	12,3
ТМН-4000/35У1	4000	20; 35	6,3—11	6,7	33,5	7,5	1	3,69×3,6×3,99	14,9	7,24	16,3
ТМН-6300/35У1	6300	20; 35	6,3—11	9,25	46,5	7,5	0,9	4,1×3,57×4,11	17,9	9,43	19,6
ТМН-10000/35-74У1	10000	10,5—36,75	3,5—10,5	12,5	60	8	0,8	5,97×5,4×5	24,9	13,9	28,8
ТДНС-16000/35-74У1	16000	10,5—36,75	6,3; 10,5	18	85	10	0,6	8,1×3,07×5,25	31,5	17,4	35,8
ТДНС-25000/35-72У1	25000	15,75—36,75	6,3; 10,5	25	115	9,5	0,5	5×4,27×6,56	47	28,5	55
ТДНС-32000/15-73У1	32000	15,75	6,3	30	145	11,5	0,45	6,6×4,3×5,53	54	33	61
ТДНС-32000/15-72У1	32000	20—36,75	6,3—10,5	30	145	11,5	0,45	6,6×4,3×5,53	54	33	61
ТДНС-40000/35-74У1	40000	15,75—36,75	6,3; 10,5	36	170	11,5	0,4	6,8×4,5×5,5	55	35	70
ТДНС-63000/35-72У1	63000	20—36,75	6,3; 10,5	50	250	11,5	0,35	7×4,55×6,06	78	51	91

Таблица 9.14. Технические характеристики трехфазных двухобмоточных трансформаторов мощностью до 125 000 кВ·А, напряжением 110 кВ, с регулированием напряжения под нагрузкой

Тип	$S_{\text{н,ном}}$ кВ·А	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		$u_{\text{кз}}$ %	$I_{\text{хз}}$ %	Габариты (Д×В×Ш), м	Масса, т	
		ВН	НН	$\Delta P_{\text{х}}$	$\Delta P_{\text{к}}$				транс- портная	активной части
ТМН-2500/110-73У1	2500	110	6,6; 11	5,5	22	10,5	1,5	4,63×3,54×4,09	22	9,7
ТМН-6300/110-73У1	6300	115	6,6; 11	10	48	10,5	1	6,09×4,2×5,26	32	12,7
ТДН-10000/110-70У1	10000	115	6,6; 11	14	60	10,5	0,9	6,33×3,7×5,55	37	16,1
ТДН-16000/110-76У1	16000	115	6,6; 11	21	86	10,5	0,85	6,6×4,4×5,57	44	22,4
ТРДН-25000/110-76У1	25000	115	6,3; 10,5	25	120	10,5	0,75	6,58×4,65×5,82	57,6	32,6
ТРДН-32000/110-76У1	32000	115	6,3; 10,5	32	145	10,5	0,75	7,55×4,72×5,75	65,3	36,8
ТРДН-40000/110-76У1	40000	115	6,3; 10,5	42	160	10,5	0,7	7,28×5,02×6,25	79	44,9
ТРДЦН-63000/110-75У1	63000	115	6,3; 10,5	59	245	10,5	0,65	8,31×4,24×6,47	93	57,3
ТРДЦН-80000/110-75У1	80000	115	6,3; 10,5	70	310	10,5	0,6	8,7×5,25×7	121	73,8
ТРДЦН-125000/110-75У1	125000	115	10,5	100	400	10,5	0,55	8,4×5,7×7,6	138	100

Примечания. 1. У трансформаторов серий ТДН, ТРДН и ТРДЦН РПН в нейтрالي $\pm 16\% \pm 9$ ступеней.

2. РПН на стороне НН $\pm 15\% \pm 10$ ступеней; $\pm 12\% \pm 8$ ступеней РПН в нейтрالي $\pm 16\% \pm 9$ ступеней.

Таблица 9.15. Технические характеристики трехфазных масляных герметичных трансформаторов серии ТМГ мощностью 100—1000 кВ·А, напряжением 6—10/0,4 кВ

$S_{\text{т.ном}},$ кВ·А	Схема и группа соединения	Потери, кВт		$u_k,$ %	$I_x,$ %	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, кг
		ΔP_x	ΔP_k				
100	Y/Y _H – 0	0,28	1970	4,5	2,2	900×750×1080	575
160		0,38	2600	4,5	2	1000×780×1170	780
250		0,45	3700	4,5	1,8	1480×890×1230	1035
400	Y/Y _H – 0; Δ/Y_H – 11	0,65	5200	4,5	1,6	1540×890×1370	1530
630		0,95	7500	5,5	1,4	1720×1000×1560	2100
1000		1,3	11 000	6	1,2	1720×1080×1800	3030

Примечание. Трансформаторы имеют следующие преимущества:

- сохраняют изоляционные свойства масла в течение не менее 25 лет благодаря отсутствию контакта с воздухом;
- занимают меньше места и более компактны;
- имеют меньшие потери холостого хода.

Таблица 9.16. Технические характеристики трехобмоточных трехфазных трансформаторов с регулированием под нагрузкой

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Номинальное напряжение, кВ			Потери, кВт		u _{кз} %			I _{х²} %	Габариты (L×B×H), м	Масса, т				
		ВН	СН	НН	ΔP _х	ΔP _к	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН			транспортная	активной части	полная		
Трансформаторы мощностью до 16 000 кВ·А, напряжением 35 кВ:																
РПН на стороне ВН ± 9% ± 6 ступеней, СН и НН без ответвлений																
ТМТН-6300/35У1	6300	35	10,5—15,75	6,3	12	55	7,5	16	7,5	1,2	5,2	4,3	4,5	20	10	26,5
РПН на стороне ВН ± 12% не менее ± 8 ступеней, СН и НН без ответвлений																
ТДГН-10000/35У1	10000	36,75	10,5—15,75	6,3	19	61	8	16,5	7	1	6	4,3	5,2	26	14	35
ТДГН-16000/35У1	16000	36,75	10,5—15,75	6,3	28	116	8	16,5	7	0,95	6,5	4,5	5,5	35	20	47
Трансформаторы мощностью до 80000 кВ·А, напряжением 110 кВ:																
РПН в нейтрале ВН ± 16% ± 9 ступеней, ПБВ на стороне СН 38,5 кВ ± 2 × 2,5%																
ТМТН-6300/110-73У1	6300	115	38,5	6,6; 11	14	58	10,5	17	6	1,2	6,2	3,5	3,4	37,6	15	44,2
ТДГН-10000/110-76У1	10000	115	38,5	6,6; 11	19	76	10,5	17	6	1,1	6,9	3,7	5,4	45	22	57,1
ТДГН-16000/110-76У1	16000	115	38,5	6,6; 11	26	96	10,5	17	6	1	7,3	4,5	5,7	61,0	30	59,8
ТДГН-250000/110-76У1	25000	115	11; 38,5	6,6; 11	36	140	10,5	17	6	1	7,5	5,9	5,9	65,0	37	76,6
ТДГН-40000/110-67У1	40000	115	11; 38,5	6,6; 11	50	220	10,5	17	6	0,9	7,5	5,0	6,2	88,0	53	103
ТДГН (ТДЦГН)-63000/110-76У1	63000	115	11; 38,5	6,6; 11	70	290	10,5	17	6,5	0,85	9,4	5,4	7,2	110	68	135
ТДГН (ТДЦГН)-80000/110-69У1	80000	115	11; 38,5	6,6; 11	82	390	10,5	17	6,5	0,6	10,3	6,2	8,0	121	80	148

Окончание табл. 9.16

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Номинальное напряже- ние, кВ			Потери, кВт		u _{кз} %			I _{хз} , %	Габариты (L×B×H), м	Масса, т				
		ВН	СН	НН	ΔP _х	ΔP _к	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН			порт- порт- ная	актив- ной части	пол- ная		
Трансформаторы мощностью до 63 000 кВ·А, напряжением 150 кВ:																
РПН в нейтрالي ВН ± 12% ± 8 ступеней, ПБВ на стороне СН: при токе до 700 А ± 2×2,5%, при токе более 700 А ± 5%																
ТДТН-16000/150-70У1	16000	158	38,5	6,6; 11	25	96	10,5	18	6	1	7,9	4,5	6	55	31,0	64,1
ТДТН-25000/150-70У1	25000	158	38,5	6,6; 11	34	145	10,5	18	6,0	0,9	8	4,6	6,4	67,0	37,0	76
ТДТН-40000/150-70У1	40000	158	38,5	6,6; 11	53	185	10,5	18	6	0,8	8	4,8	6,7	88	54	100
ТДТН-63000/150-70У1	63000	158	38,5	6,6; 11	67	285	10,5	18	6	0,7	8	4,9	7,4	109	69	131
Трансформаторы трехфазные мощностью до 40000 кВ·А, напряжением 220 кВ:																
РПН в нейтрالي ВН ± 12% ± 8 ступеней, ПБВ на стороне СН: при токе: до 700 А ± 2×2,5%, 700—1200 А ± 5%, более 1200 А без ответвлений																
ТДТН-25000/220-70У1	25000	230	38,5	6,6; 11	50	135	12,5	20	6,5	1,2	10,2	5,1	8,1	95	49	114
ТДТН-40000/220-70У1	40000	230	38,5	6,6; 11	66	240	12,5	22	9,5	1,1	6,7	5,4	9,5	105	57	121

Примечания: 1. Структура условного обозначения: Т — трехфазный; Д — принудительная циркуляция воздуха и естественная масла, Т — трехобмоточный; Н — регулирование напряжения под нагрузкой.
2. Мощности обмоток ВН, СН и НН по 100%-ной номинальной мощности каждая.

9.2. Сухие трансформаторы

9.2.1. Сухие трансформаторы с открытыми обмотками (ООО «Электрофизика»)

Сухие трансформаторы с открытыми обмотками предназначены для работы в жестких условиях. Опыт их применения на объектах, расположенных в различных климатических зонах, показал высокую надежность и соответствие этого оборудования жестким условиям эксплуатации (табл. 9.17, 9.18).

Номенклатура трансформаторов:

- 1) распределительные общего назначения;
- 2) преобразовательные для систем:
 - возбуждения турбо- и гидрогенераторов;
 - частотного регулирования электроприводов;
 - силового электропитания тяговых подстанций;
- 3) специальные, в том числе:
 - для АЭС;
 - морских судов и буровых платформ;
 - для питания электрических печей;
 - разделительные.

Таблица 9.17. Технические характеристики трансформаторов

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВ·А	10—12 500
Номинальное напряжение на обмотках, кВ:	
ВН	0,4—35
НН	0,4—10
Условия эксплуатации, транспортирования и хранения	
температура окружающей среды, °С	–60 ÷ +40
максимальная относительная влажность при +35 °С, %, не более	98
Степень защиты внутренней и наружной установки, не более	IP54
Гарантийный срок, лет	3
Общий срок службы, лет	30

Эксплуатационные характеристики: нет риска загрязнения окружающей среды, в том числе при утилизации и восстановлении меди трансформаторных обмоток; малообслуживаемые (1—2 раза в год); затраты на обслуживание трансформатора, выполняемое без специального оборудования, минимальны. Трансформаторы с открытыми обмотками не имеют конкурентов среди сухих трансформаторов с литой изоляцией на основе эпоксидной смолы, предназначенных для эксплуатации при температуре окружающей среды до –25 °С.

Таблица 9.18. Сравнительные характеристики трансформаторов ООО «Электрофизика» с трансформаторами с литой изоляцией из смеси эпоксидной смолы и кварцевой муки

Характеристика трансформатора	Трансформатор с литой изоляцией	Трансформатор ООО «Электрофизика»
Возможность возникновения частичного разряда	Уровень возникновения частичного разряда $1,2U_{\text{ном}}$	Нет
Электрическая прочность — отношение грозового испытательного импульса к номинальному напряжению, кВ	30/145	10/75 24/180
Класс изоляции	F (155 °C)	F (155 °C); H (180 °C)
Перегрузочная способность для класса изоляции F (155 °C)	Увеличение нагрузки на 40% требует установки дополнительной вентиляции	Увеличение нагрузки до 120% не требует дополнительной вентиляции. При увеличении нагрузки на 40% трансформатор работает без дополнительной вентиляции более 1 ч
Температура окружающей среды, °C	-25 ÷ +40	-50 ÷ +50
Материал обмоток высокого и низкого напряжений	Алюминий	Медь
Подключение обмоток высокого и низкого напряжений	Непосредственно на выводные концы катушек	Через опорные изоляторы, выбранные с учетом механических нагрузок, возникающих при КЗ
Пожароопасность:		
способность самовозгорания (сравнительная)	5—10	1
содержание токсичных добавок в изоляции	Да	Нет
генерация дыма в случае пожара	Немного	Нет
Экологическая рециркуляция материала проводника катушек	Нет	Да

9.2.2. Сухие трансформаторы трехфазные серий ТС, ТСЗ, ТСКС (ООО «Энергетическая компания «ЭНКО»)

Трансформаторы трехфазные сухие серий ТС, ТСЗ-4,0-10,0/3 80-У2 используются в качестве понижающего источника питания для ламп освещения, электрических инструментов и других целей. Номинальное первичное напряжение трансформаторов 380 В переменного тока, номинальная выходная мощность не превышает 10 кВ · А.

Напряжение вторичных цепей при соединении:

- $Y_0/Y - 0$: 12, 24, 36, 42, 48, 85, 104, 110, 127, 133, 170, 185, 205, 208, 220, 230, 260, 380, 400, 660 В;
- $Y_0/\Delta - 11$: 12, 24, 36, 42, 220, 230, 380, 400 В.

Гарантийный срок эксплуатации — три года со дня ввода в эксплуатацию, но не более четырех лет с момента отгрузки.

Габариты ($B \times H \times L$) трансформаторов ТС-4,0, ТС-6,3, ТС-10, мм: 310×435×462.

Новые трансформаторы трехфазные сухие типа ТСКС-25/10(6)-УЗ предназначены для питания шкафов КРУ собственных нужд класса напряжения 6 и 10 кВ (табл. 9.19). Частота напряжения питающей сети 50 Гц, допускается работа при 60 Гц.

Схема и группа соединения — Y/Y_n-11 , допускается схема и группа соединения Δ/Y_n-11 .

Сопротивление изоляции обмоток ВН — более 500 МОм, обмоток НН — не менее 100 МОм при температуре окружающего воздуха 25 ± 10 °С. Обмотки трансформатора изготовлены из медного провода с применением изоляционных материалов класса нагревостойкости В. Трансформатор выполнен с облегченной изоляцией. Стойкость трансформатора при КЗ соответствует ГОСТ 11677—85. Длительность КЗ на зажимах трансформатора — 2 с. По условиям эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды трансформатор удовлетворяет требованиям группы М18. Трансформатор допускает работу с номинальной нагрузкой при повышении напряжения на 10% сверх номинального не более 2 раз в сутки, продолжительностью не более 2 мин. Корректированный уровень звуковой мощности трансформатора при его работе на холостом ходу не превышает 65 дБА на расстоянии 0,3 м от трансформатора.

Характер нагрузки — номинальная (длительно-непрерывная).

Таблица 9.19. Технические характеристики трансформаторов серии ТСКС

Тип	$S_{\text{т.ном}}$, кВ·А	Номинальное напряжение, кВ		Наибольшее рабочее напря- жение ВН, кВ	Потери, Вт		u_k , %	I_x , %	Габариты ($B \times H \times L$), мм	Масса, кг
		ВН	НН		ΔP_x	ΔP_r				
ТСКС 25/10-УЗ	25	10; 10,5	0,23; 0,4	10,5; 11	180	750	6	3,2	350×730× ×600	215
ТСКС 25/6-УЗ	25	6; 6,3	0,23; 0,4	6,3; 6,6	180	750	6	3,2		

Трансформаторы имеют следующие показатели надежности:

- установленная безотказная наработка — не менее 25 000 ч;
- вероятность безотказной работы в течение 8800 ч — не менее 0,995;
- срок службы до первого капитального ремонта — не менее 12 лет;
- срок службы — не менее 25 лет;
- гарантийный срок эксплуатации — три года со дня ввода в эксплуатацию, но не более четырех лет с момента отгрузки.

Преимущества трансформаторов типов ТС, ТСЗ-4,0-10,0/380-У2, ТСКС-25/10(6)-УЗ: пожаробезопасны; имеют низкий уровень шума; экологически безопасны; просты в установке и эксплуатации.

9.2.3. Трехфазные сухие трансформаторы с литой изоляцией («НТТ-«ЭЛЕКТРО»)

Таблица 9.20. Технические характеристики сухих трансформаторов серии GDNN 630-3500/12

Параметр	Значение								
Мощность, кВ·А	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	3500
Потери, Вт:									
КЗ (75 °С)	6800	7600	8800	10 800	12 500	15 200	19 000	23 000	26 000
холостого хода	1370	1700	2000	23500	2800	3420	4300	5500	6000
Уровень акустической мощности, дБА	51	51	54	54	56	56	62	62	63
Уровень шума, дБ	64	64	68	68	70	70	77	77	78

Общие технические характеристики

Номинальное напряжение, кВ	10
Напряжение КЗ, %	6
Частота, Гц	50
Соединение обмоток	Δ/Y_0-11
Переключение ответвлений	$\pm 2 \times 2,5\%, \pm 5\%$
Габариты (Д×В×Ш)*, мм	(1430—2740)×(850—1590)×(1490—2660)

* Зависят от степени защиты (IP00, IP20, IP21).

Таблица 9.21. Технические характеристики сухих трансформаторов серии GDNN 100-630/12

Параметр	Значение						
Мощность, кВ·А	100	160	250	315	400	500	630
Потери, Вт:							
КЗ (75 °С)	1750	2400	3000	3700	4300	5300	6400
холостого хода	440	610	820	960	1150	1300	1500
Уровень акустической мощности, дБА	46	48	50	51	51	51	52
Уровень шума, дБ	58	61	63	63	64	64	65

Общие технические характеристики

Номинальное напряжение, кВ	10
Напряжение КЗ, %	4
Частота, Гц	50
Соединение обмоток	Δ/Y_0-11
Переключение ответвлений	$\pm 2 \times 2,5\%, \pm 5\%$
Габариты трансформаторов (Д×В×Ш)*, мм	(950—1990)×(670—1240)×(1050—2060)

* Зависят от степени защиты (IP00, IP20, IP23).

Возможности изготовления сухих трансформаторов: мощность от 25 до 16000 кВ·А; напряжение — от 100 В до 35 кВ; материал обмоток — медь; степень защиты — до IP56; естественное и принудительное охлаждение; класс нагревостойкости ВН/НН — F/F; экологическая, климатическая и противопожарная классификация — E2-C2-F1, соответственно.

9.2.4. Сухие трансформаторы CTR с литой изоляцией на 6, 10, 15, 20 кВ (производитель — итальянская компания «IMEFY SPA», поставщик — ООО «Росполь-Электро»)

Исключительные противопожарные свойства и высокая надежность трансформаторов CTR обусловили их применение по всему миру на объектах электроэнергетики, металлургической, машиностроительной, пищевой, химической, газовой и нефтедобывающей промышленности, а также на объектах жилого и социального назначения (табл. 9.22).

Таблица 9.22. Технические характеристики трансформаторов CTR 10(6)/0,4 кВ

Мощность, кВ·А	Потери, Вт			η_k , %	I_x , %	Класс шумо- изоляции, дБ	Габариты (А×В×Н), мм
	ΔP_x	ΔP_k (75 °С)	ΔP_k (120 °С)				
100	440	1700	1950	4	2,3	51	1100×700×1150
	400	1900	2200	6			1060×700×1150
160	610	2300	2650	4	2	52	1130×700×1180
	580	2700	3100	6			1070×700×1200
250	820	3000	3450	4	1,8	53	1200×700×1280
	800	3300	3800	6			1230×700×1280
315	980	3700	4250	4	1,5	54	1230×800×1370
	900	4200	4800	6			1280×800×1280
400	1150	4300	4950	4	1,3	55	1320×800×1400
	1050	5000	5750	6			1300×800×1350
500	1350	5300	6100	4	1,1	56	1320×800×1480
	1200	6000	6900	6			1340×800×1440
630	1500	6400	7350	4	1	57	1370×800×1580
	1450	7200	8300	6			1410×800×1550
800	1650	8000	9200	6	0,9	58	1460×800×1630
1000	2000	8800	10150		0,8	59	1500×1000×1860
1250	2400	10400	12000		0,8	62	1620×1000×1960
1600	2800	12700	14600		0,7	63	1730×1000×2100
2000	3800	15400	17700		0,6	64	1830×1300×2220
0500	5000	20000	23000		0,55	65	2020×1300×2290
3150	6000	22000	25300		0,5	66	2130×1300×2430

9.2.5. Сухие трансформаторы с литой изоляцией серий ТС, ТСЗ, ТСЗП мощностью от 25 до 2500 кВ·А на напряжение до 35 кВ (компания «РосЭнергоТранс»)

Сухие трансформаторы с литой изоляцией серии ТСЗ могут без дополнительных затрат заменять ранее установленные: масляные трансформаторы; сухие трансформаторы: ТСГЛ, ТСЗГЛ, ТСЗГЛФ, GDNN, Geafol, SGB, Resibloc, Trihal, TTA-RES и др. (табл. 9.23).

Конструкция обмоток и современная технология их изготовления позволяют эксплуатировать трансформаторы в жестких условиях окружающей среды.

Жесткие условия работы трансформаторов характеризуются тем, что они:

1) соответствуют в части пожаробезопасности классу F1:

- предназначены для условий работы, где необходима повышенная пожаробезопасность;

- возможность воспламенения трансформаторов ограничена;

- распространение токсичных газов и дыма минимизировано.

2) в части окружающей среды соответствуют классу E2:

- могут работать в условиях тяжелого загрязнения окружающей среды;

- допускают работу в условиях частого выпадения конденсата.

Таблица 9.23. Технические характеристики сухих трансформаторов ТС, ТСЗ, ТСЗП

Мощность, кВ·А	u_k , %	Потери, Вт		I_x , %
		ΔP_k	ΔP_x	
25	4	740	240	3,5
40		1100	330	3
63		1500	350	2,8
100		1800	480	2,5
160		3000	750	2,2
250		3500	900	1,8
400		4700	1150	1,4
630		7500	1350	1,3
1000	6	9700	1850	1
1250		11700	2300	0,9
1600		13650	2700	0,85
2000		16500	3300	0,8
2500		19850	3800	0,75

Общие технические характеристики сухих трансформаторов ТС, ТСЗ, ТСЗП

Первичное напряжение (номинальное напряжение

обмотки ВН), кВ. 3,15; 6; 6,3; 10; 10,5

Регулирование высокого напряжения (вид переключения,

диапазон и число ступеней регулирования) ПБВ $\pm 2 \times 2,5\%$

Вторичное напряжение (номинальное напряжение обмотки НН), кВ. 0,23; 0,4; 0,69

Класс нагревостойкости обмоток F

Климатическое исполнение	C2
Схема и группа соединения обмоток	ΔY_H-11 , Y/Y_H-0
Класс шумоизоляции, дБ	65
Частота, Гц	50
Сейсмостойкость, балл	9
Степень защиты	IP00—IP54
Гарантийный срок эксплуатации, лет	3
Срок службы, лет	25

9.3. Масляные трансформаторы нового поколения

9.3.1. Масляные трансформаторы

В настоящее время на многих предприятиях России проводится реконструкция систем электроснабжения. Одним из самых дорогих и ответственных элементов этой системы являются силовые трансформаторы.

Опыт эксплуатации показал, что наиболее целесообразна замена силовых масляных трансформаторов серии ТМ на трансформаторы серии ТМГ (Минский трансформаторный завод).

Трансформаторы серии ТМГ имеют следующие преимущества (табл. 9.24):

- герметичное исполнение без расширителя и воздушной или газовой подушки, отсутствие контакта масла с окружающей средой, что исключает окисление, увлажнение и шламообразование;
- предварительная дегазация масла и заливка его при глубоком вакууме, благодаря чему увеличивается электрическая прочность изоляции;
- не требуются профилактические, текущие и капитальные ремонты в течение всего срока эксплуатации трансформаторов (25 лет).

Кроме того, для ограничения давления в баках при перегрузках трансформаторы снабжены электроконтактным мановакуумметром. Для регулирования напряжения предусмотрены переключатели с автоматическим внутренним фиксатором положений и контактами оптимальной формы. Это исключает выход трансформатора из строя при КЗ секций обмоток, т.е. повышает его надежность. Конструктивные особенности обеспечивают стойкость трансформаторов к токам КЗ.

Силовые трансформаторы серии ТМГСУ выпускают с гофрированным баком и симметрирующим устройством для равномерного распределения напряжения по фазам даже при несимметричной нагрузке. Преимущества этих трансформаторов по сравнению с аналогичными со схемой соединения обмоток Y/Z_H-11 — более низкие потери КЗ и возможность параллельной работы с уже установленными трансформаторами со схемой соединения обмоток Y/Y_H-0 .

Трансформаторы серии ТМГСУ со схемой соединения обмоток Y/Y_H и специальным симметрирующим устройством (СУ) являются самыми экономичными для четырехпроводных сетей 0,4 кВ с однофазной или смешанной нагрузкой. В них отсутствует перегрев токами нулевой последовательности

при неравномерной нагрузке фаз и при суммарной мощности, равной или ниже номинальной. Использование трансформаторов с СУ улучшает функционирование устройств защиты, повышает безопасность в электрической сети. В них снижено разрушающее воздействие на обмотки токов при однофазных КЗ. Благодаря СУ улучшается синусоидальность формы кривой напряжения при наличии в сети нелинейных нагрузок (сварочных агрегатов, люминесцентных ламп и др.), что важно при питании таких чувствительных к качеству электроэнергии устройств, как компьютеры, телевизоры и др. Кроме того, снижается уровень шума при неравномерной нагрузке по фазам трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y_n .

Силовые трансформаторы серии ТМГМШ применяются для потребителей с повышенными требованиями к уровню шума (жилые дома, больницы, общественные здания и др.), а также в местах с особыми требованиями по экологии. Эти трансформаторы являются энергосберегающими: у них сниженные по сравнению с трансформаторами типа ТМГ потери холостого хода.

Таблица 9.24. Технические характеристики трансформаторов серий ТМГ, ТМГСУ, ТМГМШ

Тип	$S_{\text{т.ном}},$ кВ · А	Напря- жение ВН, кВ	Схема соеди- нения обмоток	$u_k,$ %	Потери мощ- ности, Вт		Габариты, мм			Полная масса, кг
					ΔP_x	ΔP_k	<i>Д</i>	<i>Ш</i>	<i>В</i>	
ТМГ	16	6; 10	Y/Y_n-0	4,5	85	440	800	640	890	230
			Y/Z_n-11	5		500				
	25		Y/Y_n-0	4,5	115	600	800	640	930	240
			Y/Z_n-11	4,7		690				
		15	Y/Y_n-0	4,5	115	600	800	640	1000	280
			Y/Z_n-11	4,7		690				
		27,5	Y/Y_n-0	6	145	650	1100	800	1350	590
	40	6; 10		4,5	155	880	840	680	1100	300
			Y/Z_n-11	4,7	155	1000				
		15	Y/Y_n-0	4,5	165	880	840	680	1100	350
			Y/Z_n-11	4,7	165	1000				
	63	6; 10	Y/Y_n-0	4,5	165	1280	940	730	1020	420
			Y/Z_n-11	4,7	165	1470				
ТМГСУ		10	Y/Y_n-0	4,5	220	1280	940	730	1100	420
ТМГ		15	Y/Z_n-11	4,7		1470				
	100	6; 10	Y/Y_n-0	4,5		1970	1020	750	1080	540
			Y/Z_n-11	4,7	270	2270				
		8,05	Y/Z_n-11	4,5		1970				
ТМГМШ		6; 10	Y/Y_n-0	4,5	220	1970	1000	720	1080	
ТМГСУ		10			270					
		15	Y/Z_n-11	4,7	270	2270	1020	750	1240	
		27,5; 35	Y/Y_n-0	6,5	320	1970	1260	840	1780	970
			Y/Z_n-11	6,8		2270				

Окончание табл. 9.24

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Напря- жение ВН, кВ	Схема соеди- нения обмоток	u _к , %	Потери мощ- ности, Вт		Габариты, мм			Полная масса, кг	
					ΔP _х	ΔP _к	Д	Ш	В		
ТМГ	160	6; 10	Y/Y _н -0	4,5	410	2600	1100	780	1180	700	
			Δ/Y _н -11	4,7		2900					
			Y/Z _н -11	4,5							
ТМГМШ			Y/Y _н -0		320	2600	1120	750	1220	710	
ТМГСУ		10	Y/Y _н -0	4,5	410	2600	1120	750	1220	680	
ТМГ	160	15	Y/Z _н -11	4,7	480	2900	1100	780	1240	780	
		27,5; 35	Y/Y _н -0	6,5	480	2650	1350	860	1850	1245	
		35	Y/Z _н -11	6,8	480	3100					
ТМГМШ	250	6; 10	Y/Y _н -0	4,5	580	3700	1220	840	1220	950	
			Δ/Y _н -11			4200					
			Y/Y _н -0		450	3700			1320	1220	
Δ/Y _н -11	4200										
ТМГСУ		10	Y/Y _н -0		580	3700			1240	950	
ТМГ		15	Δ/Y _н -11		580	4200	1220	840	1280	1160	
		27,5; 35	Y/Y _н -0	6,5	700	3700	1450	950	1880	1550	
		35	Y/Z _н -11	6,8	700	4200					
ТМГМШ	400	6; 10	Y/Y _н -0	4,5	830	5400	1300	860	1350	1360	
		8,15	Δ/Y _н -11								
	6; 10	Y/Y _н -0	4,5	600	5400	1480			1480		
	6; 10	Δ/Y _н -11			5600						
	15	Y/Y _н -0	830	5800		1410			1360		
	15	Y/Z _н -11									
	27,5; 35	Y/Y _н -0	6,5	950	5500	1650	1000	1950	2190		
630	6; 10	Y/Y _н -0	5,5	1240	7600	1540	1060	1470	2000		
		Δ/Y _н -11									
ТМГМШ	630	6; 10	Y/Y _н -0	5,5	940	7600	1540	1060	1600	2100	
			Δ/Y _н -11								
ТМГ			Y/Z _н -11		1240	7600	1540	1060	1470	2000	
ТМГ	1000	6; 10	Δ/Y _н -0	5,5	1600	10800	1770	1100	1900	2900	
Δ/Y _н -11											
ТМГМШ			Y/Y _н -0		1250	10800					
Δ/Y _н -11											
ТМГ	1250	10	Y/Y _н -0	5,5	1800	12400	1770	1100	1900	3600	

Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции

10.1. Общие технические сведения по комплектным трансформаторным подстанциям

Технические характеристики комплектных трансформаторных подстанций (КТП) приведены в табл. 10.1—10.8.

Таблица 10.1. Технические характеристики КТП напряжением 6—10 кВ общего назначения для внутренней установки

Тип	$S_{\text{т.ном}}$, кВ·А	Тип транс- форматора	Комплектуемое оборудование	
			шкафы ВН	шкафы НН
КТП 250/6 и 10/0,4	250	ТМФ-250/10	—	—
2КТП 250/6 и 10/0,4	2×250	ТМФ-250/10	—	—
КТП 400/6 и 10/0,4	400	ТМФ-400/10	ВВ-1	КРН-5
2КТП 400/6 и 10/0,4	2×400	ТМФ-400/10	ВВ-1	КРН-5
КТП 630/6 и 10/0,4	630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
2КТП 630/6 и 10/0,4	2×630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
КТПМ 630/6 и 10/0,4	630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
2КТПМ 630/6 и 10/0,4	2×630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-9
КТП 630	630	ТМЗ-630/10	ВВ-2	КН-2
2КТП 630	2×630	ТСЗ-630/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-2, КН-3, КН-4
КТП 1000	1000	ТМЗ-1000/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-2, КН-3, КН-4
2КТП 1000	2×1000	ТСЗ-1000/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-5, КН-6, КН-17, КН-20
КТПМ 1000	1000	ТСЗ-1000/10	ШВВ-3	ШНВ-1М, ШНЛ-1М
2КТПМ 1000	2×1000	ТСЗ-1000/10	ШВВ-3	ШНВ-1М, ШНЛ-1М
КТПМ 1600	1600	ТСЗ-1600/10	ШВВ-3	ШНС-1М
2КТПМ 1600	2×1600	ТСЗ-1600/10	ШВВ-3	ШНВ-2М, ШНС-2М
КТПУ 630	630	ТМЗ-630/10	ВВН	ШН-2М, ШН-4М
2КТПУ 630	2×630	ТНЗ-630/10	ШВВ-3	ШН-5; ШН-8
КТПУ 1000	1000	ТМЗ-1000/10	ШВВ-3	ШН-10
2КТПУ 1000	2×1000	ТНЗ-1000/10	ШВВ-3	ШН-10
КТПУ 1600	1600	ТМЗ-1600/10	ШВВ-3	ШН-9
2КТПУ 1600	2×1600	ТНЗ-1600/10	ШВВ-3	ШН-9

Окончание табл. 10.1

Тип	$S_{\text{т.ном}},$ кВ · А	Тип транс- форматора	Комплектуемое оборудование	
			шкафы ВН	шкафы НН
КТПМ 1000	1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ШВВ-5 с выключателем	ШНВ-1М, ШНВ-2М
2КТПМ 1000-6/0,4	2×1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ШВВ-5 с выключателем	ШНЛ-1М, ШНЛ-2М
2КТПМ 1000-6/0,69	2×1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ВН-11 или глухой	ШНС-1М, ШНС-2М
КТПМ 1600/10	1600	ТМЗ, ТНЗ-1600/10	ВН-11 или глухой	ШНВ-2М, ШНВ-3М
2КТПМ 1600/10	2×1600	ТМЗ, ТНЗ- 1600/10	ВН-11 или глухой	ШНЛ-2М, ШНС-2М
КТПМ 2500-10/0,4	2500	ТНЗ-2500/10	ШВВ-3	ШНЛ-2К, ШНЛ-3К
2КТПМ 2500-10/0,69	2×2500	ТНЗ-2500/10	ШВВ-3	ШНС-3К, ШНВ-2К

Примечания: 1. Блок высоковольтного ввода выполняется трех типов: ВВ-1 — с глухим присоединением кабеля; ВВ-2 — с присоединением кабеля через разъединитель; ВВ-3 — с присоединением кабеля через разъединитель и предохранитель.

2. Буквы М и У в обозначении типов КТП соответственно обозначают: модифицированный и унифицированный.

Таблица 10.2. Технические характеристики КТП наружной установки типа КТПН-72М напряжением 6—10 кВ

Параметр	КТПН-72М-160	КТПН-72М-250	КТПН-72М-400
Мощность трансформатора, кВ · А	160	250	400
Разъединитель	РВЗ-10-400	РВЗ-10-400	РВЗ-10-400
Привод	ПР-10	ПР-10	ПР-10
Ввод	Кабельный		

Примечание. КТПН поставляются без силовых трансформаторов.

Таблица 10.3. Сопротивления понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 0,4 кВ

$S_{\text{т.ном}},$ кВ · А	Схема соеди- нения обмоток	$u_{\text{к}},$ %	Сопротивление, мОм							
			прямой последовательности			нулевой после- довательности		току однофазного КЗ		
			$r_{1\Gamma}$	$x_{1\Gamma}$	$z_{1\Gamma}$	$r_{0\Gamma}$	$x_{0\Gamma}$	$r_{\Gamma}^{(1)}$	$x_{\Gamma}^{(1)}$	$z_{\Gamma}^{(1)}$
25	Y/Y _н	4,5	154	244	287	1650	1930	1958	2418	3110
25	Y/Z _н	4,7	177	243	302	73	35,4	—	—	—
40	Y/Y _н	4,5	88	157	180	952	1269	1128	1583	1944
40	Y/Z _н	4,7	100	159	188	44	13,4	—	—	—
63	Y/Y _н	4,5	52	102	114	504	873	608	1077	1237
63	Y/Z _н	4,7	59	105	119	28	12	—	—	—
100	Y/Y _н	4,5	31,5	65	72	254	582	317	712	779
100	Y/Z _н	4,7	36,3	65,7	75	15,6	10,6	—	—	—

Окончание табл. 10.3

$S_{\text{т.ном}},$ кВ·А	Схема соеди- нения обмоток	$u_{\text{к}},$ %	Сопротивление, мОм							
			прямой последовательности			нулевой после- довательности		току однофазного КЗ		
			$r_{1\text{т}}$	$x_{1\text{т}}$	$z_{1\text{т}}$	$r_{0\text{т}}$	$x_{0\text{т}}$	$r_{\text{т}}^{(1)}$	$x_{\text{т}}^{(1)}$	$z_{\text{т}}^{(1)}$
160	Y/Y _н	4,5	16,6	41,7	45	15,1	367	184	450	486
160	Δ/Y _н	4,5	16,6	41,7	45	16,6	41,7	49,8	125	135
250	Y/Y _н	4,5	9,4	27,2	28,7	96,5	235	115	289	311
250	Δ/Y _н	4,5	9,4	27,2	28,7	9,4	27,2	28,2	81,6	86,3
400	Y/Y _н	4,5	5,5	17,1	18	55,6	149	66,6	183	195
400	Δ/Y _н	4,5	5,9	17	18	5,9	17	17,7	51	54
630	Y/Y _н	5,5	3,1	13,6	14	30,2	95,8	36,4	123	128
630	Δ/Y _н	5,5	3,4	13,5	14	3,4	13,5	10,2	40,5	42
1000	Y/Y _н	5,5	1,7	8,6	8,8	19,6	60,6	2,3	77,8	81
1000	Δ/Y _н	5,5	1,9	8,6	8,8	1,9	8,6	5,7	25,8	26,4
1600	Y/Y _н	5,5	1	5,4	5,5	16,3	50	18,3	60,8	63,5
1600	Δ/Y _н	5,5	1,1	5,4	5,5	1,1	5,4	3,3	16,2	16,5
2500	Δ/Y _н	5,5	0,64	3,46	3,52	0,64	3,46	1,92	10,38	10,56

Примечания: 1. Указанные в таблице значения сопротивлений масляных трансформаторов приведены к напряжению 0,4 кВ.
2. Для трансформаторов со вторичным напряжением 0,23 кВ данные таблицы следует уменьшить в 3 раза, а для трансформаторов со вторичным напряжением 0,69 кВ — увеличить в 3 раза.

Таблица 10.4. Общие технические характеристики КТП

Тип	S _{т.ном} , кВ·А	Напряжение, кВ		Габариты, мм, не более	Масса, кг
		ВН	НН		
Однотрансформаторные КТП					
КТП-25-6/0,4	25	6	0,4	1300×1300×2740	740
КТП-25-10/0,4	25	10	0,4	1300×1300×2740	740
КТП-40-6/0,4	40	6	0,4	1300×1300×2740	740
КТП-40-10/0,4	40	10	0,4	1300×1300×2740	845
КТП-63-6/0,4	63	6	0,4	1300×1300×2740	995
КТП-63-10/0,4	63	10	0,4	1300×1300×2740	995
КТП-100-6/0,4	100	6	0,4	1300×1300×2740	1100
КТП-100-10/0,4	100	10	0,4	1300×1300×2740	1100
КТП-160-6/0,4	160	6	0,4	1300×1300×1385	1385
КТП-160-10/0,4	160	10	0,4	1300×1300×2740	1385
КТП-250-10/0,4	250	10	0,4	1500×2100×2900	1850
КТП-100-35/0,4	100	35	0,4	5300×—×11 980	2190
КТП-400-6/0,4	400	6	0,4	—	2310
КТП-400-10/0,4	400	10	0,4	—	2310
КТП-630-6/0,4	630	6	0,4	—	—

Окончание табл. 10.4

Тип	$S_{\text{т.ном}},$ кВ · А	Напряжение, кВ		Габариты, мм, не более	Масса, кг
		ВН	НН		
КТПМ-630-6/0,4	630	6; 10	0,4	—	—
КТПН-400	400	6; 10	0,4	—	2865
КТПН-630	630	6; 10	0,4	—	2865
КТПН-1000	1000	6; 10	0,4	—	—
<i>Двухтрансформаторные КТП</i>					
КТП-250-6/0,4	2×250	6; 10	0,4	—	—
КТП-400-6/0,4	2×400	6; 10	0,4	—	—
КТП-630-6/0,4	2×630	6	0,4	—	—
КТП-630-10/0,4	2×630	10	0,4	—	—
КТПМ-630-6/0,4	630	6	0,4	—	—
КТПМ-630-10/0,4	630	10	0,4	—	—

Таблица 10.5. Технические характеристики КТПП (Самарский завод)

Параметр	Значение					
Мощность трансформатора, кВ·А	250	400	630	1000	1600	2500
Ток электродинамической стойкости, кА:						
на стороне ВН	51	51	51	51	51	51
на стороне НН	25	25	50	50	70	81
Ток термической стойкости в течение, кА/1с:						
на стороне ВН	20	20	20	20	20	20
на стороне НН	10	10	20	20	40	40
Схема и группа соединения обмоток трансформатора	Y/Y _н -0		Δ/Y _н -11			
Число трансформаторов	1 или 2					
Компоновка двух трансформаторных подстанций	Однорядные, двухрядные					

Таблица 10.6. Технические характеристики КТПБ*

Параметр	Значение параметра на стороне, кВ		
	220	110	35
Номинальная мощность трансформатора, МВ · А	16—125	2,52—63	6,3—16
Тип выключателя	ВМТ-220; ВВБ-220	ММО-110; ВМТ-110; ВВБМ-110	С-35; ВГБЭ-35
Ток электродинамической стойкости, кА	51	51	26
Ток термической стойкости на стороне ВН, кА/3 с	20	20	10
Тип шкафа на стороне 6 (10) кВ	К-59	К-59	К-59
Удельная материалоемкость**, кг/(кВ · А)	0,165	0,162	0,25
Площадь подстанции**, м	51×72	36×54	36×39

* По номенклатуре завода-изготовителя — КТПБ(М), т.е. модернизированные КТПБ.

** Для схем с фиксированным количеством присоединений.

Таблица 10.7. Технические характеристики КТП 6—10/0,4 кВ внутренней установки

Параметр	Хмельницкий завод трансформаторных подстанций			Чирчикский трансформаторный завод		Минский электро-технический завод
	КТП-400	КТП-630, КТП-1000	КТП-630-10-81; КТП-1000-10-81	КТПУ-630; КТПУ-1000	КТП-630; КТП-1000; КТП-1600; КТП-2500	
Номинальная мощность трансформатора	400	630; 1000	630; 1000	630; 1000	630; 1000; 1600	400; 630; 1000
Силовой трансформатор	ТМФ	ТМЗ; ТСЗ	ТМЗ; ТСЗ	—	—	ТСЗ; ТСЭС
Шкаф ввода ВН	ШВВ-1	ШВВ-1	ШВВ-1	—	—	Кабельная коробка
Коммутационный аппарат	ВНР _У -10	ВНР _У -10	ВНР _У -10	ВН-10	ВН-10	Глухой ввод
Габариты, мм	1200×1360×2447	1200×1360×2447	1200×1360×2447	860×1200×2500	860×1200×2500	—
Масса, кг	660	660	660	500	500	—
Шкаф НН: ввод секционный линейный	КБ-2; КБ-3 КБ-4 КБ-5	КН-2; КН-6 КН-3 КН-4; КН-5; КН-20	ШВН-1; ШВН-2 ШСН-3; ШСН-4 ШЛН-2; 3; 5	— — —	— — —	4ШН; 5ШН; 6ШН 12КМ —
Коммутационный аппарат: ввод секционный отходящих линий	АВМ10СВ и 4БПВ Блоки БПВ	АВМ20СВ и 2АВМ4В АВМ4В; АЗ700	ЭО6В; Э16В; АЗ700 АВМ4В; АЗ700; БПВ	АВМ20В; АВМ10В АВМ10В; АЗ700	ЭО6В; Э16В; Э25В; Э40В ЭО6В; Э16В; Э25В; АЗ700	— — АЗ710—АЗ740
Габариты, мм: ввода секционного линейного	750×820×2000 400×820×2000	1300×1148×2380 1300×1148×2380	650×1150×2310 650×1150×2310	1250×2200×1300 800×2200×1300	800×2200×1500 800×2200×1500	1100×2200×1500 —
Масса, кг: ввода секционного линейного	330 320 130	850 850 350—850	687 418 390	980 860 700	600—1800 700—1000 600—1200	— — —

Примечания: В обозначении трансформаторов: ТМФ — трехфазный, масляный с баком повышенной прочности; ТМЗ — с герметизированным баком; ТСЗ — сухой.

2. Подстанция КТП-СН-0,5 предназначена для питания потребителей собственных нужд напряжением 0,4 кВ ТЭС и АЭС.

3. В пожароопасных зонах любого класса открытая установка КТП с масляным трансформатором не допускается. В них могут размещаться встроенные КТП с масляными трансформаторами, количество и мощность которых определяются как и для помещений с нормальной средой.

Таблица 10.8. Технические характеристики КТП 6—10/0,4 кВ наружной установки (Хмельницкий завод трансформаторных подстанций)

Параметр	КТП-400У1	КТП-630У1; КТП-1000У1; 2КТП-630У1; 2КТП-1000У1
Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	400	630; 1000; 2×630; 2×1000
Тип силового трансформатора	ТМФ-400/6-10	ТМЗ-630/6-10; ТМЗ-1000/6-10
Шкаф ввода ВН	ШВВ-1	ШВВ-1
Коммутационный аппарат	ВНРу-10	ВНРу-10
Габариты, мм	1200×1360×2450	1200×1360×2450
Масса, кг	660	660
Шкаф ввода НН	КБН-1	КНН-1; КНН-2
Коммутационный аппарат: ввода линий	АВСМ-10СВ 2 шт. БПВ-2; 2 шт. БПВ-1; 2 шт. БПВ-4	АВСМ-20СВ АВМ-4В; АВМ-10В или АВМ-20СВ; АВМ-4В
Число отходящих линий	5—6	7—9
Габариты, мм	4060×1220×2050	Ширина по заказу×1185 (1255)×2000
Масса, кг	2880	Определяется заказом

10.2. Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции разных производителей

10.2.1. Комплектные распределительные устройства внутренней установки 6—10 кВ серий К-125, К-126, К-128, К-129 (ОАО «Мосэлектротит»)

Комплектные распределительные устройства серии К-125 предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц на номинальное напряжение 6—10 кВ (табл. 10.9).

Область применения — для распредустройств электростанций и подстанций, имеющих ограничение места в помещениях РУ.

Шкафы К-125 — двухъярусные, двухстороннего обслуживания, рассчитаны на два независимых присоединения в одном шкафу с общими сборными шинами.

Конструктивной особенностью шкафов К-125 является сборка из отдельных блоков (модулей).

Климатическое исполнение и категория размещения — УЗ.

Таблица 10.9. Технические характеристики КРУ серии К-125

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей сборных шин	400; 630; 800 1000
Тип применяемых вакуумных выключателей	ВБМ; ВБП; ВВ/TEL, ВБСК
Номинальный ток отключения выключателей, встроенных в шкафы КРУ, кА	20
Ток термической стойкости (3 с — для главных цепей, 1 с — для заземляющих ножей), кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	51
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: постоянного тока переменного тока	110; 220 220
Габариты шкафов (Ш×Г×В), мм:	750×1400× 2330
Масса шкафа, кг	1100

Комплектные распределительные устройства серии К-126 (табл. 10.10) предназначены для приема и распределения электрической энергии в электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц на номинальное напряжение до 12 кВ в РУ 6—10 кВ электростанций, распределительных подстанций энергосистем, подстанций промпредприятий, электрификации транспорта, сельского хозяйства и других объектов электроснабжения. Шкафы серии К-126 — одностороннего обслуживания. Шкафы стыкуются непосредственно без переходных шкафов со шкафами К-XXVI и К-ХП.

Климатическое исполнение и категория размещения — УЗ.

Таблица 10.10. Технические характеристики КРУ серии К-126

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей сборных шин	630; 1000 1000
Тип применяемых вакуумных выключателей	ВВ/TEL, ВР2
Номинальный ток отключения выключателей, встроенных в шкафы КРУ, кА	20
Ток термической стойкости (3 с — для главных цепей; 1 с — для заземляющих ножей), кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	51

Окончание табл. 10.10

Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	220
Габариты шкафов (Ш×Г×В), мм	750×1500×2370
Масса шкафа, кг	1100
Минимальные размеры коридора обслуживания КРУ*, мм, не менее	1500

* С фасадной стороны шкафов КРУ (коридор управления).

Комплектные распределительные устройства серии К-128 (табл. 10.11) имеют то же назначение, что и шкафы серии К-126. Они стыкуются непосредственно без переходных шкафов со шкафами К-104М. Шкафы серии К-128 — двухстороннего обслуживания. Климатическое исполнение и категория размещения — УЗ. Принятая конструкция обеспечивает высокий уровень безопасности для обслуживающего персонала.

Таблица 10.11. Технические характеристики КРУ серии К-128

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А:	
главных цепей	630; 1000; 1600
сборных шин	1600; 2000; 3150
Тип применяемых выключателей:	
элегазовых	HD4/GT; LF1; LF2
вакуумных	VD4; 3AH5; BB/TEL; ВБП
Номинальный ток отключения выключателей, встроенных в шкафы КРУ, кА	20; 31,5; 40
Ток термической стойкости (3 с — для главных цепей; 1 с — для заземляющих ножей), кА	20; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	51; 81; 128
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	220
Вид линейных высоковольтных присоединений	Кабельные; шинные
Габариты шкафов (Ш×Г×В), мм	750×1500×2370
Масса шкафа, кг	690—890*
Минимальные размеры коридора обслуживания КРУ**, мм, не менее	1500

* В зависимости от исполнения.

** С фасадной стороны шкафов КРУ (коридор управления).

Новые комплектные распределительные устройства серии К-129. Конструкция КРУ серии К-129 отвечает современным повышенным требованиям безопасности для обслуживающего персонала при высокой степени надежности (табл. 10.12).

Шкафы серии К-129 — одно- и двухстороннего обслуживания.

Таблица 10.12. Основные технические характеристики КРУ серии К-129

Параметр	Значение
Номинальный ток, А: главных цепей сборных шин	630; 1000; 1600 1000; 1600
Ток термической стойкости, кА (3 с — для главных цепей; 1 с — для заземляющих ножей)	20; 31,5; 40
Ток электродинамической стойкости, кА	51; 81; 128
Степень защиты	IP40 (IP41)
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: постоянного тока переменного тока	110; 220 220
Габариты, мм	750×1400(1500)×2420
Масса, кг, не более	950

10.2.2. Комплектные распределительные устройства и камеры сборные одностороннего обслуживания серий КМП-Н, КМП-С, КМ1, КРУ2-10, КСО-202, КСО-292, КСО-2029У (Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры)

Комплектные распределительные устройства серий КМП-Н (прислоненного типа с напольным расположением выкатного элемента) и КМП-С (прислоненного типа со средним расположением выкатного элемента) предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока при номинальном напряжении 6—10 кВ промышленной частоты 50 и 60 Гц для систем с изолированной нейтралью (табл. 10.13, 10.14).

Таблица 10.13. Технические характеристики КРУ серии КМП-Н

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), В	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей шкафов КРУ сборных шин	630; 1000; 1250; 1600 630; 1000; 1600; 2000; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА	20; 31,5; 40

Окончание табл. 10.13

Параметр	Значение
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	51; 81
Ток термической стойкости (кратковременный), кА	20; 31,5; 40
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного (выпрямленного) тока	110
переменного тока	220
Габариты (Ш×В×Г), мм	750×2000×1000(1200)

Исполнение и категория размещения КРУ серии КМП-С в части воздействия климатических факторов внешней среды соответствует исполнению У категории 3, при этом диапазон температур окружающего шкафы КРУ воздуха составляет:

- от -5 до $+40$ °С — для шкафов КРУ без установки подогревателей;
- от -25 до $+40$ °С — для шкафов КРУ с установкой электроподогревателей в релейном отсеке.

Таблица 10.14. Технические характеристики КРУ серии КМП-С

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), В	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А:	630; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500;
главных цепей шкафов КРУ	3150
сборных шин	1250; 1600; 2000; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА	20; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	51; 81; 102
Ток термической стойкости (кратковременный), кА	20; 31,5; 40
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного (выпрямленного) тока	110; 220
переменного тока	110; 220
Габариты (Ш×В×Г), мм	750(1000)×1550×2325

Комплектные распределительные устройства серии КМ1 (табл. 10.15) предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока при номинальном напряжении 6—10 кВ промышленной частоты 50 и 60 Гц для систем с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. Шкафы КМ-1 прошли испытания на сейсмостойкость до 9 баллов по шкале MSK-64.

Условия эксплуатации КРУ:

- высота над уровнем моря — до 1000 м;

• рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации для исполнения УЗ:

- от -5 до $+40$ °C — без установки подогревателей в релейном шкафу;
- от -25 до $+40$ °C — с установкой подогревателей в релейном шкафу.

Таблица 10.15. Технические характеристики КРУ серии КМ1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Максимальное рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей и рабочих шин, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА	20; 31,5; 40
Ток термической стойкости (кратковременный), кА/3с	20; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ, кА	51; 81; 102
Номинальная мощность встраиваемых трансформаторов СН, кВ·А	25; 40
Габариты шкафа отходящих линий (Ш×В×Г), мм, на номинальный ток:	
до 1600 А	750×1300(1400)×2150(2310)
2000—3150 А	1125×1300(1400)×2150(2310)

Дополнительные данные по КРУ серии КМ1

Вид линейных высоковольтных подсоединений	Кабельные, шинные
Условия обслуживания	С двухсторонним обслуживанием
Степень защиты	Защищенное исполнение IP20 для категории размещения 3 или 4
Максимальное число высоковольтных кабелей в шкафах с выключателями	4
Наибольшее сечение кабелей высокого напряжения, мм ²	3×240
Выключатель на номинальный ток:	
до 1600 А	ВБЧЭ, ВКЭ-10, ВВ/TEL, Эволис, VF, LF
до 3150 А	ВМПЭ-10, ВВЭ-СМ, HD4, LF, ВБЭС
Применяемые микропроцессорные защиты	SEPAM, SPAC, MICOM, Сириус, Орион
Разъединитель	Штепсельный, силовой типа РВР-10/4000
Трансформаторы тока	ТОЛ-10 (ТЛК-10); ТЛШ-10
Трансформаторы напряжения	НОЛ.08; НОЛ.06; НАМИ-10
Силовые трансформаторы	ТСКС-40
Высоковольтные предохранители	ПК1-6; ПК1-10; ПК-26; ПК2-10

В зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений в состав КРУ входят различные виды шкафов (ШВВ, ШВГ, ШТН и др.) на номинальные токи 30—1600 А.

Комплектные распределительные устройства серии КРУ2-10 предназначены для работы в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ для систем с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. Камеры относятся к климатическим исполнениям У и Т категории размещения 3 (табл. 10.16).

Таблица 10.16. Технические характеристики КРУ серии КРУ2-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Максимальное рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей шкафов КРУ	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
сборных шин и токопровода	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА	20; 31,5
Стойкость к токам КЗ главных цепей, за исключением цепей, подключаемых непосредственно к выводам трансформаторов напряжения, разрядников, конденсаторов и т.д., кА:	
электродинамическая	51; 81
термическая, в течение 3 с	20; 31,5
Высота над уровнем моря, м, не более	1000
Диапазон температур окружающего воздуха для шкафов, °С:	
без установки подогревателей	-5 ÷ +40
с установкой подогревателей в релейном шкафу	-25 ÷ +40

Камеры сборные одностороннего обслуживания серий КСО-202, КСО-292 предназначены для работы в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в системах с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью (табл. 10.17). Из этих камер собираются распределительные устройства, служащие для приема и распределения электроэнергии.

Таблица 10.17. Технические характеристики камер серий КСО-202, КСО-292

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Максимальное рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1250; 1600
Номинальный ток отключения, кА	0,630; 12,5; 20
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	12,5; 20

Окончание табл. 10.17

Параметр	Значение
Ток электродинамической стойкости, кА	32; 51
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 630; 800; 1000; 1500
Номинальный ток сборных шин и шинных мостов, А	630; 1000; 1600
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: цепи защиты, управления, сигнализации постоянного и переменного тока	220
цепи трансформаторов напряжения	100
цепи трансформаторов собственных нужд	220; 380
цепи освещения внутри камеры	12; 220
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 40; 50; 80; 100; 160
Устройства РЗА	Серам, SPAC, REF, ТЭМП2501, Сириус, БМРЗ, электромеханические
Габариты (Ш×В×Г), мм: КСО-202	750(1000)×1100×2650,
КСО-292	1000×1100×2780

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО-202У предназначены для работы в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в системах с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью (табл. 10.18). Из этих камер собираются распределительные устройства, служащие для приема и распределения электроэнергии.

Таблица 10.18. Технические характеристики камер серии КСО-220У

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Максимальное рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток отключения, кА	0,630; 12,5; 20
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	32; 51
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1600
Коммутационный аппарат	Вакуумный
Устройства РЗА	Электромеханические, микропроцессорные

10.2.3. Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции, сборные камеры серий КНВ-10, КСО-202В, КСО-202ВМ, КСО-306, КСО-306ШВВ, БМКТП (ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»)

КРУ серии КНВ-10 предназначены для работы в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ для систем с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью (табл. 10.19).

Таблица 10.19. Технические характеристики КРУ серии КНВ-10

Параметр	Значение
Диапазон температуры окружающего воздуха, °С	-25 ÷ +40
Номинальное напряжение (линейное), кВ: при частоте 50 Гц (для исполнения УЗ) при частоте 60 Гц (для исполнения ТЗ)	6; 10 6,6; 11
Максимальное рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А: при частоте 50 Гц при частоте 60 Гц	630; 1000; 1600 630; 1250
Номинальный ток сборных шин, А: при частоте 50 Гц при частоте 60 Гц	1000; 1600; 2000; 2500; 3150 800; 1250; 1600; 2500
Номинальный ток отключения встроенного в КРУ выключателя, кА	12,5; 16; 20; 25; 31,5
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	20; 31,5
Ток электродинамической стойкости, кА	51; 81
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: постоянного тока переменного тока	110 220
Номинальная мощность встраиваемых трансформаторов собственных нужд, кВ·А	40

Дополнительные данные по КРУ серии КНВ-10

Вид изоляции	Воздушная; комбинированная
Наличие изоляции токоведущих шин главных цепей	С неизолированными шинами; с изолированными шинами
Наличие выкатных элементов в шкафу	С выкатными элементами; без выкатных элементов
Условия обслуживания	С двухсторонним обслуживанием
Вид линейных высоковольтных вводов (подсоединений) ..	Кабельные и шинные
Вид управления	Местное, дистанционное
Степень защиты	IP30

Конструкция шкафов КРУ и токопроводов обеспечивает защиту обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим и подвижным частям, заключенным в оболочку, и защиту оборудования от попадания твердых инородных тел в соответствии со степенью защиты IP30.

В КРУ обеспечивается локализация аварии внутри шкафа или монтажной единицы при возникновении дугового короткого замыкания при времени воздействия электрической дуги не более 0,2 с.

В шкафах КРУ предусмотрены механические и электрические блокировки.

Камеры сборные одностороннего обслуживания серий КСО-202В, КСО-202ВМ (табл. 10.20) предназначены для работы в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в системах с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью.

Из этих камер собираются распределительные устройства, служащие для приема и распределения электроэнергии. Принцип работы определяется совокупностью схем главных и вспомогательных цепей камер.

Таблица 10.20. Технические характеристики камер серий КСО-202В, КСО-202ВМ

Параметр	КСО-202В	КСО-202ВМ
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10	6; 10
Максимальное рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1600	630; 1000
Номинальный ток отключения, кА	12,5; 20	12,5; 20
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	20	20
Ток электродинамической стойкости, кА	51	51
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000
Номинальный ток сборных шин и шинных мостов, А	630; 1000; 1600	630; 1000
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: цепи защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока	220	220
цепи трансформаторов напряжения	100	100
цепи трансформаторов собственных нужд	220; 380	220; 380
Напряжение цепей освещения, В: внутри камеры	12	12
фасада камеры	12; 220	12; 220
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5 — 160	
Диапазон температуры окружающего воздуха, °С	–25 ÷ +40	
Габариты, мм	750×1090×2650	750×950×2200

Дополнительные данные по камерам серий КСО-202В, КСО-202ВМ

Наличие изоляции токоведущих шин главных цепей.	Изолированные шины
Система сборных шин.	С одной системой сборных шин
Условия обслуживания.	Одностороннее
Вид линейных высоковольтных вводов (подсоединений).	Кабельные; шинные
Наличие дверей в отсеке выкатной тележки.	Шкафы с дверями; шкафы без дверей
Степень защиты:	
для наружных оболочек фасада и боковых сторон.	IP20
для боковых стенок крайних в ряду камер.	IP30
для остальной части камер.	IP00

Во избежание ошибочных операций при обслуживании и ремонте в камерах выполнены электрические и механические блокировки.

Камеры сборные одностороннего обслуживания серий КСО-306, КСО-306ШВВ предназначены для приема и распределения электрической энергии в электрических установках трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ для систем с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью (табл. 10.21).

Камеры серии КСО-306ШВВ предназначены для обеспечения высоковольтного ввода для различных установок на напряжение 6 и 10 кВ.

Камеры относятся к климатическому исполнению У и Т категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха — от -45 до $+40$ °С;
- высота над уровнем моря — не более 1000 м;
- уровень сейсмостойкости — до 9 баллов;
- окружающая среда — невзрывоопасная и не содержит токопроводящую пыль, агрессивные пары и газы в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

Таблица 10.21. Технические характеристики камер серий КСО-306, КСО-306ШВВ

Параметр	КСО-306	КСО-306ШВВ
Номинальное напряжение (линейное), В	6; 10	6; 10
Максимальное рабочее напряжение (линейное), В	7,2; 12	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630	400; 630
Номинальный ток отключения, А	630	630
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	20	20
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	51	51
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600	—

Окончание табл. 10.21

Параметр	КСО-306	КСО-306ШВВ
Номинальный ток сборных шин и шинных мостов, А	630	—
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В	220; 380	220; 380
Напряжение цепей освещения внутри камеры КСО, В	36; 220	36; 220
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5 ÷ 160; 200	200
Габариты, мм	800×825×942	1125×1000×2150

Дополнительные данные по камерам серий КСО-306, КСО-306ШВВ

Наличие изоляции токоведущих шин главных цепей Неизолированные шины
 Система сборных шин С одной системой сборных шин
 Вид линейных высоковольтных вводов
 (подсоединений) Кабельные; шинные
 Степень защиты:
 для наружных оболочек фасада и боковых сторон IP20
 для боковых стенок крайних в ряду камер IP30
 для остальной части камер IP00

В зависимости от встраиваемой аппаратуры камеры имеют различные исполнения.

Камеры обеспечены механическими блокировками.

Комплектные трансформаторные подстанции внутренней установки мощностью 250, 400, 630, 1000, 1600 и 2500 кВ·А предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц и применяются в системах энергосбережения промышленных предприятий и объектов по добыче, транспортированию и переработке нефти и природного газа.

Комплектные трансформаторные подстанции относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха:
 для КТП с масляными трансформаторами — от –40 до +40 °С,
 для КТП с сухими трансформаторами — от +1 до +40 °С;
- относительная влажность воздуха — не более 80% при +20 °С;
- окружающая среда — невзрывоопасная, не содержит токопроводящей пыли, едких паров и газов, разрушающих металл и изоляцию.

Выпускаются с глухозаземленной нейтралью на стороне низкого напряжения.

Однотрансформаторная КТП состоит из вводного устройства со стороны

высокого напряжения (УВН), силового трансформатора, кожуха для защиты выводов силового трансформатора, распределительного устройства со стороны низкого напряжения (РУНН).

Двухтрансформаторная КТП состоит из двух однострансформаторных КТП и секционного шкафа; кроме того, может иметь до двух вводов от дизельной электростанции (ДЭС).

Автоматика включает ввод от ДЭС при исчезновении напряжения на обоих вводах и отключает при появлении напряжения на одном из вводов. Имеется возможность измерения и учета электроэнергии на вводах и линейных фидерах. Выполняется учет активной и реактивной электроэнергии на базе электронных счетчиков.

В качестве силовых аппаратов применяются автоматические выключатели серии ВА, «Электрон» (завод «Контактор», г. Ульяновск) и выключатели серии NT и NW фирмы «Шнейдер Электрик». Схема предусматривает защиту от перегрузки, КЗ и однофазных замыканий на землю. На вводах РУНН используются реле контроля напряжения, порядка чередования фаз и защиты от асимметрии фазных напряжений и исчезновения напряжения.

Устройство высокого напряжения изготавливается двух исполнений:

ШВВ-1 — шкаф «глухого ввода», в котором высоковольтные кабели присоединяются непосредственно к выводам ВН силового трансформатора;

ШВВ-2 — шкаф с выключателем нагрузки типа ВНП. В шкафу выполнены различные блокировки. Шкаф ШВВ-2 снабжен клапаном избыточного давления, расположенным на крышке, который при КЗ разгружает шкаф от избыточного давления.

Комплектные трансформаторные подстанции наружной установки мощностью до 2500 кВ·А серии БМКТП 6(10)/0,4 кВ предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц в сетях электроснабжения промышленных, нефтегазодобывающих предприятий и других объектов с глухозаземленной или изолированной нейтралью на стороне низкого напряжения (табл. 10.22, 10.23).

Комплектные трансформаторные подстанции эксплуатируются в следующих условиях:

- высота над уровнем моря должна быть не более 1000 м;
- окружающая среда взрыво- и пожаробезопасная, не содержащая токопроводящие или химически активные газы, испарения и осадки, разрушающие изоляцию и металлы;
- стойкость БМКТП в условиях гололеда при толщине льда до 20 мм и скорости ветра до 15 м/с, а при отсутствии гололеда — при скорости ветра до 36 м/с.

Таблица 10.22. Классификация исполнений БМКТП

Признак классификации	Исполнение
Тип силового трансформатора	С масляным трансформатором; с трансформатором с негорючим жидким диэлектриком; с сухим трансформатором
Способ выполнения нейтрали трансформатора на стороне низшего напряжения (НН)	С глухозаземленной нейтралью; с изолированной нейтралью
Взаимное расположению изделий	Однорядное, двухрядное
Число применяемых силовых трансформаторов	С одним трансформатором; с двумя трансформаторами
Способ подключения трансформатора к УВН и РУНН	Медными неизолированными шинами; алюминиевыми неизолированными шинами; медными гибкими неизолированными шинами; кабелем
Наличие и материал изоляции шин в распределительном устройстве со стороны РУНН	С медными неизолированными шинами; с медными изолированными шинами
Выполнение высоковольтного ввода	Воздушный, кабельный
Способ выполнения выводов отходящих линий (шинами и кабелями) в РУНН	Вывод вверх, вывод вниз, выводы вверх и вниз
Климатическое исполнение и категория размещения	Категория 1, 3 исполнений У, ХЛ, УХЛ и в сочетании категорий (смешанная установка): 1 — для устройств со стороны УВН, шинопровода и силового трансформатора и 3 — для исполнения РУНН
Степень защиты оболочки: для КТП наружной установки для КТП внутренней установки	IP23 IP31
Вид оболочек (блочного модуля)	Утепленная оболочка; неутепленная оболочка
Способ установки автоматических выключателей	Со стационарными выключателями, с выдвижными выключателями
Назначение шкафов РУНН	Вводные, линейные, секционные, резервного ввода от ДЭС

Таблица 10.23. Технические характеристики БМКТП

Параметр	Значение			
Мощность силового трансформатора, кВ·А	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400	630; 1000	1600*	2500*
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	6; 10			
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12			
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4			
Ток термической стойкости в течение 1 с на стороне ВН, кА	20			
Ток термической стойкости в течение 1 с на стороне НН, кА	10	20	30	40
Ток электродинамической стойкости, кА:				
на стороне ВН	51	51	51	51
на стороне НН	25	50	70	100

* Только для КТП внутренней установки.

10.2.4. Комплектные распределительные устройства на 20 кВ серии К-26(27)М-АЭ (НПФ «Альянс-Электро»)

Линейка комплектных распределительных устройств дополнена ячейками серии К-26(27)М-АЭ. Они предназначены для электроснабжения собственных нужд электростанций (в том числе атомных), подстанций, ответственных потребителей электроэнергии и энергосистем промышленных предприятий. КРУ серии К-26(27)М-АЭ используются в сетях напряжением 20—24 кВ с изолированной нейтралью (табл. 10.24).

Таблица 10.24. Технические характеристики КРУ на 20 кВ

Номинальное напряжение, кВ	20
Номинальный ток главных цепей, А	1600(1350)
Номинальный ток отключения выключателя, кА	40
Габариты (Ш×В×Г), мм	800 (1125)×2200(2500)×1600

Ячейка серии КРУ К-26(27)М-АЭ — сборная металлоконструкция, рассчитанная на установку внутри здания. Ширина коридора управления в помещении распределительного устройства при двухрядной установке должна быть не менее 1600 мм. Предусмотрено двухстороннее обслуживание КРУ с возможностью одностороннего. Элементы, находящиеся под высоким напряжением, имеют степень защиты IP24, отсеки сборных шин и кабельного присоединения IP20.

КРУ имеют: надежный привод заземлителя; вакуумные выключатели «Siemens»; систему приводов для заземления главных цепей и перемещения выключателя.

10.2.5. Комплектные трансформаторные подстанции и распределительные устройства серий КТП 35/0,4, КТПНУ, КТПБ35, КТПНБ, КТПП, КТПСН, К-02-ЗМК, КСО-299, КСО-398, КСО-399, ВМ-4-35, К-02-3, К-02-4, КРУН-АСВЛ (Чебоксарский завод силового электрооборудования «Электросила»)

Комплектные трансформаторные подстанции в мобильном блок-контейнерном здании на напряжение 35/0,4 кВ (КТП 35/0,4) предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного тока промышленной частотой 50 Гц (табл. 10.25).

Нормальная работа подстанции обеспечивается в следующих условиях:

- высота установки над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха — от –60 до +40 °С.

Таблица 10.25. Технические характеристики КТП 35/0,4

Параметр	Значение							
Мощность силового трансформатора, кВ·А	100	160	250	400	630	1000	1250	1600
Номинальное напряжение, кВ:								
на стороне высшего напряжения (ВН)	35							
на стороне низшего напряжения (НН)	0,4							
Наибольшее рабочее напряжение на стороне ВН, кВ	40,5							
Номинальный ток сборных шин на стороне НН, А	630	630	1000	1000	1600	1600	2000	3150
Ток электродинамической стойкости (амплитуда) на стороне ВН, кА	81/79*							
Ток электродинамической стойкости (амплитуда) на стороне НН, кА	50							
Ток термической стойкости, кА:	31,5							
на стороне ВН								
на стороне НН	25	25	25	30	30	30	40	40
Степень огнестойкости	II							
Степень защиты	IP34							

* Числитель — для КРУ серии ВМ-4-35; знаменатель — для КРУ серии «Fluair 400» («Schneider Electric»).

Комплектные трансформаторные подстанции в мобильных блок-контейнерных зданиях на напряжение до 10 кВ (КТПНУ) мощностью от 160 до 2500 кВ·А предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частоты 50 Гц на напряжение до 10 кВ (табл. 10.26, 10.27).

КТПНУ состоят из отдельных блок-контейнеров с установленным в них электрооборудованием: распределительного устройства высокого напряжения (РУ 6, 10 кВ), распределительного устройства низкого напряжения — РУНН (РУ 0,4 кВ) и силовыми трансформаторами.

В КТПНУ предусмотрены отопление, освещение напряжением 220 В (50 Гц), переносное освещение 36 В (50 Гц), система противопожарной сигнализации, охранная сигнализация, система кондиционирования и вентиляции.

РУ 6(10) кВ комплектуются из шкафа УВН, КСО-339 с выключателями нагрузки типа ВНА-10 или ВНП-М1-10 и предохранителями типа ПКТ, камер серии КСО-299М с силовыми вакуумными выключателями и шкафов серии К-02-4 с силовыми вакуумными выключателями, установленными на выкатные тележки.

Релейная защита и автоматика РУ 6(10) кВ из камер серии КСО-299М или шкафов серии К-02-4 выполняется на электромеханических реле или микропроцессорных терминалах типов ТЭМП 2501, SEPAM, SPAC 800, «Орион», «Сириус».

РУ 0,4 кВ комплектуются из панелей ЩО70 со стационарно устанавли-

ваемыми автоматическими выключателями или шкафов РУНН двухстороннего обслуживания с выдвижными автоматическими выключателями.

В КТПНУ устанавливаются силовые масляные трансформаторы типов ТМГ, ТМЗ, ТМ или сухие — типов ТСЗ, ТСЗН, TSE, TRINAL.

КТПНУ в части воздействия климатических факторов внешней среды относятся к климатическому исполнению УХЛ категории размещения 1 и эксплуатируются в следующих условиях:

- высота установки над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха — от -60 до $+40$ °С.

Таблица 10.26. Технические характеристики КТПНУ мощностью от 160 до 1000 кВ·А

Параметр	Значение
Мощность силового трансформатора, кВ·А	160; 250; 400; 630; 1000
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение на стороне ВН, кВ	7,2; 12
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4
Номинальный ток сборных шин на стороне НН, А	630; 1000; 1600; 2000
Ток электродинамической стойкости, кА:	
на стороне ВН	51
на стороне НН	50
Ток термической стойкости, кА:	
в течение 1 с на стороне ВН	20
в течение 0,5 с на стороне НН	25
Степень защиты	IP23; IP34
Степень огнестойкости	II
Масса КТПНУ, кг, не более:	
блок-контейнера РУ6(10 кВ)	9000
блок-контейнера РУ0,4 кВ	9000
блок-контейнера (без трансформаторов)	5500

Таблица 10.27. Технические характеристики КТПНУ (мощность от 160 до 2500 кВ·А)

Параметр	Значение						
Мощность силового трансформатора, кВ·А	160	250	400	630	1000	1600	2500
Номинальное напряжение, кВ	6; 10 0,4						
на стороне ВН							
на стороне НН							
Наибольшее рабочее напряжение на стороне ВН, кВ	7,2; 12						
Ток термической стойкости на стороне ВН, кА/1 с	20	20	20	20	31,5	31,5	31,5
Ток электродинамической стойкости на стороне ВН, кА/1 с	51	51	51	51	51	51	51
Ток электродинамической стойкости на стороне НН, кА	25	25	25	50	50	70	100
Ток термической стойкости на стороне НН, кА (в течение 1 с)	10	10	25	25	25	30	40

Окончание табл. 10.27

Параметр	Значение						
Ток сборных шин на стороне НН, кА	0,4	0,4	0,58	0,91	1,45	2,31	3,61
Степень защиты	IP23, IP34						
Степень огнестойкости по СНиП 21-01—97	II						
Масса КТПНУ, кг, не более:							
блок-контейнера	7600						
блок-контейнера 2 (без трансформаторов)	9300						
блок-контейнера 3	7600						

Подстанции трансформаторные комплектные в мобильных блок-контейнерных зданиях с понижающими 35/6(10) кВ или повышающими трансформаторами 6(10)/35 кВ (КТПБ 35 кВ) предназначены для приема, преобразования, распределения и транзита электрической энергии трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц (табл. 10.28).

Условия эксплуатации КТПБ 35 кВ:

- высота установки над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха — от –60 до +40 °С.

Таблица 10.28. Технические характеристики КТП типа КТПБ 35 кВ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ:	
на стороне высшего напряжения	65
на стороне низшего напряжения	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ:	
на стороне ВН	40,5
на стороне НН	7,2; 12
Число силовых трансформаторов	1, 2 или 4
Номинальная мощность силового трансформатора, кВ · А	2500; 4000; 6300; 10000; 16000
Номинальный ток, А	
на стороне ВН	1250
на стороне НН	Не более 1350
Ток электродинамической стойкости (амплитуда), кА:	
на стороне ВН	80
на стороне ВН	63
Ток термической стойкости, кА:	31,5
на стороне ВН	
на стороне НН	31,5
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Степень защиты	IP23

КТПБ 35 кВ состоит из комплектных функциональных блоков:

- закрытого распределительного устройства 35 кВ (ЗРУ 35 кВ);
- блока с силовыми трансформаторами 35/6(10) кВ или 6(10)/35 кВ;
- закрытого распределительного устройства 6(10) кВ (ЗРУ 6(10) кВ).

В КТПБ 35 кВ применяются вакуумные выключатели, сухие или масляные трансформаторы с регулированием напряжения (ПБВ, РПН), счетчики активной и реактивной энергии типа СЭТ-4ТМ; РЗ типа «Сириус» и др.

Подстанции трансформаторные комплектные наружной установки в бетонном корпусе (КТПНБ) с трансформаторами мощностью от 100 до 1250 кВ·А на напряжение до 10 кВ предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 6(10) кВ (табл. 10.29).

КТПНБ предназначены для электроснабжения жилищно-коммунальных, промышленных объектов, а также коттеджных поселков и зон индивидуальной застройки в сетях с изолированной нейтралью на стороне 0,4 кВ.

КТПНБ подключаются к воздушным и кабельным линиям. В обоих случаях вводы/выводы ВН и НН в КТПНБ осуществляются кабелем.

КТПНБ поставляются как однострансформаторные (КТПНБ) или двухтрансформаторные (2КТПНБ) подстанции.

Применение КТПНБ позволяет упростить процедуру землеотвода, сократить сроки монтажа и ввода в эксплуатацию. Срок службы КТПНБ составляет не менее 25 лет.

В части воздействия климатических факторов внешней среды КТПНБ относятся к климатическому исполнению УХЛ категории размещения 1 и эксплуатируются в следующих условиях:

- высота установки над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха — от -40 до $+40$ °С;
- окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих материалы и изоляцию.

Таблица 10.29. Технические характеристики КТПНБ

Параметр	Значение
Мощность силового трансформатора, кВ·А	100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1250
Номинальное напряжение, кВ:	
на стороне ВН	6; 10
на стороне НН	0,4
Номинальный ток сборных шин, А	
на стороне ВН	400; 630; 1000; 1250
на стороне НН	250; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500
Ток термической стойкости сборных шин на стороне ВН, для РУ:	
с воздушной изоляцией, кА/2 с	12,5; 20
с элегазовой изоляцией, кА/1 с	20; 25

Окончание табл. 10.29

Параметр	Значение
Ток электродинамической стойкости сборных шин на стороне ВН, для РУ, кА:	
с воздушной изоляцией	31,5; 51
с элегазовой изоляцией	51; 63
Ток термической стойкости сборных шин на стороне НН, кА/1 с	50; 100
Ток электродинамической стойкости сборных шин на стороне НН, кА	110; 220
Номинальное напряжение вторичных цепей, В:	
переменного тока	220
постоянного тока	24
освещения переменного тока	36
Климатическое исполнение	УХЛ1
Степень защиты	IP23
Масса, кг, не более:	
бетонного корпуса (с плитой перекрытия, с оборудованием, без трансформатора)	18000
объемного приямка	10000

Комплектные трансформаторные подстанции внутренней установки мощностью 250—2500 кВ·А, напряжением 6(10)/0,4 кВ предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц (табл. 10.30).

Применяются в системах электроснабжения:

- промышленных, нефтегазодобывающих, газовых, химических, энергетических предприятий (типоисполнение КТПП);
- потребителей собственных нужд атомных, тепловых и гидроэлектростанций (типоисполнение КТПСН).

КТПП и КТПСН предназначены для работы в следующих условиях:

- высота над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха — от -40 до $+40$ °С;
- относительная влажность воздуха — 80% при 20 °С;
- окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая едких паров и газов, разрушающих металлы и изоляцию;
- отсутствие резких толчков, ударов и сильной тряски.

В КТПП и КТПСН предусмотрены:

- схема автоматического ввода резерва (АВР) на базе электромеханических реле или на микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики;
- применение блока тиристорного автоматического ввода резерва (ТАВР);
- учет активной и реактивной энергии;

- дистанционное управление и сигнализация;
- интеграция в систему АСУ электроснабжения.

КТПП и КТПСН выполняются в климатическом исполнении У категории размещения 3. В КТПП и КТПСН применяются двухобмоточные трехфазные трансформаторы сухого или масляного исполнения.

КТПП и КТПСН состоят из вводного устройства высокого напряжения, силовых трансформаторов и распределительного устройства низкого напряжения.

РУНН комплектуется шкафами двухстороннего обслуживания: ввода (ШВНН), секционирования (ШСНН), линейными (ШЛНН), соединительными (ШС), кабельными (ШК). Подключение трансформатора к выводу РУНН и ошиновка РУНН выполняются медными шинами. В схемах КТПП с вводом от ДЭС дополнительно устанавливается шкаф ввода от ДЭС. КТПП могут поставаться в модульных блок-контейнерных зданиях для объектов нефтегазодобывающего комплекса.

КТПП предназначены для электроснабжения электроприемников промышленных предприятий. В качестве коммутационных аппаратов применяются автоматические выключатели серий ВА, «Электрон» (г. Ульяновск и Дивногорск), «Masterpact», «Compact» производства фирмы «Schneider Electric», «SACE Isomax», «SACE Emax» производства фирмы «ABB», а также выключатели фирм «Siemens», «OЕZ» и других производителей.

Схема предусматривает защиту от однофазных замыканий, перегрузки. При работе двухтрансформаторной подстанции предусмотрена автоматика включения резерва, которая выполняется на базе электромеханических реле или на микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики. В случае необходимости возможно дополнение схемы с выводом на телемеханику. Имеется возможность учета и измерения электроэнергии на базе индукционных и электронных счетчиков.

Таблица 10.30. Технические характеристики КТПП и КТПСН

Параметр	Значение					
Мощность, кВ·А	250	400	630	1000	1600	2500
Номинальное напряжение, кВ: на стороне ВН на стороне НН	6; 10 0,4			6; 10 0,4		
Наибольшее рабочее напряжение на стороне ВН, кВ	7,2; 12			7,2; 12		
Ток термической стойкости, кА: на стороне ВН (в течение 1 с) на стороне НН	20 10	20 10	20 25	31,5 25	31,5 30	31,5 40
Ток электродинамической стойкости: на стороне ВН на стороне НН	51 25	51 25	51 50	51 50	51 70	51 100
Ток сборных шин, кА	0,4	0,58	0,91	1,45	2,31	3,61
Масса РУНН из пяти шкафов, кг, не более	2000	2000	2000	2000	4000	6000

КТПСН предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц и изготовлены для потребителей собственных нужд атомных, тепловых и гидроэлектростанций, а также других электроприемников. В шкафах РУНН размещены силовые и релейные ячейки.

Сочетание силовых и релейных блоков зависит от заказа. Схемы вспомогательных цепей силовых и релейных блоков имеют множество типоразмеров и позволяют выполнить управление и защиту каждого электроприемника в отдельности или обеспечить общесекционное управление подстанцией.

Комплектные распределительные устройства внутренней установки напряжением 6(10) кВ из шкафов серии К-02-3 МК предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной или заземленной нейтралью (табл. 10.31, 10.32).

КРУ в части воздействия климатических факторов внешней среды относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях: высота над уровнем моря — до 1000 м; верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха — не выше 40 °С; нижнее значение температуры окружающего воздуха — -25 °С.

Таблица 10.31. Технические характеристики КРУ из шкафов серии К-02-3 МК

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное) при частоте 50 Гц, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей шкафов КРУ при частоте 50 Гц, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток сборных шин при частоте 50 Гц, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, при частоте 50 Гц, кА	12,5; 20; 25; 31,5; 40
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	12,5; 20; 25; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической, кА	32; 51; 64; 81; 128
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного тока	220
постоянного тока	110; 220
Габариты, мм:	
ширина	650; 750; 800; 1000
глубина	1400; 1600
высота	2170
Масса, кг	300—750

Таблица 10.32. Классификация исполнений КРУ из шкафов серии К-02-3

Показатель классификации	Исполнение
Вид изоляции	Воздушная; комбинированная
Наличие изоляции токоведущих частей	С изолированными шинами; с неизолированными шинами
Наличие выкатных элементов	С выкатными; без выкатных
Вид линейных высоковольтных присоединений	Кабельные; шинные
Условия обслуживания	Одностороннее; двухстороннее
Степень защиты:	
при закрытых дверях	IP20
при открытых дверях релейного отсека и отсека ввода (вывода)	IP00
Вид основных шкафов в зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений	С силовыми выключателями; с разъёмными контактными соединениями; с разрядниками; с трансформаторами напряжения; с силовыми предохранителями; с кабельными сборками; со статическими конденсаторами; со вспомогательным оборудованием комбинированные и аппаратурой;
Вид управления	Местное; дистанционное

Закрытые распределительные устройства 35 кВ (ЗРУ 35 кВ) состоят из отдельных блок-контейнеров с установленным в них электрооборудованием.

В ЗРУ 35 кВ предусмотрены отопление, освещение напряжением 220 В (50 Гц), переносное освещение 36 В (50 Гц), система противопожарной сигнализации, охранная сигнализация, система кондиционирования и вентиляции, коридор обслуживания с двумя входами и наружные ремонтные двери.

В качестве комплектного распределительного устройства в ЗРУ 35 кВ использовано КРУ серии ВМ-4-35 (табл. 10.33, 10.34) с вакуумными выключателями типа VD4-3612-25.

Таблица 10.33. Технические характеристики КРУ серии ВМ-4-35

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальный ток, А	1250; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателей, кА	25; 31,5
Ток термической стойкости, кА	31,5
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	81

Окончание табл. 10.33

Параметр	Значение
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	24; 48; 110; 220
переменного тока	24; 48; 110; 220
Габариты (В×Ш×Г), мм	2235×1200×2535
Масса шкафа с выключателем, кг, не более	1780

Классификация исполнений КРУ серии ВМ-4-35

Вид изоляции	Комбинированная
Наличие изоляции токоведущих частей	С изолированными шинами; с неизолированными шинами
Наличие выкатных элементов в шкафах	С выкатными элементами
Вид линейных высоковольтных присоединений	Кабельные, шинные
Условия обслуживания	Двухстороннее обслуживание
Степень защиты оболочки при закрытых дверях	IP20
Вид управления	Местное, дистанционное
Наибольшее сечение кабелей высокого напряжения, мм ² ...	6×240
Тип разъединителя	Штепсельный силовой

Все металлические части электрооборудования подстанции заземляются на металлическую конструкцию ЗРУ 35 кВ.

Таблица 10.34. Основные типоразмеры шкафов КРУ серии ВМ-4-35

Полное обозначение	Сокращенное обозначение
Шкаф выключателя вакуумного с пружинно-моторным приводом	ШВВП
Шкаф выключателя элегазового с пружинно-моторным приводом	ШВЭП
Шкаф трансформатора напряжения	ШТН
Шкаф силового трансформатора	ШСТ
Шкаф шинного разъединителя	ШШР
Шкаф шинного перехода	ШШП
Шкаф шинного ввода	ШШВ
Шкаф кабельной сборки	ШКС
Шкаф глухого ввода	ШГВ
Шкаф с трансформатором собственных нужд	ШСН

Для организации питания потребителей собственных нужд используется переменное напряжение 380/220 В. Учет электроэнергии может выполняться на индукционных, электронных счетчиках или multifunctional микропроцессорных счетчиках электрической энергии отечественного и зарубежного производства. Схемы вторичных цепей для шкафов вводных

выключателей, секционных выключателей, секционных разъединителей, трансформаторов напряжения, для кабельных и воздушных линий разработаны на микропроцессорных устройствах защиты, управления, автоматики, сигнализации (МПУ РЗ и А). Схемы выполняются на базе терминалов БМРЗ ОАО «Механотроника», REF «АББ Автоматизация», SEPAM «Schneider Electric», «Сириус» ЗАО «Радиус-автоматика» и др.

Комплектные распределительные устройства внутренней установки напряжением 6; 10 кВ из камер сборных одностороннего обслуживания серий КСО-398, КСО-399 предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной нейтралью (табл. 10.35).

КРУ в части воздействия климатических факторов внешней среды относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях:

- высота над уровнем моря — не более 1000 м;
- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха — не выше +40 °С;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха — -25 °С.

Таблица 10.35. Технические характеристики КРУ из камер серий КСО-398, КСО-399

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей камер КСО с выключателем нагрузки, А	400; 630
Номинальный ток предохранителей, А: при $U_{ном} = 6$ кВ при $U_{ном} = 10$ кВ	20; 31,5; 50; 80; 100 20; 31,5; 40; 63
Номинальный ток отключения выключателя нагрузки ($\cos \varphi > 0,7$), А	630
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА: камер с выключателями нагрузки камер с разъединителями	51 41
Ток термической стойкости (односекундный), кА: камер с выключателями нагрузки камер с разъединителями	20 16
Номинальное напряжение вспомогательных цепей переменного тока, В	100; 220
Габариты (Ш×Г×В), мм: КСО-398 КСО-399	1000×1000×2080 800×800×1900
Масса, кг, не более	500

Камеры КСО-398, КСО-399 комплектуются выключателями нагрузки ВНП-М1-10/630, ВНА 10/630-20, ВНР-10/400, разъединителями РВ 10 и РВЗ 10, приводами ПР-10, ПРБА-10, разрядниками РВО, ограничителями перенапряжения ОПН, трансформаторами тока ТЛК-10, ТОЛ-10, трансформаторами напряжения НАМИТ-10, ЗНОЛ.06-6(10), предохранителями для трансформаторов напряжения ПКТ 101-6(10), ПКТ 102-6(10), ПКТ 103-6(10) и другими аппаратами высокого напряжения в зависимости от схемы. В камерах КСО и шинных мостах выполнены механические блокировки.

Комплектные распределительные устройства внутренней установки напряжением 6; 10 кВ из камер сборных одностороннего обслуживания серий КСО-299, КСО-299.01 предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной или заземленной нейтралью (табл. 10.36).

В части воздействия климатических факторов внешней среды КРУ относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях:

- высота над уровнем моря — до 1000 м;
- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха — не выше +40 °С;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха — -1 °С (для камер без установки обогрева счетчиков) и -25 °С (для камер с установкой обогрева счетчиков).

Таблица 10.36. Технические характеристики КРУ из камер серий КСО-299, КСО-299.01

Параметр	КСО-299	КСО-299.01
Номинальное напряжение, кВ	6; 10	
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12	
Номинальный ток главных цепей (кроме камер с выключателями нагрузки), А	400; 630; 1000; 1600	400; 630; 1000
Номинальный ток главных цепей камер с выключателями нагрузки, А: при частоте 50 Гц при частоте 60 Гц	400 320	
Номинальный ток трансформатора тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1600	630; 1000
Номинальный ток шинных мостов, А	630; 1000	

Окончание табл. 10.36

Параметр	КСО-299	КСО-299.01
Номинальный ток отключения высоковольтного выключателя при частоте 50 Гц, кА	12,5; 20; 31,5	
Номинальный ток отключения выключателей нагрузки, А:		
при частоте 50 Гц	400	
при частоте 60 Гц	320	
Ток электродинамической стойкости, кА	51	
Ток термической стойкости, кА	20	
Время протекания тока термической стойкости, с:		
для камер на 400 и 630 А (кроме камер с выключателями нагрузки);	2	
для камер на 1000 и 1600 А;	3	
для камер с выключателями нагрузки	1	
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	220	
защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока		
трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учета, АВР)	100	
освещения внутри камер КСО	12; 36; 42	
освещения снаружи камер КСО	220	
трансформаторов собственных нужд	220; 380	
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 160	
Габариты, мм:		
высота со сборными шинами	2780	
высота каркаса	2300	
глубина с сетчатыми ограждениями	1340	
глубина каркаса	1100	
ширина с силовыми трансформаторами ТМ	1200	750
ширина	1000	750
Масса, кг, не более	500	500

Комплектные распределительные устройства внутренней установки напряжением 6(10) кВ серии К-02-4 предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ (табл. 10.37, 10.38).

В части воздействия климатических факторов внешней среды КРУ относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в следующих условиях:

- высота над уровнем моря — до 1000 м;
- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха — не выше +40 °С;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха — -25 °С.

Таблица 10.37. Технические характеристики КРУ из шкафов серии К-02-4

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное) при частоте 50 Гц, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей шкафов КРУ при частоте 50 Гц, А	400; 630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток сборных шин при частоте 50 Гц, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ при частоте 50 Гц, кА	20; 31,5; 40
Ток термической стойкости (трехсекундный), кА	20; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ, кА	51; 81
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного тока	220
постоянного тока	110; 220
Габариты, мм:	
ширина	750; 1000
глубина	1100; 1300
высота	2175
Масса, кг	300—750

Таблица 10.38. Классификация исполнений шкафов серии К-02-4

Показатель классификации	Исполнение
Вид изоляции	Воздушная, комбинированная
Наличие изоляции токоведущих частей	С изолированными шинами; с неизолированными шинами
Наличие выкатных элементов	С выкатными; без выкатных
Вид линейных высоковольтных присоединений	Кабельные; шинные
Условия обслуживания	Двухстороннее
Степень защиты	Защищенное исполнение IP20 при закрытых дверях; IP00—при открытых дверях релейных отсеков и при контрольном положении выкатного элемента
Вид основных шкафов в зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений	С силовыми выключателями; с разъёмными контактными соединениями; с разрядниками; с трансформаторами напряжения; с силовыми предохранителями; с трансформатором собственных нужд; с кабельными сборками; с шинными выводами; со статистическими конденсаторами; со вспомогательным оборудованием и аппаратурой; комбинированные
Вид управления	Местное; дистанционное

Комплектные распределительные устройства внутренней установки напряжением 6(10) кВ серии К-02-3 предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ (табл. 10.39, 10.40).

В части воздействия климатических факторов внешней среды КРУ относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в условиях, аналогичных условиям КРУ серии К-02-4.

Таблица 10.39. Технические характеристики КРУ из шкафов серии К-02-3

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное) при частоте 50 Гц, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей шкафов КРУ при частоте 50 Гц, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток сборных шин при частоте 50 Гц, А	630; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, при частоте 50 Гц, кА	20; 31,5; 40
Ток термической стойкости, кА/3 с	20; 31,5; 40
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ, кА	51; 81
Номинальное напряжение вспомогательных цепей. В: переменного тока постоянного тока	220 110; 220
Габариты, мм: ширина глубина высота	750; 1000* 1300 2175
Масса, кг	300—750

* При токе главных цепей шкафа свыше 2000 А

Таблица 10.40. Классификация исполнений шкафов серии К-02-3

Показатель классификации	Исполнение
Вид изоляции	Воздушная, комбинированная
Наличие изоляции токоведущих частей	С изолированными шинами; с неизолированными шинами
Вид линейных высоковольтных присоединений	Кабельные; шинные
Условия обслуживания	Двухстороннее
Степень защиты: защищенное исполнение при закрытых дверях	IP20
при открытых дверях релейных отсеков и при контрольном положении выкатного элемента	IP00

Окончание табл. 10.40

Показатель классификации	Исполнение
Вид основных шкафов в зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений	С силовыми выключателями; с разъёмными контактными соединениями; с разрядниками; с трансформаторами напряжения; с силовыми предохранителями; с трансформатором собственных нужд; с кабельными сборками; с шинными выводами; со статистическими конденсаторами; со вспомогательным оборудованием и аппаратурой; комбинированные
Вид управления	Местное; дистанционное

Комплектные распределительные устройства наружной установки для автоматического секционирования воздушных линий типа КРУН-АСВЛ на напряжение 6(10) кВ предназначены для автоматического секционирования воздушных линий напряжением 6(10) кВ с односторонним и двухсторонним питанием (табл. 10.41) и обеспечивают следующие функции:

- автоматического повторного включения (АПВ);
- автоматического ввода резерва (АВР);
- автоматического восстановления нормального режима (АВНР);
- местного резервирования (ПМР);
- деления участков ЛЭП (ПДА);
- подключения высоковольтных электродвигателей (ВЭД);
- подключения комплектных трансформаторных подстанций (КТПН).

Ячейки КРУН-АСВЛ имеют следующие особенности:

- выпускаются в утепленных и неутепленных модулях, с коридором и без коридора обслуживания, с воздушным и кабельным вводом-выводом;
- применены вакуумные выключатели ВВ/TEL, не требующие ремонтных работ (по сравнению с масляными выключателями) в течение срока эксплуатации;
- применен трансформатор тока нулевой последовательности, позволяющий совместно с группой трансформаторов напряжения 3 ЗНОЛ организовать направленную защиту и контроль направления мощности;
- обеспечивается возможность учета электроэнергии и включения систем телемеханизации (телеуправление, телесигнализация).

Таблица 10.41. Технические характеристики КРУН-АСВЛ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	200; 315
Ток термической стойкости главных цепей, кА/1 с	8; 12,5

Окончание табл. 10.41

Параметр	Значение
Ток электродинамической стойкости, кА	20; 32
Номинальное напряжение питания вспомогательных цепей (переменное), В	220
Масса, не более, кг:	
КРУН-АСВЛ в неутепленном модуле	2700
КРУН-АСВЛ-ПМР в утепленном модуле	4800

Дополнительные данные по КРУН-АСВЛ

Вид изоляции Воздушная; комбинированная
Ввод—вывод Воздушный; кабельный
Наличие изоляции токоведущих шин главных цепей С неизолированными шинами
Вид линейных высоковольтных присоединений Кабельные; воздушные линии
Условия обслуживания главных цепей Одностороннее
Условия обслуживания вспомогательных цепей Одностороннее; двухстороннее
Степень защиты IP43
Вид управления Местное; дистанционное

Комплектные распределительные устройства из камер сборных одностороннего обслуживания серий КСО-299А, КСО-299М предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной или заземленной нейтралью (табл. 10.42, 10.43).

В части воздействия климатических факторов внешней среды КРУ относятся к климатическому исполнению У категории размещения 3 и эксплуатируются в условиях, аналогичных К-02-4.

Таблица 10.42. Технические характеристики КРУ из камер серий КСО-299А, КСО-299М

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630; 800; 1000; 1600
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, А	6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750; 800; 1000; 1500
Номинальный ток сборных шин, А	630; 800; 1000; 1600
Номинальный ток шинных мостов, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток отключения выключателей, кА	12,5; 20
Номинальный ток отключения предохранителей, кА (6,3—160 А)	63

Окончание табл. 10.42

Параметр	Значение
Ток электродинамической стойкости, кА	31,5; 40; 51; 62,5
Ток термической стойкости, кА:	
1 с	12,5; 16; 20
2 с	12,5; 16; 20
3 с	12,5; 16
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	100; 220
освещения	36
Тип защиты и автоматики	Микропроцессорная, на электро-механических реле
Степень защиты	IP31
Габариты (Ш×Г×В), мм:	
КСО-299А	750(1000)×1100×2500
КСО-299М	750(1000)×1100×2200
Масса, кг, не более	500

Таблица 10.43. Классификация исполнения камер серий КСО-299А, КСО-299М

Признак классификации	Исполнение
Вид камер в зависимости от установленной в них аппаратуры	С высоковольтными выключателями ВВ/ТЕL; ВБЭ-10; Эволис; с измерительными трансформаторами напряжения НАМИТ и НОЛ; с вакуумным контактором типа КВТ-10; с заземляющими разъединителями и конденсаторами; кс трансформаторами собственных нужд ТС КС-40; с разъединителями; с аппаратурой собственных нужд
Конструкция высоковольтных вводов (выводов)	с кабельным присоединением; с шинным присоединением

Закрытые распределительные устройства на напряжение 6, 10 кВ из камер серии КСО-299М в мобильном блок-контейнерном здании ЗРУ 6, 10 кВ состоят из двух утепленных блок-контейнеров (БК), на основания которых устанавливаются соединенные между собой камеры серии КСО-299М одностороннего обслуживания со стационарными вакуумными силовыми выключателями, вакуумными контакторами, автогазовыми выключателями нагрузки, воздушными разъединителями, трансформаторами тока и напряжения, трансформаторами собственных нужд (табл. 10.44).

Таблица 10.44. Технические характеристики ЗРУ 6, 10 кВ из камер серии КСО-299М

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей сборных шин	400; 630; 800; 1000; 1600 630; 800; 1000; 1600
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, А	6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750; 800; 1000; 1500
Номинальный ток отключения выключателей, кА	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	31,5; 40; 51; 62,5
Ток термической стойкости, кА:	
1 с	12,5; 16; 20
2 с	12,5; 16; 20
3 с	12,5; 16
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	100; 220
освещения	36
Степень защиты	IP23, 34
Масса ЗРУ 6, 10 кВ, кг, не более:	
из трех блок-контейнеров	31 000
из двух блок-контейнеров	21 000
Масса одного блок-контейнера	12 500

10.2.6. Комплектные трансформаторные 35/6(10) и распределительные подстанции, камеры сборные, пункты секционирования воздушных линий серий КРУ-АТ, КРН-АТ, КСО 298АТ-М, КСО-393АТ-В (ПКФ «Автоматика»)

Комплектные трансформаторные подстанции 35/6(10) кВ предназначены для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 35 кВ, преобразования ее в напряжение 6(10) кВ и распределения по потребителям.

Состав: УВН — открытое распределительное устройство 35 кВ; силовой трансформатор 35/6(10) кВ; комплектное распределительное устройство низкого напряжения (РУНН) 6, 10 кВ; оперативный пункт управления в блок-модуле типа «сэндвич» с аппаратурой РЗиА (по заказу).

Типовые схемы ОРУ 35 кВ:

- блок (линия — трансформатор) с выключателем;
- два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии;
- мостик с выключателями в цепях трансформатора.

Распределительное устройство низкого напряжения может быть реализовано на следующем оборудовании:

- шкафы КРУН серии К-59АТ на токи до 2500 А;
- ячейки серии КРН-АТ на ток до 1000 А;
- распределительные устройства в блок-модулях типа «сэндвич» с установленными в них шкафами КРУ двухстороннего обслуживания серии К-104АТ или КРУ одностороннего обслуживания КРУ-АТ(М).

При выполнении ОРУ 35 кВ применяют комплектующие различных производителей.

Комплектные распределительные устройства напряжением 6(10) кВ серии КРУ-АТ/М предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока при номинальном напряжении 6(10) кВ частотой 50 и 60 Гц, для систем с изолированной нейтралью (табл. 10.45).

Существует два варианта типоразмера корпуса:

- исполнение 1: ширина шкафа КРУ — 650 мм; в данном исполнении устанавливаются вакуумные выключатели ВВ/TEL (с межфазным расстоянием 150 мм) и «Evolis» (с межфазным расстоянием 145 мм) номинальным током до 1000 А;

- исполнение 2: ширина шкафа КРУ — 750 мм; в данном исполнении устанавливаются вакуумные выключатели ВВ/TEL, «Evolis», ВВП, ВБСК и др. (с межфазным расстоянием 200 мм) с номинальным током до 1600 А. В шкафах устанавливают аппараты высокого напряжения, а также приборы защиты, управления, измерения и сигнализации.

Шкафы КРУ предназначены для одностороннего обслуживания при однорядном или двурядном расположении в помещении подстанции или распределительного устройства.

Таблица 10.45. Технические характеристики КРУ серии КРУ-АТ/М

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12,5
Номинальный ток, А: главных цепей сборных шин	630; 1000; 1600* 1600
Номинальный ток отключения выключателя, кА	20; 25; 31,5*
Ток термической стойкости (кратковременный ток), кА	20; 25; 31,5*
Время протекания тока термической стойкости, с: для главных цепей для заземляющих ножей	3 1
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей (амплитуда), кА	51; 63*; 80*
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: переменного тока постоянного тока	220 110; 220

* Только для конструктивного исполнения 2.

В КРУ-АТ/М предусмотрены различные блокировки. Габариты КРУ-АТ/М, мм:

- при исполнении 1 — 1100×650×2100;
- при исполнении 2 — 1100×750×2115.

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО 393АТ-В (с вакуумным выключателем ВБСК-1 производства «Электрокомплекс», г. Минусинск) на номинальное напряжение 6(10) кВ предназначены для комплектования распределительных устройств переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью являются дополнением к существующей серии КСО 393АТ-В (табл. 10.46).

Данная ячейка является новой модификацией КСО 393АТ-В. Использование нового выключателя не повлекло за собой изменений конструкции ячейки — сохранены все установочные и габаритные размеры (так же, как у камер серии КСО 393АТ).

Таблица 10.46. Технические характеристики камер серии КСО 393АТ-В

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А: главных цепей	630; 1 000
сборных шин	630; 1 000
Номинальный ток отключения камер, кА	12,5; 20
Ток термической стойкости, кА/3с	20
Предельный сквозной ток КЗ (наибольший пик), кА	51
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: постоянного оперативного тока	110; 220
переменного оперативного тока	100; 127; 220
цепи трансформаторов напряжения	100
цепи внутреннего освещения камер	12
цепи трансформатора собственных нужд	380
Габариты с выключателем ВБСК, мм	800×890×2130

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО 298АТ-М на номинальное напряжение 6(10) кВ предназначены для комплектования распределительных устройств переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью (табл. 40.47).

В части воздействия климатических факторов внешней среды камеры КСО относятся исполнения У и УХЛ категорий размещения 3 и 4:

- температура окружающего воздуха — от –25 до +40 °С;

- высота над уровнем моря — не более 1000 м;
- окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

Таблица 10.47. Технические характеристики камер серии КСО 298АТ-М

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000
Номинальный ток главных цепей камер с выключателями нагрузки, А	400; 630
Номинальный ток сборных шин, А, не более	2000
Номинальный ток отключения выключателя, кА	12,5; 20
Предельный сквозной ток камер с ВВ (амплитудное значение), кА	51
Ток термической стойкости камер с ВВ, кА/3 с	20
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
цепи защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока	220
цепи трансформаторов напряжения	~ 100
цепи освещения внутри/снаружи камер	~ 12/220
цепи трансформаторов собственных нужд	~ 380
Габариты, мм	750×1150×2350.

Комплектные распределительные устройства наружной установки КРН-АТ с вакуумным выключателем для комплектования подстанций, не требующие большого объема капитального строительства, предназначены для приема (шкафы ввода) и распределения (шкафы воздушной и кабельной линий) электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 10 или 6 кВ для систем с изолированной нейтралью (табл. 10.48).

Применяемые типы вакуумных выключателей: ВВ/TEL («Таврида Электрик»); ВБ, ВБЭ, ВБЭМ (ФГУП «Контакт», г. Саратов); «Эволис» («Schneider Electric»); ВВЭ-М (г. Минусинск) и др.

Применяемые типы защит: Мисом, БРЗМ, «Серам», «Орион», «Сириус», Срас и др.

Таблица 10.48. Технические характеристики шкафов КРУ серии КРН-АТ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А:	
главных цепей	630; 1000
сборных шин	1000
Степень защиты	IP54

Окончание табл. 10.48

Параметр	Значение
Номинальный ток отключения выключателя, кА	12,5; 20
Ток термической стойкости (3 с — для главных цепей, 1 с — для заземляющих ножей), кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	32; 51
Номинальная мощность встраиваемых трансформаторов СН, кВ·А	0,63; 1,25
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	220
Максимальное количество высоковольтных кабелей ввода	4
Наибольшее сечение кабелей высокого напряжения, мм ²	3×240
Габариты (В×Ш×Г), мм	2680×1000×1530

Дополнительные данные по шкафам КРУ серии КРН-АТ

Вид изоляции	Воздушная с неизолированными шинами
Вид линейных высоковольтных подсоединений	Кабельные, шинные, воздушные
Условия обслуживания	Двухстороннее

В части воздействия климатических факторов внешней среды КРУ эксплуатируются в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха — от –45 до +40 °С;
- высота над уровнем моря — не более 1000 м; относительная влажность воздуха — не более 80%;
- окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, а также агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию.

Гарантийный срок эксплуатации — два года со дня ввода в эксплуатацию и не более двух лет и шести месяцев со дня отгрузки предприятием-изготовителем.

Комплектные распределительные устройства 10(6) кВ серии КРУ-АТ применяются в сетях с изолированной нейтралью; размещаются внутри помещения; предназначены для однорядного или двухрядного размещения шкафов в помещении распределительного устройства (табл. 10.49, 10.50).

Таблица 10.49. Технические характеристики КРУ серии КРУ-АТ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630—3150

Окончание табл. 10.49

Параметр	Значение
Номинальный ток сборных шин, А	630—3150
Номинальный ток отключения выключателя, кА	12,5; 20; 25; 31,5; 40
Ток термической стойкости (кратковременный), кА	12,5; 20; 25; 31,5; 40
Время протекания тока термической стойкости, с:	
для главных цепей	3
заземляющих ножей	1
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей (амплитуда), кА	32; 51; 63; 80; 100; 125; 128
Номинальное напряжение вспомогательных цепей:	
постоянного тока	110; 220
переменного тока	220
Габариты шкафов (Д×Г×В), мм:	
минимальные	750×1300×2020
максимальные	1000×1650×2150
Климатическое исполнение	УЗ

Таблица 10.50. Классификация исполнений КРУ серии КРУ-АТ

Показатель классификации	Исполнение
Вид шкафов	С высоковольтным выключателем; с трансформатором напряжения; с предохранителями; с силовыми трансформаторами; с разъединителями; комбинированные; со вспомогательной аппаратурой
Тип выдвижного элемента	Выкатного типа; кассетного типа
Условия обслуживания	Одностороннее; двухстороннее
Расположение шин	Верхнее; нижнее
Вид изоляции	Воздушная, с неизолированными токоведущими шинами главных цепей
Вид линейных высоковольтных подсоединений	Кабельные; шинные
Вид управления	Местное; дистанционное
Максимальное количество высоковольтных подсоединений	4
Наибольшее сечение кабелей высокого напряжения, мм ²	3×240
Наличие блокировки	Оперативная

Условия работы:

- высота над уровнем моря — не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха: без установки подогревателей в релейном шкафу — от –5 до +40 °С; с установкой подогревателей в релейном шкафу — от –25 до +40 °С.

10.2.7. Камеры сборные КСО-366, КСО-298 (160 Электромеханический завод)

Камеры сборные серии КСО-366 предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением 6 и 10 кВ переменного трехфазного тока частотой 50 Гц с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью (табл. 10.51).

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха — от -25 до $+40$ °С; окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов или паров, разрушающих металлы и изоляцию.

Таблица 10.51. Технические характеристики камер КСО-366

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А	
главных цепей	200; 400; 630
сборных шин и шинных мостов	400; 630
выключателей нагрузки	400; 630
трансформаторов тока	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	2; 3; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 160
Ток электродинамической стойкости, кА:	
камер с выключателями нагрузки	51
камер с разъединителями	41
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, с	1
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
цепей защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока	220
цепей трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учета, АВР)	100
цепей освещения	36
Степень защиты:	
с лицевой стороны	IP21
с остальных сторон	IP00
Габариты (Д×Г×В), мм	1 000 (500)×1 000×2 080
Масса, кг, не более	300

Основная встраиваемая аппаратура первичных цепей: выключатели нагрузки ВНР-10, ВНРп-10 с приводами ПР-17; разъединители РВ-10, РВЗ-10 с приводом ПР-10; предохранители ПКТ, ПКН; трансформаторы напряжения НТМИ-10; НАМИ-10 10000/100 В.

Камеры сборные одностороннего обслуживания сери КСО-298 предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением

6 и 10 кВ, переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью.

Камеры КСО допускается применять для работы в следующих условиях: в части воздействия климатических факторов внешней среды исполнения У и УХЛ категории 3 и 4. При этом значение температуры окружающего воздуха — от -25 до $+40$ °С. Различные типоразмеры камер отличаются друг от друга конструкцией, назначением и применяемой комплектующей аппаратурой.

Таблица 10.52. Технические характеристики камер серии КСО-298

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А главных цепей трансформаторов тока	400; 630; 1000 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000
сборных шин	630; 1 000
Номинальный ток отключения камер с высоковольтным выключателем, кА	20
Предельный сквозной ток камер с высоковольтным выключателем, кА	51
Ток термической стойкости камер с высоковольтным выключателем, кА/3 с	20
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного оперативного тока	220
постоянного оперативного тока	220
цепи трансформаторов напряжения	100
цепи освещения внутри камер	36
цепи трансформаторов собственных нужд	380
Ток плавкой вставки высоковольтного предохранителя, А	2; 3; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 160

10.2.8. Оборудование для распределительных и трансформаторных подстанций серий КСО-298 (-395, -298MSI, -2УМЗ, -395Н), КТПН (ОАО «Московское Электрооборудование и Лифты»)

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО-298 напряжением 6 и 10 кВ предназначены для распределительных устройств переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной нейтралью или заземленной через дугогасительный реактор и изготавливаются для нужд народного хозяйства (табл. 10.53).

Камеры допускается применять для работы в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха — от -25 до $+40$ °С;
- высота над уровнем моря — не более 1000 м;

• окружающая среда — невзрывоопасная не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих металлы и изоляцию.

Таблица 10.53. Технические характеристики камер серии КСО-298

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А	
главных цепей	630
сборных шин	630
Номинальный ток отключения камер, кА:	
с вакуумным выключателем	20
с элегазовым выключателем	20
Предельный сквозной ток камер с высоковольтным выключателем (амплитудное значение), кА	51
Ток термической стойкости камер с высоковольтным выключателем (кратковременный), кА	20
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного оперативного тока	220
постоянного оперативного тока	220
цепи трансформаторов напряжения	100
цепи освещения внутри камер	36
цепи трансформаторов собственных нужд	380

Камеры сборные серии КСО-395 «Малыш» в составе БКТПУ одностороннего обслуживания предназначены для комплектования распределительных устройств напряжения 6—10 кВ переменного тока 50 Гц с изолированной нейтралью (табл. 10.54). Камеры имеют одну из главных отличительных особенностей — уменьшенные габариты (540×800×1750 мм), за что они и получили свое название «Малыш». Сборные шины расположены внутри камеры, в результате чего обслуживание камеры становится более безопасным; высокую безопасность обслуживающего персонала обеспечивает также наличие дополнительных блокировок.

Таблица 10.54. Технические характеристики камер

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	7,2; 12
Номинальный ток, А, не более.....	630
Ток термической стойкости, кА/1 с	20
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В	220; 100; 42

Камеры серии КСО-395 укомплектованы выключателями нагрузки ВНР 10-400(630)

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО-298 MSI напряжением 6 и 10 кВ предназначены для распределительных устройств переменного трехфазного тока частотой 50 Гц, систем с изолированной нейтралью или заземленной через дугогасительный реактор и изготавливаются для нужд народного хозяйства (табл. 10.55). Камеры комплектуются вакуумными выключателями типа ЗАН5103 (ВВСТ-10-20) на выкатных тележках.

Камеры допускается применять для работы в условиях, аналогичных для камер серии КСО-298.

Камеры комплектуются микропроцессорными блоками релейной защиты и автоматики: УЗА, SIPROTEC, MICOM.

Таблица 10.55. Технические характеристики камер серии КСО-298 MSI

Параметр	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток, А	
главных цепей	800
сборных шин	800
Номинальный ток отключения камер, кА	20
Предельный сквозной ток камер с высоковольтным выключателем (амплитудное значение), кА	51
Ток термической стойкости камер с высоковольтным выключателем (кратковременный), кА	20
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
переменного оперативного тока	220
цепи освещения внутри камер	~ 12

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО-2УМЗ предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением 6 или 10 кВ, переменного трехфазного тока частотой 50 Гц с изолированной нейтралью.

Камеры комплектуются масляными выключателями типа ВПМП-10 с приводом ППО-10, разъединителями типа РВЗ и РВФЗ и другой высоковольтной аппаратурой, а также защитными и измерительными приборами.

Рассчитаны на эксплуатацию в условиях умеренного климата и устанавливаются в электроцитаемых помещениях с температурой от -20 до +35 °С.

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО-395Н напряжением 6 и 10 кВ предназначены для распределительных устройств переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной нейтралью и изготавливаются для нужд департамента строительства и для поставки на экспорт (табл. 10.56).

Таблица 10.56. Технические характеристики камер КСО-395Н

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А: при 6 кВ при 10 кВ	400; 630 31,5; 50; 80; 100; 125 31,5; 40; 63; 80
Номинальный ток сборных шин, А	630
Габариты, мм	650×800×1 750
Масса, кг	218

Камеры серии КСО-395Н комплектуются выключателями нагрузки ВМПР 10/630.

Комплектные трансформаторные подстанции наружного обслуживания (КТПН) 63—1000 кВ·А (тупикового — проходного исполнения) представляют ряд стандартных схем с полной комплектацией оборудованием завода по высокой и низкой сторонам (за исключением силового трансформатора) (табл. 10.57). На высокой стороне КТПН комплектуются специально разработанной камерой КСО-395 «М». На низкой стороне КТПН комплектуются в зависимости от исполнения схемы следующим оборудованием:

ШНН-М-10;

ШУР-10 — шкаф учетно-распределительный на 10 групп с вводным разъединителем на 1200—1800 А и отдельно стыкованным модулем учета и модулем собственных нужд;

РУНН 8(10) — распределительное устройство низкого напряжения с 8—10 отходящими автоматами и разъединителями на 1200—1800 А;

АВР 1600—2500 А на базе выключателей «Masterpact» NW, NT.

Таблица 10.57. Технические характеристики КТПН

Параметр	Значение
Мощность силового трансформатора, кВ·А	250—1 000
Номинальное напряжение, кВ на стороне ВН на стороне НН	6; 10 0,4
Ток термической стойкости на стороне ВН, кА/1 с	20
Ток электродинамической стойкости, кА на стороне ВН на стороне НН	51 30

10.2.9. КРУ, КСО, шкафы и выкатные элементы (ОАО Мосэлектротрацит»)

Таблица 10.58. Краткие технические характеристики КРУ, КСО, выкатных элементов и шкафов

Тип изделия	Назначение	$I_{\text{ном}}$ главных цепей, А	$I_{\text{откл. ном}}$ выключателя, кА	Ток электродинамической стойкости, кА	Габариты (Ш×Г×В)
Комплектные распределительные устройства (КРУ) 6(10) кВ*					
Двухстороннего обслуживания					
Серии К-104М	Прием и распределение электроэнергии в РУ 6(10) кВ на объектах электроснабжения	400	16	10	750×1 320×2 230 (с элегазовым выключателем — 750×1 435×2 230)
		630	20	50	
		1 000	31,5	80	
		1 250	40	128	
		1 600	50		
Серии К-105	Обеспечение вводов и секционирования в РУ с К-104М	2 000	25	80	1 12×1 450×2 340 (с элегазовым выключателем 1 000×1 410×2 340)
		3 150	31,5	128	
			40		
			50		
Одностороннего обслуживания					
Серии К-XXVI	Прием и распределение электроэнергии в РУ 6(10) кВ на объектах электроснабжения	630	20	50	900×1 579×2 380
		1 000	31,5	80	
		1 600			
Серии К-XXVII	Обеспечение вводов и секционирования в РУ	2 000	20	50	1 350×1 650×2 817
		3 150	31,5	80	
Комплектное устройство наружной установки серии К-112	Секционирование воздушных линий, автоматического ввода резерва, местного резервирования и плавки гололеда	400	4	10	Шкаф высоковольтной аппаратуры — 800×1 090×1 200 Шкаф управления: 310×620×1 000
		630 800	6	16	
			12,5	32	
Камера сборная одностороннего обслуживания					
КСО-2001-МЭЩ	Прием и распределение электроэнергии в РУ 6(10) кВ на объектах электроснабжения	630	12,5	32	750×1 340×2 650
		1 000	20	52	
Выкатные элементы с элегазовыми, вакуумными или маломасляными выключателями					
ВЭТ-10(6)	Модернизация КРУ, находящихся в эксплуатации:				—
	К-Х; К-XXI; К-XXV	630	—	—	
	К-ХII; К-XXVI	800	—	—	
	К-ШУ: К-VIУ	1 000	20	50	
	К-104; К-105	1 250	31,5	80	
ВЭТ-10 (6)	КРУ 2-10	1 600	40	128	
	других серий	2 000	—	—	

Окончание табл. 10.58

Тип изделия	Назначение	$I_{\text{ном}}$ главных цепей, А	$I_{\text{откл.ном}}$ выключателя, кА	Ток электродинамической стойкости, кА	Габариты (Ш×Г×В)
<i>КРУ 6—10 кВ для газотурбинных электростанций</i>					
К-104М-ГТЭС	Для ГТЭ мощностью 2,5 и 4 МВт	630	20	50	—
К-104М-БГТЭС	Для БГТЭ мощностью 9,5 МВт	630 1 000	31,5	80	

* КРУ комплектуются релейными шкафами с микропроцессорными (СПАС, БМРЗ) или электромеханическими устройствами РЗиА. Возможна установка масляных, вакуумных или элегазовых выключателей любых отечественных и зарубежных производителей

Измерительные трансформаторы тока и напряжения

11.1. Общие технические сведения по измерительным трансформаторам тока

Измерительные трансформаторы применяют в установках переменного тока для питания обмоток измерительных приборов, реле защиты и автоматики, приборов контроля, сигнализации и др.

Измерительные трансформаторы разделяют на трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН).

Трансформаторы тока бывают: катушечные (типы ТКЛ, ТК); проходные многовитковые (типы ТПФМ, ТПФМУ); проходные одновитковые (тип ТПОЛ); проходные шинные (тип ТПШФ) и др.

Некоторые типы трансформаторов тока выполняют с двумя сердечниками. Трансформаторы тока изготавливают следующих классов точности: 0,5; 1; 3; 10. Универсальные по использованию трансформаторы тока имеют номинальный вторичный ток 5 А. В некоторых трансформаторах тока сердечники, предназначенные для релейной защиты — дифференциальной и земляной, обозначаются соответственно буквами Р, Д или З.

Трансформаторы тока выбирают по номинальному напряжению установки, где они должны быть включены, по номинальному току, номинальной мощности вторичной обмотки, коэффициенту трансформации и классу точности. Для того чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, необходимо его нагрузить приборами и проводкой во вторичной цепи на соответствующую классу точности мощность. Выбранный трансформатор тока проверяют на режим короткого замыкания (табл. 11.1—11.5).

Таблица 11.1. Трансформаторы тока для внутренней установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{динр}$, кА	кратность/допустимое время, ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТВЛМ-6-1	6	0; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400	5	—	—	1	15	—	—	—	3,5; 7; 10,6; 17,6; 26,6; 35,2; 52	0,64; 1,32; 1,96; 3,6; 4,9; 6,9; 9,7; 13,8; 17,5; 20,5	5,3
ТВЛМ-10*	10	20; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	5	—	0,5/P; P/P	—	15; 10	—	—	—	7; 10,6; 17,6; 35,2; 52	0,94/4; 1,45/4; 2,45/4; 4,85/4; 6,25/4; 8,75/4; 12,5/4; 15/4	20; 20,5
ТОЛК-6,05	6	20; 30; 40; 50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500	5	—	—	1	30	—	—	—	7; 10,5; 14; 17,6; 25	0,66/4; 0,98/4; 1,4/4; 1,8/4	11
ТЛМ-6УТЗ	6	300; 400;	5	1/P	1	10/15	—	—	—	125	—	25/4	27
		600; 800;				10/15	—	—	—				
		1000; 1500				10/15	—	—	—				

ТТЛК-10	10	10; 15; 30; 50	5	0,5/10P; 10P/10P	0,5	10	—	—	—	—	0,45/4; 0,675/4; 1,35/4	—
		100—400			10P	15	—	—	—			
		600; 800										
		1500										
ТТЛМ-10-1 ТТЛМ-10-2	10	50	5	0,5/10P; 10P/10P	0,5	10P	—	—	—	—	2,8(3)	—
		100			0,5-10P	10	—	—	—			
		150			0,5-10P	15	—	—	—			
		200				—	—	—	—			
		300; 400										
ТЛ-10У3; ТЛ-10Г3	10	600; 800	5	0,5/10P; 10P/10P						—	10,1(3)	—
		1000;										
		1500										
ТЛ-10У3; ТЛ-10Г3	10	50	5	0,5/Р	0,5	10	15	—	—	—	2,5/4	—
		100			Р	2	—	—	—			
		150			0,5	—	30	—	—			
		200			Р							
		300										
ТЛ-10У3; ТЛ-10Г3	10	400	5	0,5/Р						—	10/4	—
		600; 800;										
		1000										
		1500										
ТЛ-10У3; ТЛ-10Г3	10	2000	5	0,5/Р	Р	—	30	15	—	—	31,5/4	—
		3000			Р/Р	14	—	15	15			
					0,5/0,5	—						
					Р/Р							

Продолжение табл. 11.1

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{динр}$ кА	кратность/допустимое время, ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТПК-10	10	50	5	—	0,5 10P	10	—	—	—	25	—	8/1	20
		75; 100				10				52		20/1	16,5
		150; 200								52		31,5/1	—
		300; 400								81		31,5/3	
		600; 800											
		1000; 1500											
ТПОЛ-10УЗ	10	600; 800	5	10P 10P/10P 0,5/P	0,5 10P	10	—	—	81	—	32/3	—	18
		1000; 1500				0,6 15			81 69 45		27/3 15/3		
ТПОЛ-10ТЗ	10	600	5	10P; 10P/10P 0,5/P	0,5 10P	10	—	—	81	—	32/3	—	—
		800 1000 1500				0,6 15			69 45		32/3 27/3 18/3		
ТПОЛМ-10*	10	400; 600	5	0,5P; P/P	0,5 P	15	—	—	160	—	65/1	—	—
		800 1000; 1500				15			155		65/1		
ТПОЛМ-10Т*	10	400; 600	5	0,5P; P/P	0,5 P	15	—	—	160	—	65/1	—	—
		800 1000; 1500				15			155		65/1		
ТПОЛМ-10Т*	10	400; 600	5	0,5P; P/P	0,5 P	15	—	—	160	—	65/1	—	—
		800 1000; 1500				15			155		65/1		

ТТШЛ-10УЗ	10	4 000 5 000	5	10P; 0,5/10P	0,5 10P	—	—	—	35/3	—	—	43 —
ТТШЛ-10ТЗ	10	4 000; 5 000	5	10P; 0,5/10P; P/10P	0,5 10P	—	—	—	35/3	—	—	43 —
ТОЛ-10УЗ ТОЛ-10ТЗ	10	50 100 150 200 300; 400 600; 800	5	P/P	0,53	10	—	15	—	—	2,45/4 4,85/4 6,25/4 8,75/4 16/4 20/4	25
		1 000; 1 500							—	—	31,5/4	25
ТТШП-10УТЗ ТТШПК-10УТЗ	10; 11	1 000; 2 000	5	0,5/P; P/P	0,5P	20 30	—	—	—	—	—	—
ТТШЛ-10УЗ(ТЗ)	10	2 000; 3 000	5	P/P; P/P	0,5 P	20 —	—	81 —	—	31	26 —	—
ТТШ-20-УХЛЗ ТТШ-20-ТЗ	20	8 000; 10 000; 12 000	5	—	10P 0,2	30 —	—	—	160(3) —	—	45 49	—
ТТШ-24	24	2 000	5	—	10P 0,2	100	—	—	—	—	—	— 105
ТТШЛО-20	20	400		P	0,5; P	20			82		7500/4	3
ТТЮЛ-20	20	400 600 800 1 000; 15 000	5	1/10P; 10P/10P 0,5/10P 10P/10P	10P 0,5; 10P	— 20 30 50	15 —	—	—	—	16/3 24/3 32/3 40/3; 60/3	43
ТТЮЛ-20Т	20	400; 600 800	5	10P 0,5	P —	20	—	75 —	—	40/4 —	—	—

Окончание табл. 11.1

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{дин}$, кА	кратность/допустимое время, ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТШВ-24	24	24000 3000	5	0,5	10P 0,2	— 100	—	—	—	—	6/3	—	— 106
ТПОЛ-27	27	1500 2500	5	P/P	P	20 —	—	—	70 50	—	20/4	—	10595
ТПОЛ-35	35	400 600 800	5	10P/10P; 1/10P 10P/0,5 10P/10P 10P/0,5 10P/10P	1; 10P 0,5; 10P	15 20 30	—	—	—	100	—	16/3 24/3 32/3	55
ТПОЛ-35	35	1000 1500	5	10P/0,5 10P/10P 10P/0,5 10P/10P	0,5; 10P	50	—	—	—	100	—	40/3 52/3	55

* Сняты с производства.

Примечание. Обозначения типа трансформатора: Т — трансформатор тока в тропическом исполнении (если Т стоит после цифры); К — катушечный, для КРУ; П — проходной или для установки на плоских шинах; О — одновитковый (стержневой) или опорный (ТОП); Л — с литой изоляцией или лабораторный; В — втулочный или с воздушной изоляцией; У — усиленный или для районов с умеренным климатом (если У стоит после цифры); М — модернизированный или малогабаритный; ХЛ — для районов с холодным климатом; число после первого дефиса — номинальное напряжение, кВ; Ш — шинный цифра 1 в конце — первый вариант или для работы на открытом воздухе; 2 — второй вариант или для работы в помещениях со свободным доступом наружного воздуха; 3 — для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией.

Таблица 11.2. Трансформаторы тока для наружной установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{дин}$, кА	кратность/допустимое время, ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТКЛН-10	10	10—200	5	0,5/Р; Р/Р	0,5 Р	—	—	0,6	100	—	50/1	—	20
	33	100—400	5	Р/Р/0,5	0,5 Р	30/1,2	60/2,4	—	—	14; 21; 28; 42; 56; 84; 169	—	4/4; 6/4; 8/4; 12/4; 16/4; 24/4; 48/4	420
ТФН-35М (ТФ3М-35А-У1; ТФ3М-35А-ХЛП)	35	15—800	5	0,5/Р	0,5 Р	—/2	—/4	—	150	—	65/1	—	—
		100			Р	—/0,8			100				
ТФНД-35М (ТФ3М-35БНУ1)	35	15—600	5	0,5/Р/Р	0,5 Р	—/1,2	—/2,4	—	150	—	—	—	—
		800; 1000			Р		2,4		100		32/5 или 4		
ТФ3М-35А-ХЛП	35	15; 20; 30; 40	5	0,5/10Р	0,5; 10Р	50	—	—	—	—	—	—	200
		50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000				20							—

Продолжение табл. 11.2

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{динр}$ кА	кратность/допустимое время, ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТФЗМ-35М-У1	35	15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600	5	—	0,5; 10Р	50 20	100	—	—	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 84; 127	—	0,6/3; 0,7/3; 1,1/3; 1,5/3; 1,9/3; 2,3/3; 3,5/3; 5,8/3; 7/3; 11,6/3; 15/3; 22/3	240
ТФЗМ-35Б-У1	35	15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000	5	—	0,5; 10Р	30	60	—	—	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 84; 127; 107; 134; 106; 141	—	0,7/3; 1/3; 1,5/3; 2,1/3; 2,3/3; 3,5/3; 0,7/3; 1/3; 1,5/3; 2,1/3; 2,3/3; 3,5/3; 4,7/3; 7/3; 10,5/3; 15/3; 21/3; 31/3; 31/3; 37/3; 41/3	500

ТФ3М-35Б-ІІУ1	35	500	5	—	0,5; 10Р	30	—	—	—	125	—	55/3	500
		1000				145				49/3			
		2000				125				57/3			
		3000				145				49/3			
		1000	1			57/3							
ТФ3М-33А-І1	33	100; 150; 200; 300; 400; 600; 1200	5	—	0,5; 10Р	30	60	—	—	14; 21; 7; 28; 42; 56; 84; 169	—	4,6/3; 7/3; 9/3; 14/3; 18/3; 28/3; 56/3	420
		20				—							
		30				—							
		0,5				10Р							
		200—400 600—1200				5				—		—	
ТФНР-35 (ТФ3М-35Б-ІІУ1)	35	500; 1000 2000; 3200	5	0,5/Р/Р	0,5	—/1,2	—	—	—	125	49/4	49/4	—
		—/2				145				57/4			
		30/—				125				49/4			
		50/—				145				57/4			
		2000; 3200	1		Р	—				—		—	
ТФН-66СТ	66	200—400	5	Р/Р/0,5	0,5; Р	—/1,2	—	—	120	—	50/3	—	—
	66	200—400	5	Р/Р/0,5	0,5	—/1,2	—	—	—	24—48 48—96	9,4/4— 18,8/4	—	
ТФНД-110М (ТФ3М-110Б-ІУ1)	110	50—600	5	0,5/Р/Р	0,5	—/1,2	—	—	150	—	43,3/3	—	—
		400—800				Р				110	34,6/3	—	
ТФНД-110М-ХІ	110	50—600	5	0,5/Р/Р	0,5	—/1,2	—	—	150	—	43,3/3	—	—
		400—800				Р				110	34,6/3	—	
ТФНД-110М-ІІ	110	750—1500	5	0,5/Р/Р	0,5	—/0,8	—	—	75	—	60/1	—	—
		1000—2000				Р				—	—	—	—
ТФ3М-110Б-ІІУ1)	110	750—1500 1000—2000	1	0,5/Р/Р	0,5	20/—	—	—	75	—	60/1	—	—

ТФНУ-132СТ	132	200—400	1	0,5/Р/Р	0,5; Р	30/	—	—	—	49—90	—	11—22 17—34	1645
ТФНД-150-І	150	600—1200	5	0,5/Р/ Р/Р	0,5	—/1,6	—	—	—	62	24,6/3	—	—
(ТФЗМ-150-ІУ1)	150	600—1200	1 5	0,5/Р/ Р/Р	Р 0,5 Р	—/2 40/— 50/—	—	—	—	62	24,6/3	—	—
ТФНД-150-ІХІ	150	600—1200	1	0,5/Р/ Р/Р	0,5 Р 0,5 Р	1,6/— 2/— 40/— 50/—	—	—	—	62	24,6/3	—	—
ТФЗМ-150-ІУ1	150	600—1200	5 1	0,5 10Р 0,5 10Р	0,5 10Р 0,5 10Р	40/— 50/— 40/— 50/—	—	—	—	52—104	14—28(3с)	—	1060
ТФЗМ-150Б-ІУ1	150	1 000—1 200	5	0,5 10Р	0,5 10Р	30/— 50/—	—	—	—	113—226	41,6—83,2	—	1165
ТФНР-150/2000 (ТФЗМ-150Б-ІУ1)	150	1 000—1 200	5	0,5/Р/ Р/Р	0,5 Р ₁	1,2/— 1,4/—	—	—	75	—	—	—	—
ТФНР-150/2000 (ТФЗМ-150Б-У1)	150	1 000—1 200	1	0,5/Р/ Р/Р	Р ₂ ; Р ₃ 0,5 Р ₁ Р ₂ ; Р ₃	1,6/— 30/— 31/— 40/—	—	—	—	—	—	—	—
ТФНР-150Т	150	600—1 200	5 1	0,5/Р/ Р/Р	0,5 Р 0,5 Р	40/— 50/— 40/— 50/—	—	—	52; 104 — 52; 104	—	14/3 28/3 14/3 14/3	— — 1450 1450	— — — —

Продолжение табл. 11.2

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{дин}$, кА	
ТФНД-220-I-XЛ (ТФЗМ-220Б-III)	220	300—600—1 200	5	0,5/Р/ Р/Р	0,5	1,2	3	—	60	—	—
			5 1		$P_1 P_2; P_3$ 0,5 $P_1 P_2; P_3$ 30/— 30/— 50/—	1,2 2 30/— 30/— 50/—	3 4 75 75 100	—	—	—	—
ТФНД-220-I-XЛ	220	300—600—1 200	5	0,5/Р/ Р/Р	0,5 P_1 $P_2; P_3$	1,2 2	3 4	—	60 —	— 34,3/3	—
ТФНД-220-I-XЛ	220	300—600—1 200	1	0,5/Р/ Р/Р	0,5 P_1 $P_2; P_3$	30/— 50/—	75 100	—	—	— 34,3/3	—
ТФНУ-220ТС	220	300—600	5	0,5/Р/ Р/Р	0,5	1,2	—	—	90	—	—
		400—800			P_3	0,8	/30		60		
		600—1 200			P_1	30/—			90		
		750—1 500			P_2	30/—			60		
		300—600	1		0,5	20/—			90		
		400—800			P_3	—/30			60		
		600—1 200			P_1	—/20			90		
		750—1 500			P_2	—			60		

ТФНД-220-3Т	220	300—600 400—800 600—1200 750—1500	5	0,5/P ₁ / P ₂ /P ₃ 0,5/P/ P/P	0,5 P ₁ P ₂ P ₃ 0,5 P ₁ P ₂ P ₃	1,2/— 2/— 1,2/— —/30 —/50 —/30	—	—	—	27—54 24—48 54—108 45—90 27—54 24—48 54—108 45—90	—	10—20 9—18 20—40 17—34 10—20 9—18 20,4—40,8 17—34	3510
		300—600 400—800 600—1200 750—1500	1										
ТФНД-220-IV (ТФЗМ-220-IVУ1)	220	550— 1000— 2000	5 1	0,5/P/ P/P	0,5 P ₁ ; P ₂ P ₃ 0,5 P ₁ ; P ₂ P ₃	1,2/— 2/— 1,2/— 30/— 50/— 30/—	—	—	—	—	—	—	—
		1000—2000 300—600 300— 600— 12000	1 5 1	0,5 —	0,5 10P 0,5 10P 0,5; 10P	30/— 50/— —/30 50/50 /30 10/50 /30	—	—	—	113—226 — 25—50 —100 100	—	41,6— 83,2(3с) — 9,8—19,6— 39,2(3с)	1465 — — 2260 —
ТФЗМ-220Б-IVУ1	220	500— 1000— 2000	5 1	—	0,5 10P 0,5 10P	30/— 25/25 /20 30/— 25/25 /20	—	—	—	25—50— 100 100	—	9,8—19,6— 39,2	2380 — 2380
										25—50— 100			—
ТФКН- 330А(Б)	330	500— 1000— 2000	5 1	0,5/P/ P/P	0,5 P	50 50	50	—	70	—	36,8/2	36,8/2 —	2360
ТРН-330Б-IVУТ	330	1000—2000 1500—3000	1	P/P/P/ P/0,2	0,2 10P	15 40	—	—	—	160	—	63/1	3850

Таблица 11.3. Трансформаторы тока (кабельные) внутренней установки для защиты от замыкания на землю в сетях 6—10 кВ

Тип	Число охватываемых кабелей	Наружный диаметр кабелей, мм	Цепь подмагничивания		Вторичная цепь		ЭДС небаланса во второй вторичной цепи, мВ, не более	
			$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$S_{\text{потр}}, \text{ В}\cdot\text{А}$	$Z, \text{ Ом}$	$S_{\text{получ}} \text{ при } 1\text{А}, \text{ В}\cdot\text{А}$	от подмагничивания	от несимметричности при номинальной нагрузке
ТНП-2	1—2	50	110	20	10	0,00625	150	17
ТНП-4	3—4			45		0,00344		14
ТНП-7	5—7			50				
ТНП-12	8—12	60		70				

Таблица 11.4. Трансформаторы тока (шинные) внутренней установки для защиты от замыкания на землю в сетях 6—10 кВ

Тип	Длительно допустимый ток при температуре воздуха 40 °С	Десяти-секундный ток термической стойкости, кА	Наибольший ударный ток КЗ, кА	Потребляемая мощность цепи подмагничивания 110 В, В·А	ЭДС небаланса во второй вторичной цепи, мВ, не более	
					от подмагничивания	от несимметрии первичных токов
ТНП-Ш1	1 750	24	165	20	100	60
ТНП-Ш2	3 000	48		25		85
ТНП-Ш3	4 500	72		30		100
ТНП-ШЗУ	7 500	90	180	35		150

Таблица 11.5. Трансформаторы тока, встраиваемые в выключатели или силовые трансформаторы 10—220 кВ

Тип	Вариант исполнения	$I_{\text{ном}}$, А		Вторичная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности				Ток термической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность	
		I_1	I_2	0,5	1	3	10			
ТВ10-IV2	6000/5	6000	5	20	—	—	—	85,5	3	
		75		—			20	85,5	1	
		100		—			10	—		
	200/5	150		20		—	10	5		
		200					10	9		
ТВ35-IV2	300/5	100	5	—	—	20	10	—		
		150					20	—	10	5
		200					10	9		
		300			10	—	10	25		

Продолжение табл. 11.5

Тип	Вариант исполнения	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$		Вторичная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности				Ток термической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность			
		I_1	I_2	0,5	1	3	10					
ТВ35-IV2	600/5	200	5	—	—	20	10	—	9			
		300			10	—			25			
		400			20	16						
		600		10	—	16*						
	1500/5	600	5	10	—	—	—		16			
		750		30					13			
		1000		10	10							
		1500		6,5								
	150/5**	50	5	—	—	—	10		—			
		75					20					
		100					30					
		150				2						
	ТВ35-IV2-ХЛ2	300/5	100	5	—	—	—		—	10	—	
			150								—	2
			200								—	—
			300								—	7
600/5		200	—	—	—	40	2					
		300				30	7					
		400				40	3					
		600			30	—	14					
ТВ35-IIIУ2-ХЛ2		200/5**	75	5	—	—	—	20	25		—	
			100					20			—	5
	150		—							9		
	200		—				—					
ТВ35-IIIУ2-ХЛ2	300/5	100	5	5	—	—	20	25	—			
		150				20	—		5			
		200				—	9					
		300			10	—	16					
	600/5	200	5	—	—	20	—	25	9			
		300			10	—			16			
		400			20	12						
		600		10	—	30						
	1500/5	600	5	10	—	—	—	30				
		750		30				20				
		1000		22								
		1500		16*								

Продолжение табл. 11.5

Тип	Вариант исполнения	$I_{\text{ном}}, \text{ A}$		Вторичная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности				Ток термической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность
		I_1	I_2	0,5	1	3	10		
ТВ110-IV2-ХЛ2	200/5**	75	5	—	—	—	10	20	—
		100					20		—
		150					10***		—
		200				—			
	300/5	100	—	—	30	22			
		150			20	—			
		200			10***	—			
		300			15***	30	—		
	600/5	200	—	—	10***	—	22		
		300			15***		20		
		400			30***		15		
		600			50***		25		
	1000/5	400	—	—	10	—	15		
		600			20		25		
		750			30***		15		
		1000			75***		20*		
		30	50	—					
	200/5**	75	5	—	—	—	15	—	
		100					20	5	
		150					10	10	20***
200		20				20			
300/5***	100	—	—	—	20	5			
	150				10	10	20***	—	10
	200					15	30***	20	
	300								
ТВ110-IIУ2-ХЛ2	600/5	200	5	—	—	15	—	50	34
		300				15		—	50
		400				25		40	
		600				25		60	
	1000/5	500	10***	15	—	—	80		
		600					25	60	
		750					50	37	
		1000					50*		
	2000/5	1000	50	—	—	—	50*		
		1200					42		
		1500					33*		
		2000					25*		

Продолжение табл. 11.5

Тип	Вариант исполнения	$I_{\text{ном}}, \text{ A}$		Вторичная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности				Ток термической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность
		I_1	I_2	0,5	1	3	10		
ТВ110-ПУ2-ХЛ2	1000/1	500	1	25***	60	—	—	50	50
		600		30					
		750		50					
		1000							
	2000/1	1000		50	60	—	—		50*
		1200							42
		1500							33**
		2000							25*
ТВ220-ПУ2-ХЛ2	600/5	200	5	—	—	40	—	25	—
		300			20	—			20
		400			30				20
		600		10	20	50***			18
	1000/5	400		—	—	30	—		20
		600			20	50***			18
		750			15	30***			32
		1000		20	50***				25*
	2000/5	1000		—	—	50	—		13
		1200		20	50***	—	—		25*
		1500		30	—	—	—		16
		2000		50					12
	1000/1	400	1	—	—	40	—		15
		600		10	20	40***			22
		750		15	40***	—			25
		1000		30	—				25*
ТВ220-ПУ2-ХЛ2	2000/1	500	1	—	15	40***	—	25	19
		1000		30	—	—			25
		1500		40					16
		2000		50					13
ТВ220-ПУ2-ХЛ2	1200/5	600	5	—	15	—	—	40	50
		800		20	—				50
		1000		30					40*
		1200							33
	2000/5	1000		30	—	—	—		40*
		12000							33
		1500							27
		2000							20*

Окончание табл. 11.5

Тип	Вариант исполнения	$I_{\text{ном}}, \text{ A}$		Вторичная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности				Ток термической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность
		I_1	I_2	0,5	1	3	10		
В220-ПУ2-ХЛ2	3000/5	1 200	5	30	—	—	—	40	33
		1 500							27
		2 000							20*
		3 000							17
	1200/1	600	1	—	15	—	—		50
		800		20	—				—
		1 000		30	40*				
		1 200		33					
	2000/1	1 200		30	—	—	—		33
		1 500							27
		2 000							20*
	3000/1	1 200		30	—	—	—		33
		1 500	27						
		2 000	20*						
		3 000	13						

* Номинальная предельная кратность, ограниченная допустимым током термической стойкости.

** Термическая стойкость указана для случая, когда обмотка трансформатора замкнута на номинальную нагрузку. Для трансформаторов на номинальное напряжение 110 и 220 кВ указан трехсекундный ток термической стойкости, а для трансформаторов на номинальное напряжение 10 и 35 кВ — четырехсекундный.

*** Вторичная нагрузка, при которой гарантирована номинальная предельная кратность (в случае указания нескольких значений нагрузки для типоразмеров трансформатора).

11.2. Общие технические сведения по измерительным трансформаторам напряжения

Трансформаторы напряжения (табл. 11.6, 11.7) разделяют на три основные группы: сухие (серии НОС, НОСК, НТС); масляные (серии НОМ, НТМК, НТМИ); каскадные (серия НКФ). Трансформаторы напряжения изготавливают следующих классов точности: 0,2; 0,5; 1; 3. Универсальные по использованию трансформаторы напряжения имеют номинальное вторичное напряжение 100 В.

Трансформаторы напряжения выбирают по номинальному напряжению, номинальной мощности на фазу, классу точности, типу и схеме соединений.

Технические данные основных типов измерительных трансформаторов

в установках переменного тока напряжением до 10 кВ включительно приведены ниже.

Таблица 11.6. Технические данные трансформаторов напряжения

Тип трансформатора	Номинальное напряжение обмотки, В		Номинальная мощность, В·А, в классе точности			Максимальная мощность, В·А
	первичной	вторичной	0,5	1	3	
НОС-0,5	380	100	25	40	100	200
НОС-0,5	500	100	25	40	100	200
НОСК-3	3000	100	30	50	120	240
НОСК-6	6000	100	50	80	200	400
НОМ-6	3000	100	30	50	120	400
НОМ-6	6000	100	50	80	200	600
НОМ-10	10000	100	80	150	320	720
НТС-0,5	380	100	50	80	200	400
НТС-0,5	500	100	50	80	200	400
НТС-0,5	3000	100	50	80	200	400
НТМК-6-48	6000	100	80	150	320	640
НТМК-6-48	10000	100	120	200	480	960
НТМК-10	3000	100—100/3	50	80	200	400
НТМИ-6; НТМИ-6	6000	100—100/3	80	150	320	640
НТМИ-10	10000	100—100/3	120	200	480	960

Примечание. Обозначения трансформаторов напряжения: НОС — однофазный сухой; НТС — трехфазный сухой; НОМ — однофазный масляный; НТМК — трехфазный масляный с компенсирующей обмоткой; НТМИ — трехфазный трехобмоточный масляный пятистержневой; цифра, следующая после буквенного обозначения, — высшее номинальное напряжение, кВ.

Трансформаторы напряжения антирезонансные, масляные, измерительные, трехфазные типа НАМИТ-10-2 предназначены для измерения напряжения и контроля изоляции в сетях 6 и 10 кВ с любым режимом заземления нейтрали, в которых используется схема защиты от феррорезонанса. В России эти трансформаторы аналогов не имеют.

Технические данные трансформаторов напряжения серии НАМИТ

Номинальные напряжения, кВ:

первичной обмотки 6 или 10
 основных вторичных обмоток 0,1
 дополнительной при однофазном замыкании сети на землю ... 0,1

Номинальная мощность, В·А, вторичной основной обмотки в классе точности:

0,5 200
 1 300
 3 600

Трансформаторы напряжения серии ЗНИОЛ — измерительные однофазные с литой изоляцией с заземленным выводом первичной обмотки предназначены для установки в КРУ в сетях с изолированной нейтралью.

Таблица 11.7. Характеристики трансформаторов напряжения

Тип	Напря- жение, кВ	Номинальное напряжение обмотки, В				Номинальная мощ- ность В·А, в классе точности				Номинальная мощность дополнитель- ной вторичной обмотки, В·А	Предельная мощность, В·А	Группа, схема сое- динения	Масса, кг
		первичной	основной вторичной	дополнитель- ной вторичной	0,2	0,5	1	3					
НОС-0,5-У4	0,5	380	100	—	—	—	25	50	100	—	200	1/1-0	9
		500											
НОСК-3-У5	3	3 000				30	50	150		240			14
НОСК-6-66-У5 (Т5)	6	6 000	127—100			50	75	200		400			13
НОМ-6-У4 (Т4)	6	3 000	100			30	50	150		240			24
		6 000				50	75	200	400		22		
НОМЭ-6-У2 (Т2)	6	6 000											24
НОМ-10-66-У2 (Т2)	10	10 000				75	150	300		630	—		35
НОМ-15-У4 (Т4)	15	13 800								640	1/1-0		23
		15 750											
		18 000											
НОМ-35-66У1 (Т1)	35	35 000				150	250	600		1200			86
ЗНОМ-15-63У2 (Т2)	15	$6000:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3};$ 100:3			75	150	300		400	1/1/1-0-0		64
		$10000:\sqrt{3}$							640				
		$13800:\sqrt{3}$											
		$15750:\sqrt{3}$											
ЗНОМ-20-63У2 (Т2)	20	$18000:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3};$ 100:3	—	—	75	150	300	—	640	1/1/1-0-0	85	
$20000:\sqrt{3}$								77,5					
ЗНОМ-24-69У1	24	$24000:\sqrt{3}$				150	250	600		980			108
ЗНОМ-35-65У1	35	27 500	127—100							1200			78

Продолжение табл. 11.7

Тип	Напря- жение, кВ	Номинальное напряжение обмотки, В				Номинальная мощ- ность В·А, в классе точности				Номинальная мощность дополнитель- ной вторичной обмотки, В·А	Предельная мощность, В·А	Группа, схема сое- динения	Масса, кг
		первичной	основной вторичной	дополнитель- ной вторичной	0,2	0,5	1	3					
ВНОМ-35-65У1(Т1)	35	35 000 : √3	100 : √3; 100 : 3	—	—	150	250	600	—	150	1/1/1-0-0	78	
		3 000 : √3	100 : √3	100/3 или 100 100	15	30	50	150	—	250	—	26,5	
		3 300 : √3			30	50	75	200	—	400			
		6 000 : √3											
		6 300 : √3											
		6 600 : √3											
		6 900 : √3											
ВНОЛ.06-15У3(Т3)	15	13 800 : √3	100 : √3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	29,5	
		15 750 : √3											
		10 000 : √3											
		11 000 : √3											
ВНОЛ.06-10У3(Т3)		18 000 : √3	100 : √3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	28,5	
		20 000 : √3											
		24 000 : √3											
		3 000 : √3											
ВНОЛ.06-20У3(Т3)		3 300 : √3	100 : √3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	32,5	
		6 000 : √3											
		6 300 : √3											
		6 600 : √3											
ВНОЛ.06-24У3(Т3)	24	6 900 : √3	100 : √3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	40,5	
		11 000 : √3											
		18 000 : √3											
		20 000 : √3											
ВНОЛ.09-6,02	6	24 000 : √3	100 : √3	100/3 или 100	15	30	50	150	150	250	—	28,5	
		3 000 : √3			30	50	75	200	200	400			
		3 300 : √3											
		6 000 : √3											
		6 300 : √3											
		6 600 : √3											

Технические данные трансформаторов напряжения серии ЗНИОЛ

Номинальное первичное напряжение, кВ	6(10)
Номинальная частота, Гц	50 или 60
Номинальная мощность, В·А, для класса точности:	
0,2	30(50)
0,5	50(75)
1	75(150)
3	200(300)

11.3. Обобщенные сведения по измерительным трансформаторам тока и напряжения (ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока»)

В табл. 11.8—11.11 приведены сведения по трансформаторам, выпускаемым ОАО «СЗТТ».

Таблица 11.8. Трансформаторы тока с классом точности 0,2—0,5 и ниже

Тип	Класс напряжения, кВ	Номинальный первичный ток, А
ТОЛ 10	10	300—1500
ТОЛ 10-1	10	5—1500
ТПЛ 10М	10	5—400
ТОЛ-35-III-II	35	15—2000
ТОЛ-35-III	35	500—3000
ТПОЛ 10	10	20—2000
ТЛШ 10	10	1000—5000
ТЛШ-10-I	10	1000—3000
ТШЛ 10	10	2000—5000
ТОЛК	6 или 10	50—600
ТШЛ 0,66	0,66	2000—5000
ТНШ 0,66	0,66	15 000, 25 000
ТНШЛ 0,66	0,66	800—10 000
ТПЛ	20 или 35	300—1500
ТШЛП 10	10	1 000—2 000
ТШЛ 20	20	6000—12 000
ТОП 0,66	0,66	1—200
ТШП 0,66	0,66	300—2000

Таблица 11.9. Ток чувствительности, А, для защитных трансформаторов тока нулевой последовательности на напряжение 660 В

ТЗЛМ	8,5
ТЗРЛ	25
ТЗЛ1	7
ТЗЛЭ-125УХЛ	2,8
ТЗЗ-2	3
ТЗЗ-4	3

Таблица 11.10. Трансформаторы тока специального конструктивного исполнения

Тип	Класс напряжения, кВ	Номинальный ток обмоток, А	
		первичной	вторичной
ТЛ 10	10	50—3000	2,5 или 5
ТПЛК	10	10—1500	5
ТЛК 35	35	200—1500	5
ТВ 10-I	10	6000	5
ТВ 10-II	10	5000, 6000	5
ТВ 10-III	10	6000	5
ТВ 10-IV	10	8000	5
ТВ 35-I	35	75—1500	5
ТВ 35-II	35	50—600	5
ТВ 35-III	35	75—1500	5
ТВ 35-IV	35	600—3000	1 или 5
ТВ 35-V	35	100—2000	5
ТВ 110-I	110	75—1000	5
ТВ 110-II	110	75—2000	5
ТВ 110-III	110	100—3000	1 или 5
ТВ 110-IV	110	100—3000	1 или 5
ТВ 110-V	110	2000	5
ТВ 220-I	220	200—2000	5
ТВ 220-II	220	600—2000	1 или 5
ТВ 220-III	220	100—3000	5
ТВ 220-IV	220	1000—2000	5
ТВ 220-V	220	600—2000	5
ТВ 220-VI	220	2000	5

Таблица 11.11. Измерительные трансформаторы напряжения серий НОЛ, ЗНОЛ, НОЛП, ЗНОЛП, ЗНОЛЭ

Тип	Напряжение обмоток		
	первичной, кВ	основной вторичной, В	дополнительной вторичной, В
НОЛ.08	3—11	100	—
НОЛ.11	6		
НОЛП	6—11		
НОЛ.12	0,38—11		
ЗНОЛ.06	$3/\sqrt{3}$ — $27/\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100; 100/3
ЗНОЛ-6(10)-III	$6/\sqrt{3}$ — $10,5/\sqrt{3}$		
ЗНОЛП	$6/\sqrt{3}$ — $11/\sqrt{3}$		
ЗНОЛЭ-35	$35/\sqrt{3}$		100/3
ЗНОЛЭ-35	27,5	100	127
ЗНОЛЭ-35	$27/\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100

11.4. Современные измерительные трансформаторы напряжения

11.4.1. Незаземляемые, заземляемые, антирезонансные ТН (ОАО «СЗТТ»)

Незаземляемые ТН (табл. 11.12—11.16). Незаземляемый трансформатор напряжения серии НОЛ — это трансформатор напряжения, у которого все части первичной обмотки, включая зажимы, изолированы от земли до уровня, соответствующего классу напряжения. Незаземляемые ТН включают на линейное напряжение; применяются только для учета электроэнергии. Они бывают либо однофазными (НОЛ, НОМ), либо трехфазными (НТМК); имеют только одну вторичную обмотку с наивысшим классом точности 0,2 или 0,5, что вполне приемлемо для питания коммерческих источников электроэнергии. Класс точности ТН гарантируется только при определенных условиях эксплуатации; фактическая нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ должна быть симметричной и находиться в пределах от 25 до 100% номинальной мощности. Если фактическая нагрузка меньше 25%, то ее следует искусственно увеличить. Если же она больше 100%, то ТН переходит в низший класс точности.

Незаземляемые ТН представляют собой трансформаторы малой мощности (обычно менее 1 кВ·А) с большим количеством витков тонкого провода обмотки ВН. Необходимый класс точности обеспечивается точностью намотки числа витков обмоток (амплитудная погрешность) и выбором сниженного значения номинальной индукции в стали магнитопровода (угловая погрешность). При высоких номинальных индукциях применяется коррекция угловой погрешности (НТМК).

Таблица 11.12. Технические характеристики ТН типа НОЛ.11-6.05

Класс напряжения, кВ.	6
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.	7,2
Номинальное напряжение обмоток, В:	
первичной	6 000
вторичной	100 и 127
Номинальная мощность для отпайки 100 В в классе точности 3,0, В·А.	250
Предельная мощность, В·А	500
Группа соединения обмоток	1/1-0
Номинальная частота, Гц.	50 или 60
Масса, кг	16 ± 1

Таблица 11.13. Технические характеристики ТН серии НОЛ.08

Параметр	НОЛ.08-ЗУТ2	НОЛ.08-6УТ2	НОЛ.08-10УТ2
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12

Окончание табл. 11.13

Параметр	НОЛ.08-3УТ2	НОЛ.08-6УТ2	НОЛ.08-10УТ2
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	3 000 3 300	6 000 6 300 6 600 6 900	10 000 11 000
вторичной	100		
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность, В·А, в классе точности: 0,2*	15	30	50
0,5	30	50	75
1,0	50	75	150
3,0	75	200	300
Предельная мощность вне класса точности, В·А	150	400	630
Группа соединения обмоток	1/1-0		

* Высший класс точности 0,2 только для трансформаторов с номинальным напряжением вторичной обмотки 100 В.

Таблица 11.14. Технические характеристики ТН типов НОЛП-6 и НОЛП-10

Параметр	Электромагнитная часть (трансформатор)		Встроенное защитное устройство
Класс напряжения, кВ	6	10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12	12
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	6 000 6 300 6 600 6 900	10 000 11 000	—
вторичной	100		
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность вторичной обмотки, В·А, в классе точности: 0,2*	30	50	—
0,5	50	75	
1,0	75	150	
3,0	200	300	
Предельная мощность вне класса точности, В·А	400	630	—
Группа соединения обмоток	1/1-0		
Сопротивление резистора в составе защитного устройства, Ом	—		36/18
Номинальная мощность резистора, Вт	—		0,25/0,125

* Высший класс точности 0,2 только для трансформаторов с номинальным напряжением вторичной обмотки 100 В.

Примечание. В качестве защитного устройства применяется предохранитель.

Таблица 11.15. Технические характеристики ТН типа НОЛ

Параметр	НОЛ-3	НОЛ-6	НОЛ-10
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	3 000, 3 300	6 000, 6 300, 6 600, 6 900	10 000, 11 000
вторичной		100	
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность, В·А, в классе точности: 0,2*	15	30	50
0,5	30	50	75
1,0	50	75	150
3,0	75	200	300
Предельная мощность вне класса точности, В·А	150	400	630
Группа соединения обмоток	1/1-0		

* Высший класс точности 0,2 только для трансформаторов с номинальным напряжением вторичной обмотки 100 В.

Таблица 11.16. Технические характеристики ТН типа НОЛ.12

Параметр	НОЛ.12- 0,38-ОМЗ	НОЛ.12- 0,69-ОМЗ	НОЛ.12- 6-ОМЗ	НОЛ.12- 10-ОМЗ
Класс напряжения, кВ	0,66		6	10
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	380	690	6300	10500
вторичной	127		100 или 127	
Номинальная частота, Гц	50			
Класс точности	1			
Номинальная мощность в классе точности, В·А	30			
Предельная мощность вне класса точности, В·А	80		125	
Погрешность по напряжению при предельной мощности, %, не более	4			
Группа соединения обмоток	1/1-0			

Заземляемые ТН (табл. 11.17—11.25). Заземляемый трансформатор напряжения серий ЗНОЛ и ЗНООЛП — это однофазный трансформатор напряжения, один конец первичной обмотки которого должен быть заземлен, или трехфазный трансформатор напряжения, нейтраль первичной обмотки которого должна быть заземлена. Буква П означает, что ТН имеет встроенный предохранитель. Трансформаторы напряжения включаются между фазами сети и землей и производятся в однофазном (ЗНОЛ) или трехфазном (НТМИ,

НАМИ, НАМИТ) исполнении. Когда три однофазных ТН собираются в трехфазную группу, она становится эквивалентной одному трехфазному ТН. Заземляемые трехфазные ТН выполняют все функции незаземляемых ТН плюс контроль изоляции сети. Наивысший класс точности заземляемых ТН при измерении междофазных напряжений составляет 0,2 или 0,5 при симметричной нагрузке от 25 до 100% номинальной с $\cos\varphi = 0,8$. Однако согласно ГОСТ 1983-2001 он не гарантируется при однофазном замыкании сети на землю. В этом отношении заземляемые ТН уступают незаземляемым. Заземляемые ТН, как правило, имеют дополнительную вторичную обмотку, применяемую для контроля изоляции сети, и малую предельную мощность.

Таблица 11.18. Технические характеристики ТН типов ЗНОЛП-6 и ЗНОЛП-10

Параметр	ЗНОЛП-6	ЗНОЛП-10
Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	6 000/ $\sqrt{3}$; 6 300/ $\sqrt{3}$; 6 600/ $\sqrt{3}$; 6 900/ $\sqrt{3}$	10 000/ $\sqrt{3}$; 10 500/ $\sqrt{3}$; 11 000/ $\sqrt{3}$
основной вторичной	100/ $\sqrt{3}$ или 110/ $\sqrt{3}$	
дополнительной вторичной	100/3 или 100 или 110/3 или 110	
Номинальная мощность основной вторичной обмотки, В·А, в классе точности:		
0,2	30	50
0,5	50	75
1,0	75	150
3,0	200	300
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки в классе точности 3,0, В·А	200	300
Предельная мощность вне класса точности, В·А	400	630
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0	
Сопротивление резистора в составе защитного устройства*, Ом	13	
Номинальная мощность резистора, Вт	0,25	
Масса, кг	32 ± 1,5	32 ± 1,5

* Предохранитель

Таблица 11.19. Технические характеристики ТН серии ЗНОЛПМ

Параметр	ЗНОЛМ-6 ЗНОЛПМИ-6	ЗНОЛПМ-10 ЗНОЛМИ-10
Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12

Окончание табл. 11.19

Параметр	ЗНОЛМ-6 ЗНОЛПИМ-6	ЗНОЛПМ-10 ЗНОЛМИ-10
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	6000/ $\sqrt{3}$ 6300/ $\sqrt{3}$ 6600/ $\sqrt{3}$ 6900/ $\sqrt{3}$	10000/ $\sqrt{3}$ 10500/ $\sqrt{3}$ 11000/ $\sqrt{3}$
основной вторичной дополнительной вторичной	100/ $\sqrt{3}$ 100/3 или 100	
Номинальная мощность основной вторичной обмотки, В·А, в классе точности:		
0,2	10	10
0,5	30	30
1,0	75	90
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки в классе точности 3,0, В·А	200	
Предельная мощность вне класса точности, В·А	400	
Предельный длительно допустимый первичный ток, А	0,12	0,11, 0,07, 0,06
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0	
Номинальная частота, Гц	50	
Сопротивление резистора в составе защитного устройства, Ом	13	18
Номинальная мощность резистора, Вт	0,25	0,125
Масса, кг	22 ± 0,5	

Таблица 11.20. Технические характеристики ТН серии ЗНОЛ

Параметр	ЗНОЛ-3	ЗНОЛ-6	ЗНОЛ-10
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12
Номинальное напряжение обмотки, В: первичной	3000/ $\sqrt{3}$, 3300/ $\sqrt{3}$	6000/ $\sqrt{3}$, 6300/ $\sqrt{3}$, 6600/ $\sqrt{3}$, 6900/ $\sqrt{3}$	10000/ $\sqrt{3}$, 10500/ $\sqrt{3}$
основной вторичной дополнительной вторичной	100/ $\sqrt{3}$ или 110/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$ или 100 или 110/ $\sqrt{3}$ или 110		
Номинальная мощность при $\cos\varphi = 0,8$ (активно-индуктивная нагрузка), В·А, в классе точности:			
0,2	15	30	50
0,5	30	50	75
1,0	50	75	150
3,0	150	200	300
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность дополнительной вто- ричной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$ (активно-ин- дуктивная нагрузка) в классе точности 3,0, В·А	150	200	300

Окончание табл. 11.19

Параметр	ЗНОЛ-3	ЗНОЛ-6	ЗНОЛ-10
Предельная мощность вне класса точности, В·А	250	400	630
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0		
Масса, кг, не более	42		

Таблица 11.21. Технические характеристики ТН типа ЗНОЛЭ-35

Параметр	Значение	
Класс напряжения, кВ	35	27
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5	30
Номинальное напряжение обмотки, В:		
первичной	$35\,000/\sqrt{3}$	27 500
основной вторичной	$100/\sqrt{3}$	100
дополнительной вторичной	$100/\sqrt{3}$	127
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Номинальная мощность вторичной обмотки, В·А:		
основной в классе точности:		
0,2	10 или 15	
0,5	60	150
1,0	120	300
3,0	—	600
дополнительной в классе точности 3,0, В·А	100	400 (вне класса точности)
Предельная мощность вне класса точности, В·А	1 000	
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0	
Масса, кг	60	

Таблица 11.22. Технические характеристики ТН типа ЗНОЛ-35Ш

Параметр	Значение	
Класс напряжения, кВ	35	27
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5	30
Номинальное напряжение обмотки, В:		
первичной	$35\,000/\sqrt{3}$	27 500
основной вторичной	$100/\sqrt{3}$	100
дополнительной вторичной	$100/3$	127
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Номинальная мощность вторичной обмотки, В·А:		
основной в классе точности:		
0,2	15	15
0,5	60	60
1,0	120	120
дополнительной в классе точности 3,0	$100/3$	400 вне класса точности
Предельная мощность вне класса точности, В·А	600	

Окончание табл. 11.19

Параметр	Значение
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0
Масса, кг, не более	90

* Классы точности устанавливаются только для номинального напряжения основной вторичной обмотки $100/\sqrt{3}$ и 100 В.

Примечание. Трансформаторы для автоматизированных информационно-измерительных систем контроля и учета электроэнергии (АИИСКУЭ) поставляются по специальному заказу с одним классом точности и номинальной мощностью, указанными в заказе.

Трансформаторы напряжения типа ЗНИОЛ-10(П) однофазные, заземляемые, опорного типа, для внутреннего размещения, залиты смолой на основе эпоксидного компаунда и предназначены для измерения и (или) защиты.

Таблица 11.23. Технические характеристики ТН типа ЗНИОЛ-10(П)

Номинальное напряжение, кВ.....	15
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	17
Частота, Гц.....	50/60
Индуктированное напряжение при 120 Гц, кВ, не более.....	34
Напряжение вторичных обмоток, В:	
основной.....	$100/\sqrt{3}$ 110/ $\sqrt{3}$ 120/ $\sqrt{3}$
дополнительной.....	100/3, 110/3 или 120/3
Допустимое продолжительное перенапряжение, кВ.....	1,2
Масса, кг.....	29

Трансформаторы напряжения типа ЗНИОЛ-35(П) однофазные, заземляемые, опорного типа, для внутреннего размещения, залиты смолой на основе эпоксидного компаунда и предназначены для измерения и (или) защиты.

Таблица 11.24. Технические характеристики ТН типа ЗНИОЛ-35(П)

Предельное напряжение, кВ.....	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	35
Частота, Гц.....	50/60
Индуктированное напряжение при 120 Гц, кВ, не более.....	70
Напряжение вторичных обмоток, В:	
основной.....	$100/\sqrt{3}$; 110/ $\sqrt{3}$; 120/ $\sqrt{3}$
дополнительной.....	100/3; 110/3; 120/3
Допустимое продолжительное перенапряжение, кВ.....	1,2
Масса, кг.....	29

Трансформаторы напряжения типа ЗНИОЛ-35 однофазные, заземляемые (соединение фаза-земля), опорного типа, для наружного размещения, залиты циклоалифатической смолой с большой длиной пути утечки, предназначены для измерения и (или) защиты.

Таблица 11.25. Технические характеристики ТН типа ЗНИОЛ-35

Предельное напряжение, кВ.	35
Предельное напряжение для оборудования, кВ.	35
Частота, Гц.	50/60
Индуктированное напряжение при 120 Гц, кВ, не более.	70
Напряжение вторичных обмоток, В:	
основной.	$100/\sqrt{3}$; $110/\sqrt{3}$; $120/\sqrt{3}$ или $115/\sqrt{3}$
дополнительной.	$100/3$; $110/3$; $120/3$ или $115/3$
Допустимое продолжительное перенапряжение, кВ.	1,2
Масса, кг.	68

Антирезонансные ТН (табл. 11.26—11.28). Принцип их работы заключается в том, что они сами не вступают в феррорезонанс (первый режим), устойчивы к перемежающейся дуге (второй режим) и к «внешнему» феррорезонансу в сети (третий режим). Трехфазные феррорезонансные группы предназначены для установки в комплектные распределительные устройства или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служат для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частотой 50 или 60 Гц. Устойчивы к феррорезонансу и (или) воздействию перемежающейся дуги в случае замыкания одной из фаз сети на землю. Трехфазные антирезонансные группы по ГОСТ 15150 изготавливаются в климатическом исполнении «У» или «Т»: типа 3×ЗНОЛ.06 — категории размещения 3; типа 3×ЗНОЛП — категории размещения 2.

Трансформаторы напряжения серии НАЛИ-СЭЩ устойчивы к резонансу и пожаробезопасны; по надежности может применяться на атомных электростанциях, ремонтпригоден, после аварии может продолжать работу.

Таблица 11.26. Технические характеристики ТН серии 3×ЗНОЛ.06

Параметр	Значение	
Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное линейное напряжение на выводах обмотки, В:		
первичной	6 000, 6 300, 6 600, 6 900	10 000, 10 500, 11 000
основной вторичной	100	
Напряжение на выводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток, В:		
при симметричном режиме работы сети, не более	3	
при замыкании одной из фаз сети на землю	90—110	
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Мощность нагрузки на выводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки при напряжении 100 В и $\cos\varphi = 0,8$ (индуктивная нагрузка), В·А	400	

Окончание табл. 11.26

Параметр	Значение	
Номинальная трехфазная мощность, В·А, в классе точности:		
0,2	90	150
0,5	150	225
1	225	450
3	600	900
Предельная мощность вне класса точности, В·А	1200	1800
Схема соединения обмоток	Y/Y-0/Δ-0	

Таблица 11.27. Сопротивление, Ом, мощность блока резисторов, Вт, для группы ТН 3×ЗНОЛ.06

Тип резистора	Число в блоке, шт.	3×ЗНОЛ.06-6, 3×ЗНОЛ-6		3×ЗНОЛ.06-10, 3×ЗНОЛ-10	
		Ом	Вт	Ом	Вт
С 5—35 В $3 \pm 5\%$ кОм, 100 Вт	3	1000	300	—	—
С 5—35 В $2,4 \pm 5\%$ кОм, 100 Вт	3	—	—	800	300

Таблица 11.28. Технические характеристики группы ТН 3×ЗНОЛПМ

Параметр	3×ЗНОЛПМ-6 3×ЗНОЛПМИ-6	3×ЗНОЛПМ-10 3×ЗНОЛПМИ-10
Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное линейное напряжение на выводах обмотки, В: первичной	6000, 6600	10000, 10500, 11000
основной вторичной		
Трехфазная мощность, В·А, в классе точности*:		
0,2	30	30
0,5	90	90
1	225	270
Мощность нагрузки на выводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки при напряжении 100 В и $\cos\varphi = 0,8$ (индуктивная нагрузка), В·А	400	
Напряжение на выводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток, В: при симметричном режиме работы сети, не более при замыкании одной из фаз сети на землю	3 90—110	
Схема соединения обмоток	Y/Y-0/Δ-0	
Номинальная частота, Гц	50	

* Трехфазные группы изготавливаются с номинальной мощностью, соответствующей одному классу точности, указанному в заказе.

Таблица 11.29. Технические характеристики ТН типа НАЛИ-СЭЩ-6(10)

Параметр	НАЛИ-СЭЩ-6-1	НАЛИ-СЭЩ-10-1	НАЛИ-СЭЩ-6-2	НАЛИ-СЭЩ-10-2
Конструкция	3×НОЛ-СЭЩ-6-2 + ТНП-СЭЩ-3	3×НОЛ-СЭЩ-10-2 + ТНП-СЭЩ-6	3×НОЛ-СЭЩ-6-3 + ТНП-СЭЩ-6	3×НОЛ-СЭЩ-10-3 + ТНП-СЭЩ-10
Класс напряжения по ГОСТ 1516.3-96, кВ	6	10	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12	7,2	12
Номинальное линейное напряжение, В, на выводах обмотки: первичной	6000	10 000	6000	10 000
основной вторичной	100			
Напряжение на вводах цепей, предназначенных для контроля изоляции: при симметричном номинальном первичном фазном напряжении, В, не более	3		20	
при приложенном симметричном линейном напряжении и последующем замыкании одной из фаз на землю, В	90—110		50—60	
Классы точности основной вторичной обмотки	0,2; 0,5; 1; 3			
Номинальная трехфазная мощность основной вторичной обмотки при измерении линейных напряжений и симметричной нагрузке, В·А, в классе точности:				
0,2	75*			
0,5	200*			
1	300*			
3	600			
Номинальная мощность обмоток цепей контроля изоляции, В·А	30			

Окончание табл. 11.29

Параметр	НАЛИ-СЭЩ-6-1	НАЛИ-СЭЩ-10-1	НАЛИ-СЭЩ-6-2	НАЛИ-СЭЩ-10-2
Предельная мощность обмоток, В·А: первичной основной вторичной дополнительной вторичной		1000 900 100		
Схема и группа соединения обмоток измерительных трансформаторов: 3×НОЛ-СЭЩ-6(10)-2, входящих в НАЛИ-СЭЩ-6(10)-1 3×НОЛ-СЭЩ-6(10)-3, входящих в НАЛИ-СЭЩ-6(10)-2 трансформатора ТНП	Y_n/Y_n-0 1/1-0		$Y_n/Y_n/п-0$ 1/1-0	
Номинальное напряжение ТНП, В: первичной обмотки вторичной обмотки	$3000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$ $100/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	$10\,000/\sqrt{3}$
Номинальная частота, Гц	50 или 60**			
Масса группы, кг, не более	110			

* Номинальная мощность для ТН высшего класса точности; для ТН более низких классов точности номинальная мощность может отличаться.

** Для ТН, поставляемых на экспорт.

11.4.2. Трехфазные антирезонансные группы литых трансформаторов напряжения НАЛИ-СЭЩ-6(10) (ООО «Русский трансформатор»)

Трансформаторы типа НАЛИ-СЭЩ-6(10) обеспечивают питание приборов учета электроэнергии, измерительной аппаратуры, релейных (микропроцессорных) защит и автоматики, а также используются для контроля изоляции в сетях 6(10) кВ (табл. 11.29). Применяются в комплектных распределительных устройствах внутренней и наружной установки (КРУ) и камерах одностороннего обслуживания КСО.

Имеется три варианта исполнения этих трансформаторов:

- *1-й вариант* — НАЛИ-СЭЩ-6(10)-1 по схеме соединения обмоток аналогичен трехфазному масляному трансформатору типа НАМИТ-10-2. Вторичная обмотка ТНП в нормальном режиме работы замкнута и размыкается релейной защитой при появлении напряжения небаланса;
- *2-й вариант* — НАЛИ-СЭЩ-6(10)-2 — отсутствует дополнительная обмотка, соединенная в треугольник. Вторичная обмотка ТНП всегда разомкнута, и на ее выводах измеряется напряжение изоляции сети;
- *3-й вариант* — НАЛИ-СЭЩ-6(10)-3 — имеет замкнутую накоротко дополнительную обмотку, соединенную в треугольник. Вторичная обмотка ТНП всегда разомкнута, и на ее выводах измеряется напряжение изоляции сети. Релейная защита также отсутствует.

Преимущества трансформаторов типа НАЛИ-СЭЩ-6(10)-2:

- пожаро- и взрывобезопасны;
- сохраняется работоспособность и гарантируется номинальный класс точности при обратном чередовании фаз, а также имеется возможность проверки работоспособности дополнительной обмотки, соединенной в замкнутый треугольник, по сравнению с трехфазным масляным ТН типа НАМИ-10-95;
- заземление нейтрали высоковольтной обмотки выполнено через индуктивный элемент. Это самый эффективный метод защиты от феррорезонансных процессов, приводящих к повреждению ТН. В этом смысле НАЛИ-СЭЩ-6(10) более надежное решение по сравнению с широко известной трехфазной группой 3×ЗНОЛ, заземляемой через резистор.

Применение трехфазных антирезонансных групп типа НАЛИ-СЭЩ-6(10) позволит полностью исключить возможность возникновения устойчивых феррорезонансных явлений в сетях 6—10 кВ, обусловленных различными электромагнитными возмущениями (дуговые замыкания, отключение металлических замыканий «на землю» и т.п.).

11.5. Современные измерительные трансформаторы тока

11.5.1. Шинные, опорные, проходные, встроенные, нулевой последовательности, специальные ТТ; замена ТТ (ОАО «СЗТТ»)

Шинные ТТ (табл. 11.30—11.38). Шинный трансформатор тока серий ТНШ, ТНШЛ, ТШЛ, — это ТТ, первичной обмоткой которого служит одна или несколько параллельно включенных шин РУ. Трансформаторы тока предназначены для встраивания в комплектные распределительные устройства и служат для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам или устройствам защиты и управления в установках переменного тока частотой 50 или 60 Гц с номинальным напряжением до 0,66 кВ включительно. Трансформаторы на токи 600—2000 А поставляются в корпусах из трудногорючих самозатухающих пластмасс.

Трансформаторы изготавливаются по ГОСТ 15150 в исполнении Т и У категории размещения 2.

Таблица 11.30. Технические характеристики ТТ типа ТНШ-0,66

Номинальное напряжение, кВ	0,66
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.	0,8
Номинальный ток, А	
первичный	5 000, 25 000
вторичный	5
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Класс точности	10P*
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	50
Кратность трехсекундного тока термической стойкости	2,2
Номинальная предельная кратность тока	2
Масса, кг, для номинального первичного тока, А:	
15000	52
25000	170

* При отсутствии влияния соседних фаз и обратной шины «родной фазы» — погрешность трансформатора может соответствовать классу точности 0,5.

Таблица 11.31. Технические характеристики ТТ типа ТНШЛ-0,66 (на токи 150—500 А)

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	0,8
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный ток, А:	
первичный	150; 200; 300; 400; 500
вторичный	1; 5
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А	1; 1,25; 2,5
при $\cos\varphi = 1$	
при $\cos\varphi = 0,8$ и номинальном первичном токе, А:	
50, 200	3; 5*
300, 400	3; 5; 10*
500	3; 5; 10; 15; 20*

Окончание табл. 11.31

Параметр	Значение
Класс точности для номинального первичного тока, А:	
150	0,5; 1
200	0,5; 1; 10P
300	0,5S; 0,5; 1; 10P
400, 500	0,2S; 0,5S; 0,5; 1; 10P
Кратность трехсекундного тока термической стойкости, не менее	25
Номинальная предельная кратность тока при номинальном первичном токе, А*:	
200, 300	4
400, 500	8

* При наибольшей номинальной нагрузке вторичной обмотки.

Таблица 11.32. Технические характеристики ТТ типа ТНШЛ-0,66 (на токи 600—10000 А)

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	0,8
Номинальная частота, Гц	50 или 60
Номинальный ток, А:	
первичный	600; 800; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 8000; 10000
вторичный	1; 5
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	20
Класс точности для номинального первичного тока, А:	
600—2000	0,5S; 0,5; 10P
3000—5000	0,2S; 0,5S; 0,5; 10P
8000—10000	3; 10P
Кратность трехсекундного тока термической стойкости, не менее, при номинальном первичном токе, А:	
600—200	25
300—10000	75
Номинальная предельная кратность тока при номинальном первичном токе, А:	
600	6
800	7
1000	10
1500—3000	11
4000—5000	12
8000—10000	20

Таблица 11.33. Технические характеристики ТТ типов ТШЛ-0,66, ТШЛ-0,66-1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Номинальный ток, А:	
первичный	2000, 3000, 4000, 5000
вторичный	1; 5

Окончание табл. 11.33

Параметр	Значение
Наибольший рабочий первичный ток, А	2 000, 3 200, 4 000, 5 000
Номинальная частота, Гц	50 или 60
Класс точности	0,5S; 0,5; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	15
Кратность односекундного тока термической стойкости для первичных токов, А:	
2 000	60
3 000	40
4 000, 5 000	40
Номинальная предельная кратность тока для первичных токов, А:	
2 000, 3 000 при междуфазном расстоянии 140 мм	8
4 000, 5 000 при междуфазном расстоянии 140 мм	4
4 000, 5 000 при междуфазном расстоянии 750 мм	8

Таблица 11.34. Технические характеристики ТТ типа ТШЛ-0,66-П

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	0,8
Номинальная частота, Гц	50, 60
Номинальный ток, А: первичный вторичный	300, 400, 600, 800, 1 000, 1 500, 2 000 1; 5
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А	1—10
Класс точности	0,5; 0,5S; 0,2S; 0,2; 1
Коэффициент безопасности приборов обмотки для измерений, не более: в классе точности 0,5* в классе точности 0,5S; 0,2S	10 5
Масса, кг	1,73 (до 600 А); 1,76 (800—2000 А)

* При номинальной нагрузке 5 В·А для 300 и 400 А. При номинальной нагрузке 10 В·А для 600—2000 А.

Таблица 11.35. Технические характеристики ТТ серии ТШЛ на 10 кВ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Номинальный первичный ток, А: ТШЛП-10; ТШЛПК-10; ТШЛП-10-1; ТШЛПК-10-1 ТШЛ-10; ТШЛК-10; ТШЛ-10-1; ТШЛК-10-1	1000; 2000 2000; 3000; 4000; 5000

Окончание табл. 11.35

Параметр	Значение
Номинальный вторичный ток, А	5
Число вторичных обмоток, шт.	2
Номинальный класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S 10P*
Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	20 30
Кратность трехсекундного тока термической стойкости	35
Номинальная предельная кратность тока обмотки для защиты	25

* В соответствии с заказом могут поставляться ТТ класса точности 5P.

Таблица 11.36. Технические характеристики ТТ серии ТШЛ-10

Параметр	Значение					
Номинальный первичный ток, А	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11					
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12					
Номинальная частота, Гц	50 или 60					
Номинальный вторичный ток, А	1; 5					
Число вторичных обмоток, шт.	2,3 или 4			2		
Номинальный класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5P 10P*			5P, 10P		
Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений в классе точности: 0,2; 0,2S 0,5; 0,5S; для защиты в классе точности: 5P 10P	20 20 или 30 ** 30			15 20 20 30		
Номинальная предельная кратность тока обмоток для защиты в классе точности, не менее: 5P 10P	** 8 11 10,5			10 15 18		
Трехсекундный ток термической стойкости, кА	31,5				140	175
Номинальный коэффициент безопасности приборов вторичных обмоток для измерений в классе точности, не более: 0,5 0,2; 0,5S 0,2S	11 4 4	14 5 5	16 16 6	19	14	

* В соответствии с заказом могут поставляться ТТ класса точности 5P.

** Значения могут согласовываться при заказе.

Таблица 11.37. Максимальная масса ТТ серии ТШЛ-10

Тип трансформатора	Номинальный первичный ток, А	Масса, кг, не более
ТШЛ-10	1 000, 1 500, 2 000, 3 000	26
ТШЛ-10-1 ТШЛ-10-2 ТШЛ-10-1-2	1 000, 1 500, 2 000 4 000, 5 000 3 000, 4 000, 5 000	30
ТШЛ-10-5-2 ТШЛ-10-5	1 000—3 000	39

Таблица 11.38. Технические характеристики ТТ типа ТШЛ-20-1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	20
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	24
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Номинальный ток, А: первичный	3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 10 000; 12 000; 14 000; 15 000; 16 000; 18 000
вторичный	1; 5
Число вторичных обмоток	2
Класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 5P; 10P 5P; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А: для измерений для защиты класса точности: 5P 10P	30 * 30
Номинальная предельная кратность тока вторичных обмоток для защиты, не менее: для класса точности 10P при номинальных первичных токах, А: 3 000 4 000 5 000; 6 000 8 000 10 000; 12 000; 14 000; 15 000; 16 000; 18 000 для класса точности 5P при номинальных первичных токах, А: 3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 10 000 12 000; 14 000; 15 000; 16 000; 18 000	13 15 16 14 12 20 *
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, при номи- нальных первичных токах, А: 3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 10 000 12 000; 14 000; 15 000; 16 000; 18 000	120 190

* Значение уточняется в заказе.

Опорные ТТ (табл. 11.39—11.52). Опорные трансформаторы тока серий ТОЛК, ТОЛ предназначены для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защиты и управления, для изолирования цепей вторичных соединений от высокого напряжения в комплектных устройствах внутренней и наружной установок (КРУ, КРУН и КСО) переменного тока на класс напряжения до 10 кВ частоты 50 или 60 Гц. Трансформаторы тока серий ТЛК, ТОЛ выпускаются на напряжение 35 кВ.

Таблица 11.39. Технические характеристики ТТ типа ТОЛК-6

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2
Номинальная частота переменного тока, Гц	50
Номинальный ток, А: первичный	50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600
вторичный	1; 5
Класс точности вторичной обмотки	1,0 и 10Р
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	30
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки, не менее	5,5
Предельная кратность тока вторичной обмотки при нагрузке 15 В·А	8
Номинальное напряжение питания дополнительной обмотки при проверке максимальной токовой защиты, В	100 ± 20
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 50	3,6
80	5,6
100—600	10
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 50	17,6
80—600	26
Масса, кг	$10,5 \pm 1$

Таблица 11.40. Технические характеристики ТТ типа ТОЛК-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60

Окончание табл. 11.40

Параметр	Значение
Номинальный ток, А: первичный	50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600
вторичный	1; 5
Класс точности вторичной обмотки	1 и 5P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	30
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки, не менее	5,5
Предельная кратность тока вторичной обмотки при нагрузке 15 В·А	8
Номинальное напряжение питания дополнительной обмотки, В	100 ± 20
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 50	3,6
80	5,6
100—600	10
Ток электродинамической стойкости, кА	25
Масса, кг	12 ± 1

Таблица 11.41. Технические характеристики ТТ типа ТОЛК-10-1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50
Номинальный ток, А: первичный	50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600
вторичный	1; 5
Число вторичных обмоток	2
Класс точности вторичной обмотки: для измерений при номинальном первичном токе 50—600 А для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1 5P; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А: для измерений при $\cos\varphi = 1$ при $\cos\varphi = 0,8$ для защиты при $\cos\varphi = 0,8$	1—2,5* 3—30* 30
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты, не менее, при номинальной нагрузке, В·А: 15 30	8 5,5
Номинальное напряжение питания дополнительной обмотки, В	100 ± 20

Окончание табл. 11.41

Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:	
50	3,6
80	5,6
100—600	10
Ток электродинамической стойкости, кА	25

* Согласно заказу.

Таблица 11.42. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Номинальный ток, А: первичный	10; 20; 30; 40; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000
вторичный	1; 5
Число вторичных обмоток	2
Класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,5; 0,5S; 0,2; 0,2S 10P*
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А: для измерений для защиты	10 15
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты, не менее	10
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 50 100 150 200 300—2000	4,9 9,7 12,5 17,5 31,5
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 50 100—200 300—2000	17,5 52 100

* В соответствии с заказом могут поставляться ТТ класса точности 5P.

Таблица 11.43. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-10-І

Параметр	Конструктивное исполнение			
	1 или 2	3 или 4	5 или 6	7 или 8
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11*			
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12			
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60			
Номинальный первичный ток, А	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000	30, 40, 50, 75, 80, 100, 150	100, 150, 200	50, 75, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000
Номинальный вторичный ток, А	1 или 5			
Число вторичных обмоток	2			3
Класс точности вторичной обмотки: для измерений при номинальном первичном токе, А: 5—400 500—2000 для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S или 1 0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S 10P			
Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	Не более 30 15			
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты, не менее	10			
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:				
5	0,4	—	—	—
10	0,78	—	—	—
15	1,2	—	—	—
20	1,56	—	—	—
30	2,5	—	—	—
40	3	—	—	—
50	5	—	—	5
75	5,85	3,2	—	5,85
80	6,23	4,3	—	—
100	10	8	—	10
150	12,5	20	—	12,5
200	20	20	31,5	20
300, 400	31,5	20	31,5	20
500—2000	40	20	31,5	40

Окончание табл. 11.43

Параметр	Конструктивное исполнение			
	1 или 2	3 или 4	5 или 6	7 или 8
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:				
5	1	—	—	—
10	1,97	—	—	—
15	3	—	—	—
20	3,93	—	—	—
30	6,25	8	—	—
40	7,56	10	—	—
50	12,8	20	—	12,8
75	14,7	51	—	14,7
100	25,5	51	81	25,5
150	31,8	51	81	31,8
200	51	—	81	51
300, 400	81	—	—	51
500—2000	102	—	—	102

Таблица 11.44. Технические характеристики ТТ серии ТОЛ-10-ИМ

Параметр	ТОЛ-10-ИМ-2	ТОЛ-10-ИМ-3	ТОЛ-10-ИМ-4
Номинальное напряжение, кВ	10		
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12		
Номинальная частота переменного тока, Гц	50		
Номинальный ток, А: первичный	5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750; 800; 1 000; 1 200; 1 500; 2 000		
вторичный	1 или 5		
Число вторичных обмоток	2	3	4
Номинальный класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5 5P; 10P		
Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	от 1 до 30 от 1 до 30		
Номинальная предельная кратность тока вторичных обмоток для защиты, при номинальном первичном токе, А, не менее	10		
Номинальный коэффициент безопасности приборов обмотки для измерений, не более	15		
Климатическое исполнение	УХЛ или Т		

Окончание табл. 11.44

Параметр	ТОЛ-10-IM-2	ТОЛ-10-IM-3	ТОЛ-10-IM-4
Категория размещения	2		
Габариты:			
длина	270	300	375
ширина	270	148	375
высота	270	256	375
Масса, кг, не более	20	23	30

Таблица 11.45. Токи термической и электродинамической стойкости для ТТ серии ТОЛ-10-IM (2М; 3М; 4М)

Номинальный первичный ток, А	Односекундный ток термической стойкости, кА	Ток электродинамической стойкости, кА
5	0,4	1
10	0,78	1,97
15	1,2	3
20	1,56	3,93
30	2,5	6,25
40	3	7,56
50	5	12,8
75	5,85	14,7
80	6,23	15,7
100	10	25,5
150	12,5	31,8
200	20	51
300; 400	31,5	81
600—2000	40	102

Таблица 11.46. Технические характеристики ТТ типа ТЛК-35

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Номинальный ток, А первичный	150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000; 1 500; 2 000; 3 000
вторичный	1 или 5
Число вторичных обмоток	2; 3; 4

Окончание табл. 11.46

Параметр	Значение
Класс точности при номинальном первичном токе, вторичной обмотки: для измерений: 150—1500 А 2000 и 3000 А для защиты: 150—1500 А 2000 и 3000 А	0,2S; 0,5S 0,5 10P* 5P; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А, при $\cos\varphi = 0,8$ и номинальном первичном токе: для измерений: 150—800 А в классе точности 0,2S 150—800 А в классе точности 0,5S 1000; 1500 А в классе точности 0,2S; 0,5S 2000; 3000 А в классе точности 0,5 для защиты: 150—1000; 2000; 3000 А 1500 А	10 20 20 15 15 30
Номинальная предельная кратность тока обмотки для защиты при номинальном первичном токе, А: 150—1500, 3000 в классе точности 10P 2000 в классе точности 5P; 10P 3000 в классе точности 5P	10 12 8
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, не менее, при номинальном первичном токе, А: 150 200—1000 1500, 2000 3000	20 31,5 50 100
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 150 200—1000 1500, 2000 3000	51 80 125 250
Масса, кг, при номинальном первичном токе, А: 150—1500 2000, 3000	50 70

Таблица 11.47. Технические характеристики ТТ типов ТОЛ-35 III-II и ТОЛ-35 III-III

Параметр	Конструктивное исполнение трансформатора	
	II	III
Номинальное напряжение, кВ	35	
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Номинальный ток, А: первичный	15; 20; 30; 40; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000	500; 1000; 1500; 2000; 3000
вторичный	5	5 или 1
Число вторичных обмоток: для измерений для защиты	1 2	
Класс точности вторичных обмоток: для измерений для защиты	0,2SS; 0,5S 10P/10P*	
Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	30 30	50
Номинальная предельная кратность тока обмоток для защиты	20	
Трехсекундный ток термической стойкости, кА	0,7—55	49—57
Ток электродинамической стойкости, кА	3—141	125—145

* В соответствии с заказом могут поставляться ТТ класса точности 5P/5P.

Примечание. Возможно изготовление ТТ с четырьмя вторичными обмотками.

Таблица 11.48. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-35 III-VI

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальная частота, Гц	50
Число вторичных обмоток	От 1 до 3
Класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 1; 3; 10 5P; 10P
Номинальный первичный ток, А	100—2000

Таблица 11.49. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-35 III-IV-1; 2; 3; 4

Вариант исполнения	Номинальный первичный ток, А	Наибольший первичный ток, А	Номинальный вторичный ток, А	Нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$ в классе точности, В·А						Трехсекундный ток термической стойкости, кА	Ток электродинамической стойкости, кА	Номинальная предельная кратность тока в классе точности 10P
				0,5	1	3	10	10P				
300/5*	100	100	5	—	—	—	20	10	25	64	7	
	150	160		—	—	—	30	20			6	
	200	200		—	—	—	40	20			7	
	300	320		—	—	30	—	30			7	
600/5*	200	200	5	—	—	—	40	20	25	64	7	
	300	320		—	—	30	—	30			7	
	400	400		—	—	40	—	30			10	
	600	630		—	30	—	—	30			14	
1200/5	750	800	5	30	—	—	—	30	25	64	11	
	800	800		30	—	—	—	30			12	
	1000	1000		30	—	—	—	30			14	
	1200	1250		30	—	—	—	30			15	
1500/5	800	800	5	30	—	—	—	30	25	64	12	
	1000	1000		30	—	—	—	30			14	
	1200	1250		30	—	—	—	30			15	
	1500	1600		30	—	—	—	30			17	

* Термическая стойкость для данного исполнения указана при обмотке, замкнутой на номинальную нагрузку.

Примечания: 1. Классы точности вторичной обмотки для измерений ТОЛ-35 III—IV-3 и ТОЛ-35 III—IV-4.

2. По согласованию с заказчиком возможно изготовление трансформаторов тока с другими техническими характеристиками.

Таблица 11.50. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-35 Ш-IV-5; 6; 7; 8

Вариант исполнения	Номинальный ток, А		Номинальная нагрузка вторичных обмоток при $\cos \varphi = 0,8$, В·А	Классы точности вторичных обмоток		Номинальная предельная кратность тока обмотки для защиты, не менее	Ток электро-динамической стойкости, кА	Трехсекундный ток термической стойкости, кА
	первич-ный	вторич-ный		для измерений	для защиты			
5; 6 двухобмоточный	600	5	30	0,2S; 0,2; 0,5S;	5P; 10P	16	51	20
	750			0,5; 1; 3; 10		18	64	25
	800					19	69	27
	1 000*					11	128	50
	1 200*					13		
	1 500*					14		
7; 8 трехобмоточный	2 000					13	154	60
	600*	5	30	0,2S; 0,2; 0,5S;	5P; 10P	8	80	31
	750*			0,5; 1; 3; 10		10		
	800*					11		
	1000*					6	128	50
	1 200*					7		
	1 500*					8		
	2 000					8	154	60

* Ток термической стойкости указан при вторичной обмотке, замкнутой на номинальную нагрузку.
Примечания. По согласованию с заказчиком возможно изготовление трансформаторов тока с другими техническими характеристиками.

Таблица 11.51. Технические характеристики ТТ типа ТОЛ-20-2(3; 4)

Параметр	ТОЛ-20-2 (3, 4)
Номинальный первичный ток, А	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 750, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 2 000, 2 500
Количество вторичных обмоток	2; 3; 4
Класс точности вторичной обмотки для измерений защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S 5P; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А: для измерений: при $\cos\varphi = 1$ при $\cos\varphi = 0,8$ для защиты при $\cos\varphi = 0,8$	1; 2; 2,5 3; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 50 3; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 50
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты, не менее	2—30
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300, 400 600—2500	0,4 0,78 1,2 1,56 2,5 3 5 5,85 10 12,5 20 31,5 40
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300, 400 600—2500	1 1,97 3 3,93 6,25 7,56 12,8 14,7 25,5 31,8 51 81 102

Трансформаторы тока типа ТЛК-35-1 (табл. 11.52). Трансформаторы тока опорного типа используются для наружного размещения, залиты герметизирующей эпоксидной смолой, предназначены для измерения и (или) защиты.

Таблица 11.52. Технические характеристики ТТ типа ТЛК-35-1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	39
Частота, Гц	50/60
Номинальный первичный ток, А: простое соединение двойное соединение тройное соединение	1200 600; 1200 300; 600; 1200
Номинальный вторичный ток, А (1 или 2 А в зависимости от комплектации)	5
Количество магнитопроводов	3
Ток односекундной термической стойкости, кА	60
Масса, кг	250

Опорные и шинные ТТ (табл. 11.53). Опорные и шинные трансформаторы тока предназначены для передачи сигнала измерительной информации измерительным прибором в установках переменного тока частоты 50 или 60 Гц с номинальным напряжением до 0,66 кВ включительно.

Трансформаторы класса точности 0,2; 0,5; 0,2S и 0,5S применяются в схемах учета для расчета с потребителями, класса точности 1,0 — в схемах измерения. Корпус ТТ выполнен из самозатухающих трудногорючих материалов. Первичная шина ТТ серий ТОП-0,66 и ТПШ-0,66 медная, покрытая оловом.

Таблица 11.53. Технические характеристики ТТ типов ТОП-0,66 и ТПШ-0,66

Номинальный ток, А		Номинальная вторичная нагрузка при $\cos \varphi = 0,8$, В·А	Класс точности
первичный	вторичный		
1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50	1; 5	3	0,2; 0,5; 1
		5	0,2S; 0,5S; 0,5; 1
75; 80; 100; 150; 200		3	0,2
		5	0,2S; 0,5S; 0,5; 1
		10	1
200	5	5	0,5

Окончание табл. 11.53

Номинальный ток, А		Номинальная вторичная нагрузка при $\cos \varphi = 0,8$, В·А	Класс точности
первичный	вторичный		
300; 400	1; 5	5	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1
		10	1
		10	0,5
500; 600; 750; 800		5; 10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1
600; 750; 800		15	0,2S; 0,5S
800		20	
750; 800		15; 20; 25	0,5
1000; 1200	1; 5	3	0,2; 0,5S
1500; 2000		5; 10	0,2S; 0,5S; 0,5; 1
2000		15	0,2S; 0,5S; 0,5; 1

Проходные ТТ (табл. 11.54—11.56). Проходной ТТ предназначен для использования его в качестве ввода, устанавливается в КРУ и служит для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и (или) устройствам защиты и управления, для изолирования цепей вторичных соединений от высокого напряжения в электрических установках переменного тока на класс напряжения до 10 кВ (серии ТПОЛ-10, ТПОЛ-10М) и до 35 кВ (серии ТПЛ-20, ТПЛ-35). Трансформатор тока имеет катушечную опорную конструкцию.

Таблица 11.54. Технические характеристики ТТ типов ТПЛ-35, ТПЛ-20

Параметр	Значение	
Номинальное напряжение, кВ	20	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	24	40,5
Номинальный ток, А* первичный	300, 400, 600, 800, 1000, 1500 1; 5	
вторичный		
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Номинальная нагрузка при $\cos \varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	20 20	
Класс точности вторичной обмотки: для измерения при номинальном первичном токе 300—1500 А для защиты	0,2S; 0,5S; 0,5; 1,0 10P**	

Окончание табл. 11.54

Параметр	Значение	
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты при номинальном первичном токе, А ^{***} : 300; 400; 600 800; 1 000; 1 500	13; 13; 18 24; 24; 26	10; 13; 18 18; 24; 26
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе: 300; 400; 600 800; 1000; 1500	16; 16; 24 32; 40; 60	12; 16; 24 32; 40; 60
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А: 300; 400; 600 800; 1000 1500	41; 41; 61 82; 102 153	31; 41; 61 82; 102 153
Масса, кг, не более	47	62

* Могут поставляться ТТ на 2000 А.

** В соответствии с заказом могут поставляться ТТ класса точности 5Р.

*** В соответствии с заказом могут поставляться ТТ с предельной кратностью тока 20.

Таблица 11.55. Технические характеристики ТТ типа ТПОЛ-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А: первичный	20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2 000
вторичный	1; 5
Номинальная частота, Гц	50 или 60
Количество вторичных обмоток	2 или 3
Номинальная нагрузка при $\cos \varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для измерений для защиты	Не более 30 15
Номинальный класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2; 0,2S; 0,5S; 0,5; 1,0 10P
Номинальная предельная кратность тока обмотки для защиты при номинальном первичном токе, А: 20—400 600; 1000 800 1500 2000	10 16 20 23 19

Окончание табл. 11.55

Параметр	Значение
Кратность трехсекундного тока термической стойкости при номинальном первичном токе, А:	
20; 30	38
40; 100; 150; 300; 400	45
50; 75; 80; 200	40
600; 800	32
1 000; 1 500	27
2 000	20
Кратность тока электродинамической стойкости при номинальном первичном токе, А:	
20; 30	96
40; 100; 150; 300; 400	114
50; 75; 80; 200	102
600; 800	81,5
1 000	68,7
1 500	66,7
2 000	51

Таблица 11.56. Технические характеристики ТТ типа ТПОЛ-10М

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А:	
первичный	20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000
вторичный	1 или 5
Номинальная частота переменного тока, Гц	50
Количество вторичных обмоток	2 или 3
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos \varphi = 0,8$, В · А	1—30
Класс точности вторичной обмотки:	
для измерений	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S
для защиты	5P; 10P
Номинальная предельная кратность тока вторичных обмоток для защиты, не менее, при номинальном первичном токе, А:	
20—400	10
600; 1 000	16
80	20
1 500	23
2 000	19

Опорно-проходные ТТ (табл. 11.57—11.60). Опорно-проходной ТТ предназначен для достройки и ремонта цепей взамен ТТ серии ТПЛ-10, снятых с производства, используются для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защит и управления, для изолирования цепей вторичных соединений от высокого напряжения в комплектных устройствах внутренней установки (КРУ) переменного тока частоты 50 или 60 Гц на класс напряжения до 10 кВ.

Таблица 11.57. Технические характеристики ТТ типа ТПЛК-10

Параметр	Значение
Номинальный ток, А: первичный	10; 15; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000
вторичный	1; 5
Номинальное напряжение, кВ	10 или 11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50 или 60
Число обмоток	2
Номинальная нагрузка при $\cos \varphi = 0,8$ вторичной обмотки, В·А: для защиты	15
для измерений	10
Масса, кг, не более	48
Класс точности вторичной обмотки: для измерений	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S
для защиты	10P
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты при номинальном токе, А:	
10—400	12
600—800	17
1000—2000	20

Таблица 11.58. Характеристики КЗ и испытательное напряжение ТТ типа ТПЛК-10

Параметр	Значение
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А:	
10	2,47
15	3,7
30	7,4
50	14,8
100—600	74,5
800	94,5
1000	118
1500	177
2000	189

Окончание табл. 11.58

Параметр	Значение
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, для номинального первичного тока, А:	
10	0,47
15	0,71
30	1,42
50	2,36
100	4,72
150	7,1
200	9,45
300	14,1
400	18,9
600	28,3
800	37,8
1000	47,2
1500	70,8
2000	74

Примечания: 1. Для трансформаторов на номинальные токи до 300 А включительно трехсекундный ток термической стойкости указан для вторичных обмоток, замкнутых на номинальную нагрузку.

2. Классы точности — в соответствии с заказом.

Таблица 11.59. Технические характеристики ТТ типа ТЛ-10

[illegible]

Окончание табл. 11.59

Параметр		Значение при номинальном первичном токе, А											
		50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000
Масса, кг, при токе: до 31,5 кА 40 кА		45 ± 2 44 ± 2						41 ± 2 42 ± 2				53 ± 2	
Номинальная предель- ная кратность тока для обмотки 10Р		15						17		20	15	10	
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, для конструктивного исполнения	I	2,5	5	7,5	10	15	20	31,5	31,5			—	
	II	—						40			—		
	III	2,5	5	7,5	20			40			—		
Односекундный ток термической стойкости, кА, для конструктивного исполнения	I	10	20			20	31,5				—		
	II	—				40							
	III	10	20		40	20	40				—		
Ток электродинами- ческой стойкости, кА, для конструк- тивного исполнения	I	51					81				—		
	II	—				128							
	III	51			128						—		

Примечание. Исполнение 10Р/10Р возможно на токи от 1000 до 3000 А.

Таблица 11.60. Технические характеристики ТТ типа ТПЛ-10-М

Параметр	ТПЛ-10-М	ТПЛ-10-М-1
Номинальное напряжение, кВ	10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12	12
Номинальная частота переменного тока, Гц	50	50
Номинальный ток, А: первичный	5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750; 800; 1000	10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750; 800; 1000
вторичный	1; 5	
Количество вторичных обмоток	2	3
Класс точности вторичной обмотки: для измерений для защиты	0,2S; 0,5S; 0,5; 0,2; 1 10Р	
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А: для измерений при cosφ = 1 при cosφ = 0,8 (нагрузка активно-индуктивная) для защиты при cosφ = 0,8	1—2,5 3—30 15	

Окончание табл. 11.60

Параметр	ТПЛ-10-М	ТПЛ-10-М-1
Номинальная предельная кратность тока вторичной обмотки для защиты при номинальном первичном токе, А: 5—600 750, 800 1000	13 15 18	
Кратность трехсекундного тока термической стойкости при номинальном первичном токе, А: 5—300 400, 600, 750, 800, 1 000	60 45	
Кратность тока электродинамической стойкости при номинальном первичном токе, А: 5—300 400, 600, 750, 800, 1000	265 200	
Исполнение по вторичным обмоткам	0,5/10P; 0,5S/10P; 0,2S/10P; 10P/10P	0,2S/0,2S/10P; 0,5/10P/10P; 0,2S/10P/10P; 0,5S/10P/10P; 0,5/0,5/10P; 0,5S/0,5S/10P

Примечание: В соответствии с заказом могут поставляться трансформаторы с техническими параметрами, отличающимися от номинальных.

Встроенные ТТ (табл. 11.61, 11.62). Встроенный трансформатор тока (ТВ) предназначен для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защиты и управления в установках переменного тока частоты 50 или 60 Гц. Трансформатор встраивается в масляные выключатели или силовые трансформаторы. Точный учет электрической энергии требует новых встроенных трансформаторов тока высоких классов точности. Существует ряд проблем широкого использования встроенных трансформаторов тока, а именно:

- трудоемкая и продолжительная работа по их установке;
- ограниченный срок выполнения работы;
- нет возможности для использования в релейной защите;
- необходимость регулировки выключателя после работ по замене ТВ и др.

Таблица 11.61. Технические характеристики ТТ типа ТВ

Параметр	Значение
Класс напряжения ввода, кВ	10; 35; 100; 220
Номинальный ток, А: первичный вторичный	50—8000 1 или 5

Окончание табл. 11.61

Параметр	Значение
Класс точности	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1; 3; 10; 5P; 10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	3—100
Ток термической стойкости, кА	7—85,5
Кратность тока термической стойкости	25
Номинальная предельная кратность тока	3—80

Трансформаторы тока типа ТВ-110-IX с литой изоляцией для наружной установки предназначены для работы в воздушной среде и имеют климатическое исполнение УХЛ категории размещения 1.

Таблица 11.62. Вариант исполнения трансформатора тока ТВ-110-IX для защиты

Коэффициент трансформации	Коэффициент трансформации по ответвлениям	Номинальный класс точности	Номинальная нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$, В·А	Номинальная предельная кратность тока	Выводы	Трехсекундный ток термической стойкости, кА	Масса, кг
1000/5	500/5	10P	10	25	И1-И2	25	45 ± 2
	600/5	10P	15	23	И1-И3		
	750/5	10P	20	23	И1-И4		
	1000/5	10P	25	25	И1-И5		

Примечание. Термическая стойкость для данного исполнения указана при обмотке, замкнутой на номинальную нагрузку.

Трансформаторы нулевой последовательности ТТ (табл. 11.63—11.73)

Таблица 11.63. Технические характеристики ТТ типа ТЗЛ-105.1

Номинальное напряжение, кВ	0,66
Испытательное одноминутное напряжение, кВ	3
Номинальная частота, Гц	50 или 60
Коэффициент трансформации	25/1
Односекундный ток термической стойкости вторичной обмотки, А	140
Напряжение на выводах вторичной обмотки (1И1, 1И2) при нагрузке 1 Ом и $\cos\varphi = 1$, при протекании по обмотке для защиты (2И1, 2И2) тока 40 мА частотой 50 Гц, мВ, не менее	10
Масса, кг	3,3 ± 0,2

Таблица 11.64. Технические характеристики ТТ типа ТВ-110-IX для измерений

Коэффициент трансформации	Коэффициент трансформации по ответвлениям	Номинальный класс точности	Номинальная нагрузка, В · А	Выводы	Трехсекундный ток термической стойкости, кА
400/1	100/1	1,0	5	И1-И2	50
	150/1	0,5	5	И1-И3	
	300/1	0,5S	10	И1-И4	
	400/1	0,5S	20	И1-И5	
600/1	200/1	0,5S	5	И1-И2	
	300/1	0,5S	10	И1-И3	
	400/1	0,5S	20	И1-И4	
	600/1	0,5S	10	И1-И5	
1 000/5	500/5	0,5S	15	И1-И2	
	600/5	0,5S	30	И1-И3	
	750/5	0,5S	50	И1-И4	
	1000/5	0,2S	20	И1-И5	

Таблица 11.65. Чувствительность защиты по вариантам соединений ТТ типа ТЗЛ-105.1

Параметр	Количество трансформаторов при их соединении							
	параллельном				последовательном			
	1	2	3	4	2	3	4	5
Чувствительность защиты по первичному току при работе с реле РТЗ-51, А, не более: ток уставки 0,02 ток уставки 0,122	1,5 7	2 12	2,5 15,5	2,8 18,5	1,5 7,5	2 8	2,2 9	2,5 10

Таблица 11.66. Данные по условиям эксплуатации ТТ типа ТЗЛ-105.2

Климатическое исполнение	Рабочее значение температуры, °С (нижнее/верхнее)	
	эксплуатация	транспортировка
У	−45/+45	−50/+50
Т	−10/+55	−50/+60

Таблица 11.67. Технические данные релейной защиты при использовании ТТ типа ТЗЛ-105.1

Тип реле	Используемая шкала реле	Уставка тока срабатывания, А	Чувствительность защиты (первичный ток), А, не более		
			при работе с одним трансформатором	при последовательном соединении трансформаторов	при параллельном соединении двух трансформаторов
РТ-140/0,2	0,1—0,2	0,1	8,5	10,2	12,5
РТЗ-51	0,02—0,1	0,03	2,5	3,2	4,8

Таблица 11.68. Технические характеристики ТТ серии ТЗРЛ

Номинальное напряжение, кВ 0,66
 Номинальная частота, Гц 50 или 60
 Односекундный ток термической стойкости вторичной обмотки, А 140

Таблица 11.69. Коэффициент трансформации и масса ТТ серии ТЗРЛ

Тип	Коэффициент трансформации	Масса, кг
ТЗРЛ-70	30/1	6,4
ТЗРЛ-100	30/1	5,5
ТЗРЛ-125	30/1	8,4
ТЗРЛ-200	60/1	9,8

Таблица 11.70. Технические данные релейной защиты при использовании ТТ серии ТЗРЛ

Тип реле	Используемая шкала реле	Уставка тока срабатывания, А	Чувствительность защиты (первичный ток), А, не более		
			при работе с одним трансформатором	при последовательном соединении двух трансформаторов	при параллельном соединении двух трансформаторов
РТ-140/0,2	0,1—0,2	0,1	25	30	45
РТЗ-51	0,02—0,1	0,03	3	4	4,5

Таблица 11.71. Технические характеристики ТТ типов ТЗЛ-125 и ТЗЛ-200

Параметр	ТЗЛ-125	ТЗЛ-200
Номинальное напряжение, кВ	0,66	
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Коэффициент трансформации	30/1	60/1
Чувствительность защиты по первичному току при работе с реле РТЗ-51 с током уставки 0,032 А и при сопротивлении соединительных проводов 1 Ом, А, не более:		
при работе с одним трансформатором	2,8	2,8
при последовательном соединении двух трансформаторов	3,2	—
при параллельном соединении двух трансформаторов	4,8	—
Односекундный ток термической стойкости вторичной обмотки, А	140	
Масса, кг, не более	8,5	9,8

Таблица 11.72. Технические характеристики ТТ типа ТЗЛК-05.1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Номинальная частота, Гц	50
Коэффициент трансформации	25/1
Односекундный ток термической стойкости вторичной обмотки, А	140
Чувствительность (вторичное напряжение при активной нагрузке 1 Ом) при первичном токе 0,25 А, мВ, не менее	7
Чувствительность защиты в комплекте с реле ЗЗМ-1 типа «Зеро» (первичный ток), А, не более	0,17
Минимальный ток срабатывания, А:	
в комплекте с реле РТЗ-51	
при уставке 30 мА	0,8
при уставке 122 мА	2,9
в комплекте с реле РТ-140/0,2 при уставке 100 мА	3,9
Угловая погрешность тока при активной нагрузке 1 Ом относительно первичного, при первичном токе 0,25 А, не более	30°
Напряжение на выводах вторичной обмотки 1И1 и 1И2 при нагрузке 1 Ом при протекании по дополнительной обмотке 2И1 и 2И2 тока 0,04 А частоты 50 Гц, мВ, не менее	10
Содержание гармонических составляющих во вторичном токе при нагрузке 1 Ом при первичном синусоидальном токе 0,2 А, не более, %	4
Масса, кг	2,4

Таблица 11.73. Технические характеристики ТТ типов ТЗЗ-2 и ТЗЗ-4

Параметр	ТЗЗ-2	ТЗЗ-4
Номинальное напряжение, кВ	0,66	
Номинальная частота, Гц	50 или 60	
Коэффициент трансформации	20/1	
Напряжение подмагничивания, В	110	
Число охватываемых кабелей	2	4
Диаметр охватываемых кабелей, мм	50	
Чувствительность защиты по первичному току при работе с реле РТЗ-51 с током уставки 122 мА и реле РТЗ-50 с током уставки 60 мА, А, не более	3	

Сводные данные по ТТ и ТН приведены в табл. 11.74—11.78.

Таблица 11.74. Однофазные и трехфазные ТН серии НОЛ

Тип	Класс точности	Напряжение обмоток		
		первичной, кВ	основной вторичной, В	дополнительной вторичной, В
Однофазные ТН				
НОЛ.11	3	6	100 и 127	—
НОЛ.12	1	0,38—10	100 и 127	—
НОЛ.08	0,2; 0,5; 1; 3	3—11	100	—
НОЛП	0,2; 0,5; 1; 3	6—11	100	—
НОЛ УХЛ1	0,2; 0,5; 1; 3	3—11	100	—
ЗНОЛ.06	0,2; 0,5; 1; 3	$3/\sqrt{3}—27/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100 или 100/3
ЗНОЛП	0,2; 0,5; 1; 3	$6/\sqrt{3}—11/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100 или 100/3
ЗНОЛ УХЛ1	0,2; 0,5; 1; 3	$3/\sqrt{3}—10,5/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100 или 100/3
ЗНОЛЭ-35	0,5; 1; 3	$35/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3
ЗНОЛЭ-35	0,5; 1; 3	27,5	100	127
ЗНОЛ-35	0,2; 0,5; 1; 3	$35/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3
ЗНОЛ-35	0,2; 0,5; 1; 3	27,5	100	127
ЗНОЛ-35	0,2; 0,5; 1; 3	27,5	100; 127; 230	—
ЗНОЛ-35	0,2; 0,5; 1; 3	$35/\sqrt{3}$	100; 127; 230	—
Трехфазные ТН				
3×ЗНОЛ.06-6, 3×ЗНОЛП-6	—	6—6,9	100	—
3×ЗНОЛ.06-10, 3×ЗНОЛП-10	—	10—11	100	—

Таблица 11.75. Трансформаторы тока для установки в КРУ

Тип	Класс точности	Класс напряжения, кВ	Количество вторичных обмоток	Номинальный первичный ток, А
ТОП-0,66	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1	0,66	1	1—200
ТШП-0,66	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1	0,66	1	200—2 000
ТНШЛ-0,66	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 1	0,66	1	800—1 000
ТНШ-0,66	10P	0,66	1	15 000—25 000
ТШЛ-0,66	0,5S; 0,5; 10P	0,66	1	2 000—5 000
ТШЛ-0,66-II	0,2S; 0,5S; 0,5	0,66	1	300—2 000
ТОЛ-10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2	50—1 500
ТОЛ-10-1	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2 или 3	5—2 000
ТПЛ-10М	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2 или 3	5—600

Окончание табл. 11.75

Тип	Класс точности	Класс напряжения, кВ	Количество вторичных обмоток	Номинальный первичный ток, А
ТПОЛ-10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2 или 3	20—2 000
ТЛШ-10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2	1 000—5 000
ТЛШ-10-1	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	3 или 4	1 000—4 000
ТШЛ-10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2	2 000—5 000
ТШЛП-10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2	1 000—2 000
ТОЛК-6	1; 10P	6	1	50—600
ТОЛК-10	1; 10P	10	1	50—600
ТОЛК-10-1	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10	2	50—600
ТПЛ	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	20 и 35	2	300—1 500
ТШЛ-20	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	20	2	3 000—18 000
ТОЛ-35 III-II	0,2S; 0,5S; 10P	35	3	15—2 000
ТОЛ-35 III-III	0,2S; 0,5S; 10P	35	3	500—3 000
ТОЛ-35 III-IV	0,2S; 0,5; 1; 3; 10; 10P	35	1	300—1 500
ТОЛ-110	0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 5P; 10P	110	3, 4 или 5	50—2 000

Таблица 11.76. Трансформаторы тока специального исполнения

Тип	Класс напряжения, кВ	Класс точности	Номинальный ток, А	
			первичный	вторичный
ТЛ-10*	10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	50—3000	1 или 5
ТПЛК-10*	10	0,2S; 0,5S; 0,2; 0,5; 10P	10—2000	1 или 5
ТЛК-35**	10	0,2S; 0,5S; 0,5; 10P	150—3000	1 или 5
ТВ-10-I	10	0,5	6000	5
ТВ-10-II	10	0,5	5000; 6000	5
ТВ-10-III	10	0,5	6000	5
ТВ-10-IV	10	0,5	8000	5
ТВ-10-V	10	3; 10	100—600	5
ТВ-35-I	35	0,5; 1; 3; 10	75—1500	5
ТВ-35-II	35	0,5; 1; 3; 10	50—1500	5
ТВ-35-II-2	35	0,2S	600	5
ТВ-35-II-3	35	0,2S; 0,5S; 0,5	100—600	5 или 1
ТВ-35-II-4	35	0,2S; 0,5S; 0,5	100—300	5
ТВ-35-II-5	35	0,2S; 0,5S; 0,5; 1	75—300	5 или 1
ТВ-35-II-6	35	0,2S	400—1000	5
ТВ-35-II-7	35	0,5	300	5
ТВ-35-III	35	0,5; 1; 3; 10	50—3000	5
ТВ-35-IV	35	0,5; 1	600—3000	5 или 1
ТВ-35-V	35	0,5; 1; 3; 10	100—2000	5

Окончание табл. 11.76

Тип	Класс напряжения, кВ	Класс точности	Номинальный ток, А	
			первичный	вторичный
ТВ-35-VI	35	0,5	200—600	5
ТВ-110-I	110	0,5; 1; 3; 10	75—1200	5
ТВ-110-I-1	110	0,5S	1000	5
ТВ-110-I-2	110	0,5S	600	5
ТВ-110-I-3	110	0,5S	600; 750	5
ТВ-110-I-5	110	0,5S; 0,5; 1	200—600	5
ТВ-110-I-6	110	0,5S; 0,5	200—600	5
ТВ-110-II	110	0,5; 1; 3; 10	75—2000	5 или 1
ТВ-110-III	110	0,5; 1; 3; 10	75—3000	5 или 1
ТВ-110-IV	110	0,5; 1; 3; 10	100—3000	5 или 1
ТВ-110-VI	110	0,5S	300—600	5
ТВ-110-VII	110	0,5; 1; 3	400—1000	5
ТВ-110-VIII	110	0,5	400—1000	5
ТВ-110-IX УХЛ1	110	0,2S; 0,5S; 0,5; 1	100—1000	5 или 1
ТВ-220-I	220	0,5; 1; 3; 10	200—2000	5 или 1
ТВ-220-II	220	0,5; 1; 3; 10	600—3000	5 или 1
ТВ-220-III	220	0,5; 1	100—3000	5
ТВ-220-V	220	0,5; 1; 3	200—2000	5

* Количество вторичных обмоток 2 или 3.

** Количество вторичных обмоток 2, 3 или 4.

Таблица 11.77. Защитные трансформаторы тока нулевой последовательности на класс напряжения изоляции 0,66 кВ

Тип	Тип реле	Ток чувствительности, А
ТЗЛМ	РТ-140/0,2	8,5
	РТЗ-51	2,5
ТЗРЛ-70, ТЗРЛ-100,	РТ-140/0,2	25
ТЗРЛ-125, ТЗРЛ-200	РТЗ-51	3
ТЗЛ-1 05,1	РТ-140/0,2	7
	РТЗ-51	1,5
ТЗЛК05,1	РТ-140/0,2	3,9
	РТЗ-51	0,8
	ЗЗМ-1 типа «Зеро»	0,17
ТЗЛЭ-125	РТЗ-51	2,8
ТЗЛ-200	РТЗ-51	2,8
ТЗЗ-2	РТЗ-50	3
ТЗЗ-4	РТЗ-50	3

Таблица 11.78. Замена трансформаторов

Типы заменяемых трансформаторов	Типы заменяющих трансформаторов ОАО «СЗТТ»
Трансформаторы тока	
ТК-20; ТК-40; Т-0,66; ТШ-0,66	ТОП-0,66; ТШП-0,66
ТШН-0,66	ТШЛ-0,66-11
ТДЗЛК-0,66; ТЗЛК-0,66	ТЗЛ1; ТЗЛМ1
ТДЗЛК-0,66-1	ТЗЛМ-1-1
ТДЗРЛ-0,66	ТЗРЛ
ТДЗЛВ 10	ТЗЛМ-600
ТЛК-10; ТЛО-10	ТОЛ-10-1
Трехобмоточные ТЛО-10; ТЛК-10(3)-5,7	ТОЛ-10-1-7(8)
ТПФ-10; ТПФМ-10; ТПОФ-10; ТПОФД-10; ТПК-10; ТЛП-10-2; ТЛП-10-3	ТПОЛ-10
ТПЛ-10; ТПЛМ-10; ТПЛ-10с	ТПЛ-10М
ТПШЛ-10	ТЛШ 10
ТПОЛ-20	ТПЛ 20
ТЛП-10-4	ТЛ-10
ТВЗМ-35; ТФМ-35; ТФМД-35; ТБМО-35	ТОЛ-35
ТФЗМ-110; ТОГ-110; ТМБО-110; ТФМ-110; ТГФ-110; Тg145; IMB145	ТОЛ-110
ТНП-2	ТЗЗ-2
ТНП-4	ТЗЗ-4
Трансформаторы напряжения	
НОМ-6	НОЛ.08-6; НОЛП-6; НОЛ-6УХЛ-1
НОМ-10	НОЛ.08-10; НОЛП-10; НОЛ-10УХЛ-1
НТМК-6; НТМИ-6; НАМИ-6; НАМИТ-10(6)	3×ЗНОЛ.06-6; 3×ЗНОЛП-6
НТМК-10; НТМИ-10; НАМИ-10; НАМИТ-10	3×ЗНОЛ.06-10; 3×ЗНОЛП-10
ЗНОМ-15	ЗНОЛ.06-15
ЗНОМ-20	ЗНОЛ.06-20
ЗНОМ-24	ЗНОЛ.06-24
ЗНОМ-35	ЗНОЛ-35

11.5.2. Трансформаторы тока серии ТТИ

Конструкция ТТ (табл. 11.79, 11.80) делает невозможным доступ ко вторичной обмотке, обеспечивает безопасность при эксплуатации, позволяет устанавливать в качестве первичной обмотки кабели и шины различных сечений и конфигураций. Корпус ТТ сделан из самозатухающей пластмассы, масса и габариты на 10—20% меньше аналогичных ТТ других отечественных производителей.

Трансформаторами ТТИ (Международная электротехническая компания ИЭК) заменяют трансформаторы тока типов Т 0,66; ТШ 0,66; ТОП 0,66; ТШП 0,66.

Области применения ТТ серии ТТИ:

- в схемах учета электроэнергии при расчетах с потребителями (класс точности — 0,5);
- в схемах коммерческого учета электроэнергии (0,5S);
- для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам или устройствам защиты и управления.

Таблица 11.79. Технические характеристики ТТ серии ТТИ

Параметр	ТТИ-А	ТТИ-30	ТТИ-40	ТТИ-60	ТТИ-85	ТТИ-100	ТТИ-125
Номинальный первичный ток при $U_{ном}$, А	5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80, 100, 120, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000	150, 200, 250, 300	300, 400, 500, 600	600, 750, 800, 1000	750, 800, 100, 1200, 1500	1000, 1200, 1250, 1500, 1600, 2000, 2500, 3000	1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000
Номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А	5; 10	5; 10	5; 10	10; 15	15	15	15
Класс точности трансформатора	0,5; 0,5S	0,5; 0,5S	0,5; 0,5S	0,5	0,5	0,5	0,5
Масса, кг	0,6	0,6	0,38	0,6	0,75—1,02	0,8—1,16	1,0—2,2

Таблица 11.80. Пределы допускаемых погрешностей вторичных обмоток ТТ для измерений и учета

Класс точности	Первичный ток, % $I_{ном}$	Предел допускаемой погрешности		Предел нагрузки, % $I_{ном}$
		токовой, %	угловой, мин	
0,5S	1	$\pm 1,5$	$\pm 90' \pm 2,7$ срад	25—100
	5	$\pm 0,75$	$\pm 45' \pm 1,35$ срад	
	20	$\pm 0,5$	$\pm 30' \pm 0,9$ срад	
	100—120	$\pm 0,5$	$\pm 30' \pm 0,9$ срад	
0,5	5	$\pm 1,5$	$\pm 90' \pm 2,7$ срад	25—100
	20	$\pm 0,75$	$\pm 45' \pm 1,35$ срад	
	100—120	$\pm 0,5$	$\pm 30' \pm 0,9$ срад	

Конденсаторы и конденсаторные установки

12.1. Конденсаторы серий КМ, КС, КСО, КСК

Таблица 12.1. Технические характеристики конденсаторов (для $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
серий КМ, КС, КСО, КСК

Тип	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Емкость, мкФ	Высота Н, мм
<i>I серия</i>				
КМ1-0,38-13-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	13	286	404
КМ1-0,50-13-3У3 (1У3, 2У3)	0,5	13	165	404
КМ1-0,66-13-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	13	95	418
КМ1-3,15-2У3	3,15	13	4,2	441
КМ1-6,3-13-2У3	6,3	13	1	471
КМ1-10,5-13-2У3	10,5	13	0,4	526
КМ2-0,38, 26-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	26	572	719
КМ2-0,50-26-3У3 (1У3, 2У3)	0,5	26	330	719
КМ2-0,66-26-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	26	190	733
КМ2-3,15-26-2У3	3,15	26	8,4	756
КМ2-6,3-26-2У3	6,3	26	2	786
КМ2-10,5-26-2У3	10,5	26	0,8	841
КС2-1,05-50-2У3	1,05	50	145	733
КС2-6,3-50-2У3	6,3	50	4	786
КС2-10,5-50-2У3	10,5	50	1,4	841
<i>II серия</i>				
КС1-0,23-6,5-3У3 (1У3, 2У3)	0,23	6,5	391	404
КС1-0,38-18-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	18	397	404
КС1-0,50-18-3У3 (1У3, 2У3)	0,5	18	229	404
КС1-0,66-20-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	20	146	418
КС2-0,23-13-3У3 (1У3, 2У3)	0,23	13	783	719
КС2-0,38-36-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	36	794	725
КС2-0,50-36-3У3 (1У3, 2У3)	0,5	36	488	725
КС2-0,66-40-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	40	292	733

Продолжение табл. 12.1

Тип	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Емкость, мкФ	Высота Н, мм
III серия				
КС1-0,23-9-3У3 (1У3, 2У3)	0,23	9	542	410
КС1-0,38-25-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	25	552	410
КС1-0,66-25-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	25	183	418
КС1-1,05-37,5-2У3 (1У3)	1,05	37,5	105	418
КС1-3,15-37,5-2У3 (1У3)	3,15	37,5	12	441
КС1-6,3-37,2-2У3 (1У3)	6,3	37,5	3	471
КС1-10,5-37,5-2У3 (1У3)	10,5	37,5	1	526
КС1-0,38-25-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,38	25	552	472
КС1-0,66-25-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,66	25	183	466
КС1-1,05-37,5-2ХЛ1	1,05	37,5	108	466
КС1-3,15-37,5-2ХЛ1	3,15	37,5	39,9	466
КС1-6,3-37,5-2ХЛ1	6,3	37,5	3	506
КС1-10,5-37,5-2ХЛ1	10,5	37,5	1	546
КС2-0,23-18-3У3 (1У3, 2У3)	0,23	18	1084	725
КС2-0,38-50-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	50	1104	725
КС2-0,66-50-3У3 (1У3, 2У3)	0,66	50	336	739
КС2-1,05-75-2У3 (1У3)	1,05	75	216	739
КС2-3,15-75-2У3 (1У3)	3,15	75	24	756
КС2-6,3-75-2У3 (1У3)	6,3	75	6	786
КС2-10,5-75-2У3 (1У3)	10,5	75	2	841
КС2-0,38-50-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,38	50	1104	787
КС2-0,66-50-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,66	50	366	781
КС2-3,15-75-2ХЛ1	3,15	75	24	781
КС2-6,3-75-2ХЛ1	6,3	75	6	821
КС1-10,5-75-2ХЛ1	10,5	75	2	861
IV серия				
КСО-0,23-4-3У3 (1У3, 2У3)	0,23	4	241	259
КСО-0,38-12,5-3У3 (1У3, 2У3)	0,38	12,5	276	259
КСО-0,66-12,5(1У3, 2У3)	0,66	12,5	91	273
КСО-3,15-25-2У3 (1У3)	3,15	25	8	296
КСО-6,3-25-2У3 (1У3)	6,3	25	2	326
КСО-10,5-25-2У3 (1У3)	10,5	25	0,7	381
КСО-3,15-50-2У3(1У3)	3,15	50	16	441
КС1-6,3-50-2У3 (1У3)	6,3	50	4	471
КС1-10,5-50-2У3 (1У3)	10,3	50	1,4	526
КС2-3,15-100-2У3 (1У3)	3,15	100	32	756
КС2-6,3-100-2У3 (1У3)	6,3	100	8	786
КС2-10,5-100-2У3 (1У3)	10,5	100	2,8	841

Окончание табл. 12.1

Тип	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Емкость, мкФ	Высота Н, мм
V серия				
КСК1-0,38-30-3УЗ (2УЗ)	0,38	30	662	410
КСК1-0,40-33 1/3-3УЗ (2КЗ)	0,4	33	663	410
КСК1-0,66-40-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,66	40	292	472
КСК1-1,05-63-3ХЛ1	1,05	63	182	472
КСК1-3,15-75-2ХЛ1	3,15	75	24	466
КСК1-6,3-75-2ХЛ1	6,3	75	6	506
КСК1-10,5-75-2ХЛ1	10,5	75	2	546
КСК2-0,66-80-3ХЛ1 (2ХЛ1)	0,66	80	585	787
КСК2-3,15-150-2ХЛТ	3,15	150	48	787
КСК2-1,05-125-2ХЛТ	1,05	125	361	787
КСК2-6,3-150-2ХЛ1	6,3	150	12	821
КСК2-10,5-150-2ХЛ1	10,5	150	4	861

Примечание. Условное обозначение конденсаторов: XXXX — тип; X — номинальное напряжение, кВ; X — номинальная мощность, квар; X — конструктивное исполнение в зависимости от качества изолированных выводов (1, 2, 3); XX — вид климатического исполнения.

Таблица 12.2. Номинальные напряжения и мощности единичных конденсаторов

U _{НОМ} , кВ	Номинальная мощность, квар															
	II серия			III серия				IV серия				V серия				
	KC1*		KC2*	KC1		КСО		KC1	KC2		КСК1**		КСК2**			
	Климатическое исполнение															
	У1	У3	У1	У3	У1	У3; ХЛ1	У1	У3; ХЛ1	У1; У3	У1	У3	У1	У3	У3	У1; ХЛ1	У1; ХЛ1
0,23	6,5	6,5	13	13	9	9	18	18	4	—	—	—	—	10	—	—
0,38	14	18	28	36	20	25	40	50	12,5	—	—	—	—	30		
0,4														33/1/3		
0,5	14	18	28	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	80
0,66; 0,69	16	20	32	40	20	25	40	50	12,5	—	—	—	—	—		
1,05	—	20	32	40	30	37,5	60	75	—	37,5	50	75	100	—	63	125
3,15— 11	—	20	32	40	30	37,5	60	75	25	37,5	50	75	100	—	75	150

* Для внутренних установок.

** Для наружных установок.

12.2. Конденсаторные установки серий УКЛН, УКЛ(П), УКЛ(ПН), УКБН, УК, УКЛ(П)НТ, УКУМ, УКЛ

Таблица 12.3. Технические характеристики конденсаторных установок климатического исполнения УЗ

Тип	$I_{\text{ном}}$ одной фазы, А	Число ступеней	Габариты, м	Масса, кг
Установки 0,38 кВ со ступенью регулирования 50 квар				
УКЛН-0,38-150-50	228	3	1,22×0,53×1,66	335
УКПН-0,38-300-50	456	6	1,92×0,53×1,66	575
УКЛН-0,38-450-50	684	9	2,62×0,53×1,66	820
Установки 0,38 кВ со ступенчатым ручным регулированием				
УКЛ(П)-0,38-216	336	2	1,92×0,5×1,66	607
УКЛ(П)-0,38-300	458			
УКЛ(П)-0,38-324	488	3	2,62×0,5×1,66	875
УКЛ(П)-0,38-450	686			
УКЛ(П)-0,38-432	656	4	3,3×0,5×1,66	1145
УКЛ(П)-0,38-600	916			
Установки 0,38 кВ с автоматическим регулированием со ступенями регулирования 108 и 150 квар				
УКЛ(ПН)-0,38-300-150	458	2	1,92×0,5×1,66	612
УКЛ(ПН)-0,38-216-108	336			
УКЛ(ПН)-0,38-450-150	686	3	2,6×2×0,5×1,66	880
УКЛ(ПН)-0,38-324-108	488			
УКЛ(ПН)-0,38-600-150	916	4	3,32×0,5×1,66	1150
УКЛ(ПН)38-432-108	656			
Установки 0,38 кВ с автоматическим регулированием со ступенью 50 квар				
УКБН-0,38-100-50	—	2	0,8×0,44×1,025	195
УКБН-0,38-200-50	—	4	0,8×0,44×1,81	365
УКБН-0,38-300-50	—	6	0,8×0,44×2,6	530
Установки 0,38 кВ нерегулируемые				
УК-0,38-75	114	—	0,7×0,5×1,26	150
УК-0,38-150	228	—	0,7×0,65×1,66	245
Установки 0,66 кВ с автоматическим регулированием по напряжению и току со ступенями регулирования 240 квар				
УКЛ(П) НТ-0,66-240	—	1	1,2×0,5×1,66	370
УКЛ(П) НТ-0,66-480	—	2	1,9×0,5×1,66	640
УКЛ(П) НТ-0,66-720	—	3	2,6×0,5×1,66	910

Примечание. УК — установка конденсаторная; Л и П — размещение ячейки ввода — левое или правое; Н — регулирование по напряжению; Б — бесшкафная установка.

Таблица 12.4. Технические характеристики конденсаторных установок

Тип	Номинальная мощность, квар	Напряжение, кВ	Количество конденсаторных ячеек	Высота, мм	Масса, кг
УКМ-6,3-400У1	400	6,3	2	2060	900
УКМ-10,5-400У1	400	10,5	2	2060	910
УКМ-6,3-600У1	600	6,3	3	2060	1185
УКМ-10,5-600У1	600	10,5	3	2060	1200
УКЛ-6,3-450У1	450	6,3	1	1800	700
УКЛ-6,3-900У1	900	6,3	2	1800	950
УКЛ-6,3-1350У1	1350	6,3	3	1800	1200
УКЛ-6,3-1800У1	1800	6,3	4	1800	1450
УКЛ-10,5-450У1	450	10,5	1	1800	700
УКЛ-10,5-900У1	900	10,5	2	1800	950
УКЛ-10,5-1350У1	1350	10,5	3	1800	1200
УКЛ-10,5-1800У1	1800	10,5	4	1800	1450
УК-6,3-300Л(П) УЗ	300	6,3	3	1800	670
УК-10,5-300Л(П) УЗ	300	10,5	3	1800	670
УК-6,3-450Л(П) УЗ	450	6,3	3	1800	670
УК-10,5-450Л(П) УЗ	450	10,5	3	1800	670
УК-6,3-675Л(П) УЗ	675	6,3	4	1800	915
УК-10,5-675Л(П)УЗ	675	10,5	4	1800	915
УК-6,3-600Л(П)УЗ	600	6,3	5	1800	1160
УК-6,3-900Л(П) УЗ	900	6,3	5	1800	1160
УК-10,5-600Л(П) УЗ	600	10,5	5	1800	116
УК-10,5-900Л(П)УЗ	900	10,5	5	1800	1160
УК-6,3-750Л(П) УЗ	750	6,3	6	1800	1450
УК-10,5-750Л(П) УЗ	750	10,5	6	1800	1405
УК-6,3-1125Л(П) УЗ	1125	6,3	6	1800	1405
УК-10,5-1125Л(П) УЗ	1125	10,5	6	1800	1405

Примечание. УК — установка конденсаторная; М — модернизированная; Л — размещение ячеек ввода слева: номинальное напряжение, кВ; номинальная мощность, квар; климатическое исполнение и категория размещения.

12.3. Конденсаторы КПС, комплектные конденсаторные установки УКМФ71, УК, шкафы ШК-85 (ОАО «Электроинтер», г. Серпухов)

Комплектные конденсаторные установки регулируемые, низкого напряжения, с фильтрацией высших гармоник, типа УКМФ 71 (табл. 12.5, 12.6) предназначены для фильтрации высших гармоник, снижения коэффициента несинусоидальности питающего напряжения и тока, повышения коэф-

фициента мощности электроустановок промышленных предприятий и распределительных сетей различных объектов, а также для автоматического регулирования мощности.

Таблица 12.5. Основные технические характеристики конденсаторных установок типа УКМФ 71

Номинальное напряжение, В	400
Частота, Гц	50
Коэффициент несинусоидальности	3,6
Температура окружающего воздуха, °С.....	От –10 до +45
Степень защиты	IP21, IP54

Таблица 12.6. Технические характеристики комплектных конденсаторных установок типа УКМФ 71, регулируемых НН с фильтрацией высших гармоник

Тип	Мощность, квар	Количество ступеней	Мощность ступеней	Ток, А	Сечение медного кабеля для ввода, мм	Масса, кг
УКМФ 71-0,4-25-25-УЗ	25	1	1×25	36	3×16	160
УКМФ 71-0,4-50-25-УЗ	50	2	2×25	72	3×50	200
УКМФ 71-0,4-75-25-УЗ	75	3	1×25 + 1×50	108	3×70	250
УКМФ 71-0,4-100-25-УЗ	100	4	2×25 + 1×50	144	3×120	280
УКМФ 71-0,4-125-25-УЗ	125	5	1×25 + 2×50	180	3×185	315
УКМФ 71-0,4-150-25-УЗ	150	6	2×25 + 2×50	217	3×240	340
УКМФ 71-0,4-175-25-УЗ	175	7	1×25 + 3×50	253	2×(3×95)	380
УКМФ 71-0,4-200-25-УЗ	200	8	2×25 + 3×50	289	2×(3×120)	400
УКМФ 71-0,4-250-25-УЗ	250	5	2×25 + 4×50	361	2×(3×185)	460
УКМФ 71-0,4-300-25-УЗ	300	6	2×25 + 5×50	433	2×(3×240)	520

Конденсаторы косинусные низковольтные серии КПС (табл. 12.7) — однофазные конденсаторы предназначены для компенсации реактивной мощности серии КПС, изготавливаются из металлизированной пленки (полипропилен) или металлизированной бумаги, оснащены защитой от повышенного давления, являются самовосстанавливающимися.

Использование высококачественных материалов контролируется в процессе производства, что позволяет применять эти конденсаторы в тех областях, где необходима надежность и безопасность.

Однофазные конденсаторы типа КПС являются наиболее современным решением для производства оборудования по компенсации реактивной мощности в промышленности и сельском хозяйстве.

Таблица 12.7. Технические характеристики конденсаторов косинусных низковольтных типа КПС

Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, квар	Емкость, мкФ	Габариты, мм
230	50	1,67	100	60×132
400	50	3,33	66,3	60×132
400	50	4,17	83	60×132
415	50	3,3	61,1	60×132
415	50	4,17	77	60×132
450	50	3,33	52,4	60×132
450	50	4,17	65,6	60×132
500	50	3,33	42,4	60×132
525	50	3,33	38,5	60×132
550	50	3,33	35,1	60×132
550	50	4,17	43,9	60×132

Комплектные конденсаторные установки нерегулируемые, низкого напряжения (табл. 12.8) предназначены для повышения коэффициента мощности осветительных сетей переменного тока с газоразрядными лампами высокого давления.

Таблица 12.8. Технические характеристики конденсаторных установок типа УК

Тип	Мощность, квар	Количество конденсаторов	Габариты (L×B×H), мм	Масса, кг
УК 1-0,4-10 УЗ	10	1	100×300×250	11
УК 1-0,4-20 УЗ	20	1	200×300×250	22
УК 1-0,4-33,3 УЗ	33,3	1	130×430×450	25
УК 1-0,4-36 УЗ	36	1	130×430×450	28
УК 1-0,4-37,5 УЗ	37,5	1	130×430×450	30
УК 2-0,4-40 УЗ	40	2	345×430×500	52
УК 2-0,4-67 УЗ	67	2	345×430×500	59
УК 3-0,4-75 УЗ	75	3	550×430×500	78
УК 3-0,4-100 УЗ	100	3	550×430×500	87
УК 4-0,4-133 УЗ	133	4	755×430×500	115
УК 5-0,4-150 УЗ	150	5	755×430×950	145
УК 6-0,4-200 УЗ	200	6	755×430×1250	185

Шкафы распределительные с компенсацией реактивной мощности серии ШК-85 (табл. 12.9) предназначены для приема и распределения электрической энергии при напряжении 380 В, трехфазного переменного тока, частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью, для защиты линий от перегрузок и коротких замыканий, компенсации реактивной мощности в электрических сетях с газоразрядными лампами высокого давления, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей.

Шкафы распределительные серии ШК-85 широко применяются в различных областях промышленности и сельского хозяйства.

Таблица 12.9. Технические характеристики шкафов серии ШК-85

Тип	Напряжение, В	Ток короткого замыкания, кА	Ток, А	Мощность, квар	Габариты ($L \times B \times H$), мм	Масса, кг
ШК-8503-4474 АУЗ	380	15	250	133	930×585×1450	215
ШК-8504-4474 АУЗ	380	15	250	133	930×585×1450	215
ШК-8505-4474 АУЗ	380	15	250	133	930×585×1450	200

12.4. Установки конденсаторные высокого и низкого напряжения, конденсаторы электротермические (ОАО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод»)

Установки конденсаторные высокого напряжения, модернизированные. Компенсация реактивных нагрузок в сети потребителя позволяет:

- снизить плату поставщику за потребленную электроэнергию;
- уменьшить токовые нагрузки элементов системы электроснабжения (кабельных и воздушных линий, трансформаторов), обеспечив возможность расширения производства;
- улучшить качество электроэнергии за счет уменьшения отклонений напряжения от номинального значения.

Тип конденсаторных установок ВН, модернизированных: УКЛ(П) 56М и УКЛ(П) 57М. Выпускаются на напряжения 6,3 и 10,5 кВ, мощностью от 450 до 2250 квар, со степенью защиты IP32 (для УЗ) и IP44 (для У1).

Основное назначение: повышение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий и распределительных сетей. Комплекуются конденсаторами КЭПЗ-6,3-225-3У2.

Установки конденсаторные высокого напряжения регулируемые предназначены для автоматической компенсации реактивной мощности электроустановок промышленных предприятий и распределительных сетей напряжением 6,3 кВ, частотой 50 Гц. Установки комплектуются конденсаторами КЭПЗ-6,3-225-3У2.

Тип конденсаторных установок ВН: УКРМ(57). Выпускаются на напряжения 6,3 и 10,5 кВ, мощностью от 300 до 3150 квар, со степенью защиты IP32, климатическим исполнением УЗ.

В обозначениях установки: буквы УК — установка конденсаторная; Р — регулируемая; М — регулирование по мощности; число 56 — с разъединителем с заземляющими ножами; число 57 — без разъединителя.

Конденсаторные установки низкого напряжения, регулируемые, многоступенчатые, модифицированные. Основными потребителями электроэнергии на промышленных предприятиях являются такие индук-

тивные приемники, как асинхронные электродвигатели и трансформаторы. Их работа связана с потреблением реактивной энергии для создания электромагнитных полей. Реактивная энергия не производит полезной работы, а, циркулируя между приемником и источником тока, приводит к дополнительной загрузке линий электропередачи и генераторов и, следовательно, снижает коэффициент мощности сети. Все это увеличивает потери электроэнергии на нагревание кабелей и проводов сети, а также обмоток электрических машин, ведет к необходимости повышения полной мощности генераторов и трансформаторов на станциях, увеличивает колебания напряжения сети, а также влечет за собой неполное использование мощности первичных двигателей.

Предназначены для повышения коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий и распределительных сетей частоты 50 Гц, а также для автоматического регулирования реактивной мощности.

Тип конденсаторных установок: УKM63-0,4. Выпускаются на напряжение 0,4 кВ, мощностью от 50 до 600 квар, со степенью защиты IP21. Комплекуются конденсаторами типа КПС.

Установки конденсаторные регулируемые низкого напряжения, фильтровые (табл. 12.10) предназначены для автоматической компенсации реактивной мощности нагрузок потребителей в сетях общего назначения напряжением 0,4 кВ, частоты 50 Гц, при использовании электрической нагрузки с нелинейной вольтамперной характеристикой.

Наличие конденсаторов в сетях электропитания с нелинейными нагрузками может провоцировать возникновение резонансных явлений и, как следствие, повышение тока и перегрев конденсаторов.

Для предотвращения возникновения резонансных режимов необходимо использовать установки, представляющие собой последовательный резонансный контур, образованный дросселем, включенным последовательно с конденсаторами. Такие установки называются рассогласованными фильтрами высших гармоник. Целью такого подключения является снижение резонансной частоты сети до значения ниже наименьшей высшей гармоники. Мощность дросселя выражается в процентах от мощности конденсатора. Чаще всего используют 5,6%- , 7%- и 14%-ные дроссели. Каждому значению дросселя соответствует своя резонансная частота. Например, для 7%-ного рассогласования резонансная частота составляет 189 Гц. Это значит, что для всех гармоник, частота которых лежит выше 189 Гц, сеть представляет собой индуктивное сопротивление, и для них возникновение резонансного режима маловероятно. Тем самым решается проблема ремонта дорогостоящего оборудования, вышедшего из строя в результате воздействия токов высших гармоник.

Таблица 12.10. Технические характеристики установок конденсаторных серии УКМФ1 (2, 3)

Тип	Номинальная мощность, квар	Количество и мощность ступеней	Габариты, мм, не более
УКМФ1 (2,3)-0,4-50-25 УЗ	50	2×25	800×600×1200
УКМФ1 (2,3)-0,4-75-25 УЗ	75	25 + 50	
УКМФ1 (2,3)-0,4-100-50 УЗ	100	2×50	
УКМФ1 (2,3)-0,4-100-25 УЗ		2×25 + 50	800×600×1600
УКМФ1(2,3)-0,4-125-25 УЗ	125	25 + 2×50	
УКМФ1 (2,3)-0,4-150-25 УЗ	150	2×25 + 2×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-150-50 УЗ		3×50	800×600×2000
УКМФ1(2,3)-0,4-175-25 УЗ	175	25 + 3×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-200-50 УЗ	200	4×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-200-25 УЗ		2×25 + 3×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-250-25 УЗ	250	2×25 + 4×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-250-50 УЗ		5×50	
УКМФ1(2,3)-0,4-300-50 УЗ	300	6×50	

Установки выпускаются на напряжение 0,4 кВ (частотой 50 Гц), работают в диапазоне температур от 0 до +40 °С, степень защиты — IP21.

Конденсаторы электротермические (табл. 12.11, 12.12) предназначены для повышения коэффициента мощности электротермических установок частотой от 0,5 до 10 кГц.

Таблица 12.11. Технические характеристики электротермических конденсаторов

Тип	Номинальная мощность, квар	Емкость, мкФ	Тангенс угла потерь	Габариты корпуса, мм	Масса, кг, не более
<i>С чистопленочным диэлектриком</i>					
ЭЭВП-0,8-0,5 УЗ, ТЗ	300	149,3	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×390	25
ЭЭВП-1-0,5 УЗ, ТЗ		95,5			
ЭЭВП-1,6-0,5 УЗ, ТЗ		37,3			
ЭЭВП-2-0,5 УЗ, ТЗ		23,9			
ЭЭВП-0,8-1 УЗ, ТЗ	450	112	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×390	25
ЭЭВП-1-1 УЗ, ТЗ		71,7			
ЭЭВП-1,6-1 УЗ, ТЗ		28			
ЭЭВП-2-1 УЗ, ТЗ		17,9			
ЭЭВП-0,5-2,4 УЗ, ТЗ	550	146	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×390	25
ЭЭВП-0,8-2,4 УЗ, ТЗ		57			
ЭЭВП-1-2,4 УЗ, ТЗ		36,5			
ЭЭВП-1,6-2,4 УЗ, ТЗ		14,25			
ЭЭВП-2-2,4 УЗ, ТЗ		9,1			
ЭЭВП-0,5-4 УЗ, ТЗ		87,58			

Окончание табл. 12.11

Тип	Номинальная мощность, квар	Емкость, мкФ	Тангенс угла потерь	Габариты корпуса, мм	Масса, кг, не более
ЭЭВП-0,8-4 УЗ, ТЗ	550	34,21	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×390	25
ЭЭВП-1-4 УЗ, ТЗ		21,89			
ЭЭВП-1,6-4 УЗ, ТЗ		8,55			
ЭЭВП-2-4 УЗ, ТЗ		5,47			
ЭЭВП-0,5-10 УЗ, ТЗ	650	41,4	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×390	25
ЭЭВП-0,8-10 УЗ, ТЗ		16,17			
С чистопленочным диэлектриком повышенной мощности					
ЭЭПВ-0,8-0,5-4 УЗ	400	199	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×450	28
ЭЭПВ-1-0,5-4 УЗ		127,4			
ЭЭПВ-1,6-0,5-4 УЗ		49,75			
ЭЭПВ-2-0,5-4 УЗ		31,85			
ЭЭПВ-0,8-1-4 УЗ	550	136,8	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×450	28
ЭЭПВ-1-1-4 УЗ		87,6			
ЭЭПВ-1,6-1-4 УЗ		34,2			
ЭЭПВ-2-1-4 УЗ		21,9			
ЭЭПВ-0,5-2,4-4 УЗ	700	185,8	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×450	28
ЭЭПВ-0,8-2,4-4 УЗ	850	88,1			
ЭЭПВ-1-2,4-4 УЗ		56,4			
ЭЭПВ-1,6-2,4-4 УЗ		22			
ЭЭПВ-2-2,4-4 УЗ		14,1			
ЭЭПВ-0,5-4-4 УЗ	750	119	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×450	28
ЭЭПВ-0,8-4-4 УЗ		46,65			
ЭЭПВ-1-4-4 УЗ		29,86			
ЭЭПВ-1,6-4-4 УЗ		11,66			
ЭЭПВ-2-4-4 УЗ	850	7,46			
ЭЭПВ-0,5-10-4 УЗ		54,1			
ЭЭПВ-0,8-10-4 УЗ		21			
С бумажно-пленочным диэлектриком для подстройки колебательного контура					
ЭЭВКП-0,8-2,4 УЗ	450	46,65	$2,0 \cdot 10^{-3}$	380×120×456	35
ЭЭВКП-1-2,4 УЗ		29,86			
ЭЭВКП-0,8-4 УЗ		28			
ЭЭВКП-1-4 УЗ		17,9			
ЭЭВКП-0,8-10 УЗ	550	13,68			
С чистопленочным диэлектриком для подстройки колебательного контура					
ЭЭПВП-0,5-2,4-4 УЗ	300	79,62	$0,5 \cdot 10^{-3}$	380×120×300	16
ЭЭПВП-0,8-2,4-4 УЗ		31,1			
ЭЭПВП-1-2,4-4 УЗ		19,9			
ЭЭПВП-0,5-4-4 УЗ		47,8			
ЭЭПВП-0,8-4-4 УЗ		18,66			
ЭЭПВП-0,5-10-4 УЗ		19,1			
ЭЭПВП-0,8-10-4 УЗ		7,46			

Таблица 12.12. Технические характеристики новых электротермических конденсаторов

Тип	Номинальная мощность, квар	Емкость, мкФ	Тангенс угла потерь	Габариты корпуса, мм	Масса, кг, не более
ЭЭПВ1-1,5-0,5-2 УЗ	1500	212	$0,5 \cdot 10^{-3}$	370×165×565	36
ЭЭПВ2-1,5-0,5-2 УЗ	3000	424	$0,5 \cdot 10^{-3}$	370×165×855	70
КЭЭПВ-0,8-1-4 УЗ	2000	497,4	$0,5 \cdot 10^{-4}$	370×165×605	42
КЭЭПВ-2-0,25-4 УЗ	2000	318	$0,5 \cdot 10^{-4}$	370×165×1055	77

Батареи статических конденсаторов (БСК) серии БСК УКТ (табл. 12.13) мощностью от 5 до 200 Мвар, напряжением 6, 10, 35, 110, 220 кВ выпускаются в виде отдельных блоков, на которых располагаются конденсаторы. Батареи комплектуются из отдельных конденсаторов, соединенных параллельно-последовательно. Для комплектации батарей применяются конденсаторы типов КЭП, КЭПФ или КЭС. Конденсаторы выпускаются в однофазном и трехфазном исполнении на номинальное напряжение 1,05—12 кВ, мощностью от 300 до 1000 квар и имеют встроенные предохранители и разрядные резисторы.

Основные технико-экономические преимущества конденсаторов в сравнении с другими компенсирующими устройствами состоят в следующем: малые потери активной мощности; долгий срок службы; простота эксплуатации (ввиду отсутствия вращающихся частей); возможность установки конденсаторов как в сухом неотапливаемом помещении, так и на улице.

Таблица 12.13. Технические характеристики БСК серий БСК УКТ

Мощность номинальная, квар	8 100
Напряжение номинальное, кВ	10,5
Частота, Гц	50
Значения температуры воздуха при эксплуатации, °С:	
рабочие	От –45 до +45
предельные	От –50 до +45
Высота над уровнем моря, м	До 1000
Защита	Предохранители, встроенные в конденсаторы
Всего конденсаторов, шт.	18
Климатическое исполнение	УХЛ2

Конструкция модульная, конденсаторы соединены в двойную звезду. Конденсаторы однофазные КЭПФ-6,6-450-2УХЛ1, 50 Гц, со встроенными предохранителями и разрядными резисторами.

Высоковольтные косинусные конденсаторы мощностью до 1000 квар серии КЭП (табл. 12.14) предназначены для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частотой 50 и 60 Гц, а также для комплектации конденсаторных установок и имеют следующие отли-

чительные особенности: предназначены для работы в условиях как У1, так и УХЛ1; категория размещения — конденсаторы наружного и внутреннего исполнения; пропитаны экологически безопасной жидкостью, не содержащей хлора. Жидкость нетоксична и способна к биохимическому диэлектрическому разложению; уровень изоляции конденсаторов — 22/60, 28/75, 28/95, 38/95 или 50/125 кВ; диапазон: от 500 до 1000 квар, от 6,3 до 15,2 кВ (до 12 кВ — с внутренними предохранителями и без предохранителей по требованию заказчика; свыше 12 кВ — без внутреннего предохранителя).

Таблица 12.14. Технические характеристики конденсаторов серии КЭП на номинальное напряжение 7,3 кВ

Тип	Номинальные		Габариты ($L \times B \times H$), мм	Масса, кг, не более
	емкость, мкФ	мощность, квар		
КЭП4-7,3-500-2У1	29,88	500	345×175×910	77
КЭП4-7,3-550-2У1	32,87	550	345×175×980	85
КЭП5-7,3-600-2У1	35,86	600	345×200×940	90
КЭП5-7,3-650-2У1	38,84	650	345×200×1005	100
КЭП5-7,3-700-2У1	41,83	700	345×200×1090	105
КЭП5-7,3-750-2У1	44,82	750	345×200×1160	112
КЭП6-7,3-800-2У1	47,81	800	345×200×940	120
КЭП6-7,3-850-2У1	50,8	850	345×200×1010	128

Кабели и воздушные линии

13.1. Кабели и провода

Общие технические характеристики кабелей и проводов разных типов приведены в табл. 13.1—13.38.

Таблица 13.1. Электрическое сопротивление изоляции кабеля $R_{из}$

Кабель	$U_{ном}$, кВ	$R_{из}$, пересчитанное при 20 °С, МОм/км
С бумажной пропитанной изоляцией	1 и 3	100
С обедненно-пропитанной изоляцией	6; 10; 20 и 35	200
С бумажной нестекающей изоляцией	6; 10 и 35	200
С изоляцией и с ПВХ	0,66 и 1	7 (0,005)
	3	12 (0,001)
С изоляцией из полиэтилена	6 и 10	50 (0,05)
С резиновой изоляцией	До 6	150 (50)
	10—35	200 (100)
	0,66	50

Примечание. В скобках указано $R_{из}$, измеренное при длительно допустимой температуре нагрева жил кабелей при эксплуатации.

Таблица 13.2. Активные и реактивные сопротивления кабелей

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жилы при 20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км, напряжением, кВ			
	алюминиевой	медной	1	6	10	20
10	2,9	1,79	0,073	0,11	0,122	—
16	1,84	1,12	0,068	0,102	0,113	—
25	1,17	0,72	0,066	0,091	0,099	0,135
35	0,84	0,51	0,064	0,087	0,095	0,129
50	0,59	0,36	0,063	0,083	0,09	0,119
70	0,42	0,256	0,061	0,08	0,086	0,116
95	0,31	0,19	0,06	0,078	0,083	0,11
120	0,24	0,15	0,06	0,076	0,081	0,107
150	0,2	0,12	0,059	0,074	0,079	0,104
185	0,16	0,1	0,059	0,073	0,077	0,101
240	0,12	0,07	0,058	0,071	0,075	—

Таблица 13.3. Типоразмеры силовых кабелей напряжением до 35 кВ

Марка	Число жил	Сечение кабелей, мм ² , при напряжении, кВ						
		0,66	1	2	6	10	20	35
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией								
ААГ, АСГ, СГ, ААШв, ААШп	1	—	10—800	10—625	—	—	25—400	120—300
ААБЛГ, ААБл, ААБ2л, ААБ2Шв, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБ2л, СБ2л, АСБн, СБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ	1	—	10—800	10—625	—	—	—	—
ААПл, ААП2л, ААПлГ, АСП; СП, АСПл, СПл, АСП2л, СП2л, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, ААПлШв	1	—	50—800	35—625	—	—	—	—
ААШв-В, ААП2лШв-В, ААБл-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В, СБн-В, АСБлн-В, АСБ2л-В, АСБн-В, СБ2л-В	1	—	10—500	10—500	—	—	—	—
АСБГ-В, СБГ-В	1	—	10—625	—	—	—	—	—
АСБ2лГ-В, СБ2лГ-В, ААПлГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, СПл-В, АСП2л-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСПГ-В, СПГ-В, ААПл-В, СП2л-В	1	—	240—625	—	—	—	—	—
АСП2лГ-В, СП2лГ-В	1	—	—	240—625	—	—	—	—
АСКл, СКл	1	—	—	240—625	—	—	—	120—300
ААБл, ААБл-В, АСБ, СБ, АСБ-В, СБ-В, АСБл, СБл, АСБл-В, СБл-В, АСП2л, СП2л, АСПл, СКл, АСКл	1*	—	240—800	240—625	—	—	—	—
АСГ, СГ, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБ2л, СБ2л, АСБн, СБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ	2	—	6—150	240—625	—	—	—	—
АСП, СП, АСПл, СПл, АСП2л, СП2л, АСПГ, СПГ	2	—	25—150	240—625	—	—	—	—
АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В, АСБн-В, СБн-В, АСБлн-В, СБлн-В, СБГ-В, АСБ2л-В, СБ2л-В, АСБГ-В	2	—	6—120	240—625	—	—	—	—
АСП-В, СП-В, АСПл-В, СПл-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2л-В	2	—	25—120	240—625	—	—	—	—
ААГ, ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2лШв, ААБ2лШп, ААБлГ, АСПв, ААБ2л, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСБ2лШв, СБ2лШв, АСБ2лГ, СБ2лГ, СГ, АСГ, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн	3	—	6—240	6—240	10—240	16—240	—	—
СПШв	3	—	25—240	—	16—240	16—240	—	—

Продолжение табл. 13.3

Марка	Число жил	Сечение кабелей, мм ² , при напряжении, кВ						
		0,66	1	2	6	10	20	35
СПШ, СБШВ, ААП2Л, ААПЛГ, ААП2ЛШВ, ААП2ЛГ, АСПЛ, АСП, СП, СПЛ, АСПЛ, СП2Л, АСПЛн, СПЛн, АСПГ, АСП2ЛГ, СПГ, АСКЛ, СКЛ, СП2ЛГ	3	—	25— 240	25— 240	16— 240	16— 240	—	—
АОАБ, ОАБ, АОАБ2Л, ААБ2Л, ОАБ2ЛГ, АОАБ2ЛГ, АОСБ, ОСБ, АОСБл, ОСБл, АОСБн, ОСБн, АОСБГ, ОСБГ, АОАШВБ, ОАШВБ	3	—	—	—	—	—	25— 185	120— 150
АОСК, ОСК	3	—	—	—	—	—	25— 185	120
ААШВ-В, ААП2ЛШВ-В, ААБл-В, ААБ2Л-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБн-В, ААГ-В, АСБлн-В, СБлн-В, АСБГ-В, СБГ-В, СБ2Л-В, ААШп-В, АСБ2Л-В, СБл-В, АСБн-В	3	—	6— 120	6— 120	6— 120	—	—	—
ААБВ, ААБВГ	3	—	—	—	10— 240	16— 240	—	—
ААШВ-В, ААБЛГ-В, АСБГ-В, СБГ-В	3	—	185— 240	—	—	—	—	—
ААПл-В, ААПЛГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, СПл-В, СПлн-В, АСПлн-В, АСП2Л-В, СП2Л-В	3	—	25— 150	25— 150	16— 120	—	—	—
АСПГ-В, СПГ-В, АСП2ЛГ-В, СП2ЛГ-В	3	—	185— 240	—	—	—	—	—
ААГ, ААШп, ААШВ, ААБЛГ, ААП2ЛШВ, ААБл, ААБ2Л, АСГ, СГ, АСБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2Л, СБ2Л, АСПШВ, СПШВ, СБШВ, АСБГ-В, СБГ-В	4	—	10— 185	—	—	—	—	—
ААПл, ААП2Л, ААПЛГ, АСП, СП, АСПл, СПШВ, СПл, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, АСП2Л	4	—	16— 185	—	—	—	—	—
ААШВ, ААП2ЛШВ-В, ААБл-В, ААБ2Л-В, АСБн-В, АСБлн-В, СБн-В, АСБ2Л-В, СБ2Л-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В	4	—	10— 120	—	—	—	—	—
АСКЛ, СКЛ	4	—	25— 185	—	—	—	—	—
ААБЛГ-В, ААПл-В, ААПЛГ-В, СП-В, АСП-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2Л-В, СП2Л-В, АСПл-В, СПн-В	4	—	16— 120	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 13.3

Марка	Число жил	Сечение кабелей, мм ² , при напряжении, кВ						
		0,66	1	2	6	10	20	35
Кабели с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом								
ЦААШв, ЦСШв, ЦАСШв	1	—	—	—	—	—	—	120—130
ЦААБл, ЦААБ2л, ЦААБШв, ЦААБШп, ЦААБлГ, ЦААБлн, ЦААПл, ЦААП2л, ЦААПлГ, ЦААПлн, ЦААПлШв, ЦААСПШв, ЦСБн, ЦААШв, ЦАСБ, ЦСБ, ЦАСБГ, ЦСБГ, ЦАСБн, ЦАСБШв, ЦСШв, ЦАСШв, ЦСПШв, ЦСБШв, ЦАСП, ЦАСБл, ЦСБл, ЦАСПГ, ЦСП, ЦСПГ, ЦСПн, ЦАСПл, ЦСПл, ЦАСКл, ЦСКл, ЦААБвГ, ЦАСПн	3	—	—	—	25—185	25—185	—	—
ЦАОСБ, ЦОСБ, ЦАОСБл, ЦОСБл, ЦАОСБГ, ЦОСБГ, ЦАОАБ, ЦОАБ, ЦОАБ2л, ЦАОАБ2л, ЦОАБ2лГ, ЦОАБ2лГ	2	—	—	—	—	—	—	120—150
Кабели с пластмассовой изоляцией								
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГ-ХЛ	1, 2, 3	1,5—50	1,5—240	—	—	—	—	—
	4		1,5—185					
АВВГ, АПВГ, АПсВГ, АПвВГ, АВВГ-ХЛ	1,2,3	2,5—50	2,5—240	—	—	—	—	—
	4		2,5—185					
АВБбШв, ВБбШв, АПБбШв, АПсБбШв, ПсБбШв, АПвБбШв	2	4—50	6—240	—	—	—	—	—
	3		—	6—240	—			
	4		6—185	—	—			
АВАШв, ВАШв, АПвАШв, ПвАШв	3	4—50	6—240	6—240	10—140	—	—	—
	4		6—185	6—185	—			
АВВГ, ВВГ, АПВГ, ПВГ, АПсВГ, ПсВГ, АПвВГ, ПвВГ, АВБбШв, ВБбШв, АПБбШв, ПБбШв, АПсБбШв, ПсБбШв, АПвБбШв, ПвБбШв	3	—	—	—	10—240	—	—	—
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГ-ХЛ, АПВГ, АПсВГ, АПвВГ, АВВГ	5	—	1,5—2,5	—	—	—	—	—
			2,5—3,5					

Продолжение табл. 13.3

Марка	Число жил	Сечение кабелей, мм ² , при напряжении, кВ						
		0,66	1	2	6	10	20	35
Кабели с полиэтиленовой изоляцией								
ПЭПК, АПвВГ, ПвВГ, АПвАШв, ПвАШв	1	—	—	—	—	—	—	70—95
								50—150
Кабели силовые шахтные с поливинилхлоридной изоляцией								
ЭВТ	3	—	50—95	—	25	—	—	—
Кабели для взрывоопасных и химически активных сред								
АВВВ	2	2,5—50	—	—	—	—	—	—
	3—4	2,5—120						
ВВВ	2	1,5—50	—	—	—	—	—	—
	3—4	1,5—95						
Кабели силовые гибкие								
КШВГ-ХЛ, КШВГЭВ-ХЛ	3	—	—	—	10—150	—	—	—
КРПТ, КРПТН, КРПТ-ХЛ	1	2,5—120	—	—	—	—	—	—
	2—3	0,75—120						
КРПГ, КРПГ-ХЛ	2 и 3	0,75—70	—	—	—	—	—	—
КРПГН	3	1,5—10	—	—	—	—	—	—
КРПС, КРПС-ХЛ		2,5—10	—	—	—	—	—	—
КРПСН, КРПСН-ХЛ		2,5—50	—	—	—	—	—	—
КРШК, КРШК-ХЛ		95—150	—	—	—	—	—	—
КШВГ-ХЛ, КШВГЭ-ХЛ		—	—	—	6—50	—	—	—
Кабели с резиновой изоляцией								
СРГ	1	1—240	—	1,5—500	2,5—500	240—400	—	—
	2 и 3	1—185	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 13.3

Марка	Число жил	Сечение кабелей, мм ² , при напряжении, кВ						
		0,66	1	2	6	10	20	35
АСРГ	1	4— 300	—	4— 500	4— 500	240— 400	—	—
	2	4— 250		—	—	—		
	3	2,5— 240		—	—	—		
ВРГ, ВРТГ, НРГ, ВРГ-хл	1—3	1— 240	—	—	—	—	—	—
АВРГ, АНРГ, АВРТГ	1	4— 300	—	—	—	—	—	—
АВРГ-хл	2 и 3	2,5— 300	—	—	—	—	—	—
СРБ2лГ, АСРК2лГ	1	—	—	240, 400, 500	—	—	—	—
СРБГ, АСРБГ	1	—	—	—	95, 240, 400, 500	—	—	—
СРБ, СРБГ, ВРБн, ВРБ, ВРБГ, НРБ, НРБГ, ВРТБ, ВРТБГ, ВРТБн	2 и 3	2,5— 185	—	—	—	—	—	—
АСРБ, АСРБГ, АВРБ, АВРБн	2	4— 240	—	—	—	—	—	—
АВРБГ, АНРБ, АНРБГ, АВРТБ, АВРТБГ, АВРТБн	3	2,5— 240	—	—	—	—	—	—

* Одна основная и две контрольные жилы сечением 1 мм².*Примечание.* Пример обозначения марок кабелей:

1) ЦАОАБ2лГ — кабель с тремя изолированными жилами с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом, каждая из жил в отдельной алюминиевой оболочке с общей броней из стальных лент, с подушкой без наружного покрова;

2) ААБлШв — кабель с алюминиевыми жилами, с бумажной изоляцией, в алюминиевой оболочке, с броней из стальных лент, с подушкой и стальным покровом;

3) АНРБГ — кабель с алюминиевыми жилами, с резиновой изоляцией, с оболочкой из маслостойкой резины, не распространяющей горение, с броней из стальных лент, без наружного покрова;

4) АПБ6Шп — кабель с алюминиевыми жилами с полиэтиленовой изоляцией, с броней из стальных лент, с подушкой и наружными покровами.

Таблица 13.4. Кабели, рекомендуемые для прокладки в воздухе

	Кабель			
	с бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	с пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой
Область применения	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации
Прокладка в помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях и т.п.: сухих сырых, частично затопляемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью сырых, частично затопляемых при наличии среды со средней и высокой коррозионной активностью	ААГ, ААШв ААШв ААШв, АСШв ¹	ААБлГ ААБлГ ААБлГ, ААБ2лШв, ААБлГ ¹ , АСБлГ ¹ , АСБ2лГ ¹ , АСБ2лШв ⁵	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПВГ ¹ , АПВГ ² , АПВсВГ, АПсВГ	АВРГ, АВБ6Шв, АПвВБГ ¹ , АПАШв, АВАШв, АПвБ6Шв ¹ , АПвсБ6Шв, АПсВБГ, АПвсВГ, АПВБГ ¹ , АНРВБ АВРГ, АВБ6Шв, АПвВБГ ² , АПАШв АВАШв, АПвБ6Шв ² , АПвсБ6Шв, АПсВБГ, АПвсВГ, АПВБГ ² , АНРВБ
Прокладка в пожароопасных помещениях	ААГ, ААШв	ААБлГ, ААБлГ, АСБлГ ¹	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АПвсВГ, АНРГ, АСРГ ¹	АВБ6Шв, АПсБ6Шв, АПвсВГ, АВРБГ, АСРБГ ¹
Прокладка во взрывоопасных зонах классов: В-I, В-Ia	СБГ, СБШв, ААШв	—	ВВГ ³ , ВРГ ³ НРГ ³ , СРГ ³	ВБВ, ВБ6Шв, ВВБ6Г, ВВБГ, НРБГ, СРБГ ¹
В-Iг, В-II	ААШв, ААБл, АСБГ ¹	—	АВВГ, АВРГ, АНРГ	АВББ, АВБ6Шв, АВВБ6Г, АВВБГ, АВРБГ, АНРБГ, АСРБГ ¹ В-Iб, В-IIa ААШв, ААГ, АСГ ¹ , АСШв ¹ ААБлГ, АСБГ ¹ АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ ¹

Окончание табл. 13.4

Область применения	Кабель			
	с бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		с пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой	
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации
Прокладка на эстакадах: технологических специальных кабельных по мостам	ААШв	ААБлГ, ААБвГ ⁴ , ААБ2лШв, АСБлГ ¹	ААШв ⁶	АВРБГ, АНРБГ, АПсВБГ, АПсСБГ, АВАШв
	ААШв, ААБлГ, ААБвГ ⁴ , АСБлГ ¹	—	АВБГ, АВРГ, АНРГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ, АПсСВГ, АПАШв	АВРБГ, АНРБГ, АВАШв, АПсВБГ
	ААШв	ААБлГ		
	АСГ, СГ		АВБГ, АПсВГ	АПвВГ, АПВГ
Прокладка в блоках				

¹ Применяется при согласовании.
² Для одиночных КЛ, прокладываемых в помещениях.
³ Для групповых осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса В-1а.
⁴ Применяется при наличии химически активной среды.
⁵ Кабель марки АСБ2лШв используется в исключительных редких случаях с особым обоснованием.
⁶ Прокладка в коробах или при обеспечении защиты от механических повреждений в эксплуатации.

Таблица 13.5. **Наибольшая допустимая разность уровней кабелей с бумажной пропитанной изоляцией**

$U_{\text{ном}}, \text{ кВ}$	Пропитка изоляции	Кабели	Разность уровней, м
1 и 3	Вязкая	Небронированные: в алюминиевой оболочке в свинцовой оболочке	25 20
		Бронированные в алюминиевой или свинцовой оболочке	25
	Обедненная	Небронированные и бронированные: в алюминиевой оболочке в свинцовой оболочке	Без ограничения 100
6	Вязкая	Небронированные и бронированные: в алюминиевой оболочке в свинцовой оболочке	20 15
	Обедненная	Небронированные и бронированные в алюминиевой или свинцовой оболочке	Без ограничения
10	Вязкая	То же	15
	Обедненная	» »	Без ограничения
20 и 35	Вязкая	» »	15

Таблица 13.6. **Емкостные токи замыкания на землю в кабельных сетях, А/км**

Сечение жил кабе- ля, мм ²	$U_{\text{раб}}$ сети, кВ						
	6,3		6,6		10,5	21	36,75
	$U_{\text{ном}}$ кабелей нормального исполнения, кВ						
	6	10	6	10	10	20	35
25	0,47	0,37	0,49	0,39	0,62	1,88	—
35	0,54	0,43	0,57	0,45	0,71	2,1	—
50	0,63	0,49	0,66	0,51	0,81	2,33	—
70	0,73	0,57	0,77	0,59	0,84	2,66	3,5
95	0,85	0,66	0,89	0,69	1,1	2,88	3,9
120	0,95	0,74	1	0,77	1,23	3,55	4,6
150	1,07	0,82	1,12	0,85	1,36	3,9	5
185	1,18	0,9	1,2	0,94	1,5	4,2	—
240	1,31	1	1,37	1,05	1,67	—	—

Таблица 13.7. Допустимая кратковременная перегрузка для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной в течение, ч		
		0,5	1	3
0,6	В земле	1,35	1,3	1,15
	В воздухе	1,25	1,15	1,1
	В трубах (земле)	1,2	1	1
0,8	В земле	1,2	1,15	1,1
	В воздухе	1,15	1,1	1,05
	В трубах (земле)	1,1	1,05	1

Таблица 13.8. Допустимая на период ликвидации послеаварийного режима перегрузка для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной при длительности максимума, ч		
		1	3	6
0,6	В земле	1,5	1,35	1,25
	В воздухе	1,35	1,25	1,25
	В трубах (земле)	1,3	1,2	1,15
0,8	В земле	1,35	1,25	1,2
	В воздухе	1,3	1,25	1,15
	В трубах (земле)	1,2	1,15	1,1

Таблица 13.9. Длительно допустимый ток для кабелей с медными жилами, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	80	70	—	—	—
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	—	490	440	400	450

Окончание табл. 13.9

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
240	880	—	570	510	460	—
300	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—
500	1400	—	—	—	—	—
625	1520	—	—	—	—	—
800	1700	—	—	—	—	—

Таблица 13.10. Длительно допустимый ток для кабелей с медными жилами, с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
	до 3	6	10	
16	—	135	120	—
25	210	170	150	195
35	250	205	180	230
50	305	255	220	285
70	375	310	275	350
95	440	375	340	410
120	505	430	395	470
150	565	500	450	—
185	615	545	510	—
240	715	625	585	—

Таблица 13.11. Длительно допустимый ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	Трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	55	45	—	—	—
10	95	75	260	55	—	60
16	120	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145

Окончание табл. 13.11

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	Трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	—	375	325	305	340
240	610	—	430	375	350	—
300	720	—	—	—	—	—
400	880	—	—	—	—	—
500	1020	—	—	—	—	—
625	1180	—	—	—	—	—
800	1400	—	—	—	—	—

Таблица 13.12. Длительно допустимый ток для кабелей с алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	60	55	—	—	—
10	110	80	75	60	—	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	—	380	340	310	345
240	675	—	440	390	355	—
300	770	—	—	—	—	—
400	940	—	—	—	—	—
500	1080	—	—	—	—	—
625	1170	—	—	—	—	—
800	1310	—	—	—	—	—

Таблица 13.13. Длительно допустимый ток для кабелей с алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
	до 3	6	10	
16	—	105	90	—
25	160	130	115	150
35	190	160	140	175
50	235	195	170	220
70	290	240	210	270
95	340	290	260	315
120	390	330	305	360
150	435	385	345	—
185	475	420	390	—
240	550	480	450	—

Таблица 13.14. Длительно допустимый ток для кабелей с алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение токопро- водящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножиль- ных до 1 кВ	двухжиль- ных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырех- жильных до 1кВ
			до 3	6	10	
6	—	42	35	—	—	—
10	75	55	46	42	—	45
16	90	75	60	50	46	60
25	125	100	80	70	65	75
35	155	115	95	85	80	95
50	190	140	120	110	105	110
70	235	175	155	135	130	140
95	275	210	190	165	155	165
120	320	245	220	190	185	200
150	360	290	255	225	210	230
185	405	—	290	250	235	260
240	470	—	330	290	270	—
300	555	—	—	—	—	—
400	675	—	—	—	—	—
500	785	—	—	—	—	—
625	910	—	—	—	—	—
800	1080	—	—	—	—	—

Таблица 13.15. Длительно допустимый ток для трехжильных кабелей напряжением 6 кВ с медными жилами, с объединеннопропитанной изоляцией, в общей свинцовой оболочке, прокладываемых в земле и воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей, проложенных		Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей, проложенных	
	в земле	в воздухе		в земле	в воздухе
16	90	65	70	220	170
25	120	90	95	265	210
35	145	110	120	310	245
50	180	140	150	355	290

Таблица 13.16. Длительно допустимый ток для трехжильных кабелей напряжением 6 кВ с алюминиевыми жилами, с объединеннопропитанной изоляцией, в общей свинцовой оболочке, прокладываемых в земле и воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей, проложенных		Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей, проложенных	
	в земле	в воздухе		в земле	в воздухе
16	70	50	70	170	130
25	90	70	95	205	160
35	110	85	120	240	190
50	140	110	150	275	225

Таблица 13.17. Длительно допустимый ток для кабелей с отдельно оцинкованными медными жилами, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, прокладываемых в земле, воде и воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для трехжильных кабелей при прокладке					
	20 кВ			35 кВ		
	в земле	в воде	в воздухе	в земле	в воде	в воздухе
25	110	120	85	—	—	—
35	135	145	100	—	—	—
50	165	180	120	—	—	—
70	200	225	150	—	—	—
95	240	275	180	—	—	—
120	275	315	205	270	290	205
150	315	350	230	310	—	230
185	355	390	265	—	—	—

Таблица 13.18. Длительно допустимый ток для кабелей с отдельно освинцованными алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, прокладываемых в земле, воде, воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для трехжильных кабелей при прокладке					
	20 кВ			35 кВ		
	в земле	в воде	в воздухе	в земле	в воде	в воздухе
25	85	90	65	—	—	—
35	105	110	75	—	—	—
50	125	140	90	—	—	—
70	155	175	115	—	—	—
95	185	210	140	—	—	—
120	210	245	160	210	225	160
150	240	270	175	240	—	175
185	275	300	205	—	—	—

Таблица 13.19. Поправочный коэффициент на длительно допустимый ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см · К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9%, песчано-глинистая почва влажностью более 1%	80	1,05
Нормальные почва и песок влажностью 7—9%, песчано-глинистая почва влажностью 12—14%	120	1
Песок влажностью более 4 и менее 7%, песчано-глинистая почва влажностью 8—12%	200	0,87
Песок влажностью до 4%, каменистая почва	300	0,75

Таблица 13.20. Длительно допустимый ток для одножильных кабелей с медной жилой, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой оболочке, небронированных, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, А, для кабелей напряжением, кВ		
	до 3	20	35
10	85/—	—	—
16	120/—	—	—
25	145/—	105/110	—
35	170/—	125/135	—
50	215/—	155/165	—
70	260/—	185/205	—
95	305/—	220/255	—
120	330/—	245/290	240/265
150	360/—	270/330	265/300
185	385/—	290/360	285/335
240	435/—	320/395	315/380

Окончание табл. 13.20

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, А, для кабелей напряжением, кВ		
	до 3	20	35
300	460/—	350/425	340/420
400	485/—	370/450	—
500	505/—	—	—
625	525/—	—	—
800	550/—	—	—

* В числителе указаны токи для кабелей, расположенных в одной плоскости с расстоянием в свету 35—125 мм, в знаменателе — для кабелей, расположенных вплотную треугольником.

Таблица 13.21. Длительно допустимый ток для одножильных кабелей с алюминиевой жилой, с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массаи изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, небронированных, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, А, для кабелей напряжением, кВ		
	до 3	20	35
10	65/—	—	—
16	90/—	—	—
25	110/—	80/85	—
35	130/—	95/105	—
50	165/—	120/130	—
70	200/—	140/160	—
95	235/—	170/195	—
120	255/—	190/225	185/205
150	275/—	210/255	205/230
185	295/—	225/275	220/255
240	335/—	245/305	245/290
300	355/—	270/330	260/330
400	375/—	285/350	—
500	390/—	—	—
625	405/—	—	—
800	425/—	—	—

* В числителе указаны токи для кабелей, расположенных в одной плоскости с расстоянием в свету 35—125 мм, в знаменателе — для кабелей, расположенных вплотную треугольником.

Таблица 13.22. Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,9	0,87	0,86	0,85

Таблица 13.23. Длительно допустимый ток для кабелей с алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токо- проводящей жины, мм ²	Ток, А, для кабелей				
	одножильных	двухжильных	трехжильных		
			при прокладке		
			в воздухе	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

Примечание. Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по этой же таблице, как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица 13.24. Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ про- кладки	Количество проложен- ных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одножиль- ных	много- жильных	отдельные электро- приемники с коэф- фициентом исполь- зования до 0,7	группы электроприем- ников, отдельные при- емники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	—	До 4	1	—
	2	5—6	0,85	—
	3—9	7—9	0,75	—
	10—11	10—11	0,7	—
	12—14	12—14	0,65	—
	15—18	15—18	0,6	—
Однослойно	2—4	2—4	—	0,67
	5	5	—	0,6

Таблица 13.25. Основные расчетные данные трехфазных кабелей с медными жилами

Напря- жение, кВ	Сечение жилы, мм ²	Длительно допустимая токовая нагрузка, А, при прокладке		Потери в одном кабеле при пол- ной нагрузке, кВт/км	Длина кабеля на 1% потери напряжения, м
		в траншее	на конструкциях		
6	10	80	55	41	310
	16	105	65	46	370
	25	135	90	47	445
	35	160	110	49	524
	50	200	145	52	600
	70	245	175	59	690
	95	295	215	61	790
	120	340	250	64	865
	150	390	290	66	935
	185	440	325	70	1020
	240	510	375	72	1150
10	16	95	60	38	535
	25	120	85	37	650
	35	150	105	43	730
	50	180	135	44	860
	70	215	165	45	1010
	95	265	200	49	1120
	120	310	240	53	1210
	150	355	270	54	1320
	185	400	305	58	1440
	240	460	350	60	1570

Таблица 13.26. Основные расчетные данные трехфазных кабелей с алюминиевыми жилами

Напря- жение, кВ	Сечение жилы, мм ²	Длительно допустимая токовая нагрузка, А, при прокладке		Потери в одном кабеле при полной нагрузке, кВт/км	Длина кабеля на 1% потери напряжения, м
		в траншее	на конструкциях		
6	10	60	42	40	185
	16	80	50	45	220
	25	105	70	50	260
	35	125	85	51	310
	50	155	110	54	360
	70	190	135	59	410
	95	225	165	61	470
	120	260	190	64	510

Окончание табл. 13.26

Напряжение, кВ	Сечение жилы, мм ²	Длительно допустимая токовая нагрузка, А, при прокладке		Потери в одном кабеле при полной нагрузке, кВт/км	Длина кабеля на 1% потери напряжения, м
		в траншее	на конструкциях		
6	150	300	225	67	560
	185	340	250	69	600
	240	390	290	70	680
10	16	75	46	36	400
	25	90	65	39	510
	35	115	80	42	560
	50	140	105	44	660
	70	165	130	44	780
	95	205	155	50	860
	120	240	185	54	930
	150	275	210	56	1010
	185	310	235	57	1100
	240	355	270	58	1250

Таблица 13.27. Наименьшее расстояние для кабельных сооружений

Расстояние	Наименьшие размеры, мм, при прокладке	
	в туннелях, галереях, кабельных этажах и на эстакадах	в кабельных каналах и двойных полах
Высота в свету	1800	Не ограничивается, но не более 1200 мм
По горизонтали в свету между конструкциями при двустороннем их расположении (ширина прохода)	1000	300 — при глубине до 0,6 м; 450 — при глубине более 0,6 до 0,9 м; 600 — при глубине более 0,9 м
По горизонтали в свету от конструкции до стены при одностороннем расположении (ширина прохода)	900	То же
По вертикали между горизонтальными конструкциями*: • для силовых кабелей напряжением: до 10 кВ 20—35 кВ 110 кВ и выше • для контрольных кабелей и кабелей связи, а также силовых сечением до 3×25 мм ² напряжением до 1 кВ	200 250 300** 100	150 200 250 100
Между опорными конструкциями (консолями) по длине сооружения	800—1000	

Окончание табл. 13.27

Расстояние	Наименьшие размеры, мм, при прокладке	
	в туннелях, галереях, кабельных эстаках и на эстакадах	в кабельных каналах и двойных полах
По вертикали и горизонтали в свету между одиночными силовыми кабелями напряжением до 35 кВ***	Не менее диаметра кабеля	
По горизонтали между контрольными кабелями и кабелями связи***	Не нормируется	
По горизонтали в свету между кабелями напряжением 110 кВ и выше	100	Не менее диаметра кабеля

* Полезная длина консоли должна быть не более 500 мм на прямых участках трассы.

** При расположении кабелей треугольником со стороной 250 мм.

*** В том числе для кабелей, прокладываемых в кабельных шахтах.

Таблица 13.28. Наименьшее расстояние от кабельных эстакад и галерей до зданий и сооружений

Сооружение	Нормируемое расстояние	Наименьшие размеры, м
<i>При параллельном следовании, по горизонтали</i>		
Здания и сооружения с глухими стенами	От конструкции эстакады и галереи до стены здания и сооружения	Не нормируется
Здания и сооружения, имеющие стены с проемами	То же	2
Внутризаводская незлектрифицированная железная дорога	От конструкции эстакады и галереи до габарита приближения строений	1 м — для галерей и проходных эстакад; 3 м — для непроходных эстакад
Внутризаводская автомобильная дорога и пожарные проезды	От конструкции эстакады и галереи до бордюрного камня, внешней бровки или подошвы кювета дороги	2
Канатная дорога	От конструкции эстакады и галереи до габарита подвижного состава	1
Надземный трубопровод	От конструкции эстакады и галереи до ближайших частей трубопровода	0,5
Воздушная линия электропередачи	От конструкции эстакады и галереи до проводов	ПУЭ
<i>При пересечении, по вертикали</i>		
Внутризаводская незлектрифицированная железная дорога	От нижней отметки эстакады и галереи до головки рельса	5,6
Внутризаводская электрофицированная железная дорога	От нижней отметки эстакады и галереи: до головки рельса до наивысшего провода или несущего троса контактной сети	7,1 3

Окончание табл. 13.28

Сооружение	Нормируемое расстояние	Наименьшие размеры, м
Внутризаводская автомобильная дорога (пожарный проезд)	От нижней отметки эстакады и галереи до полотна автомобильной дороги (пожарного проезда)	4,5
Надземный трубопровод	От конструкции эстакады и галереи до ближайших частей трубопровода	0,5
Воздушная линия электропередачи	От конструкции эстакады и галереи до проводов	ПУЭ
Воздушная линия связи и радиофикации	То же	1,5

Таблица 13.29. Выбор видов электропроводок, способов прокладки проводов и кабелей

Условия окружающей среды	Вид электропроводки и способ прокладки	Провода и кабели
Открытые электропроводки		
Сухие и влажные помещения	На роликах и клипах	Незащищенные одножильные провода
Сухие помещения	То же	Скрученные двухжильные провода
Помещения всех видов и наружные установки	На изоляторах, а также на роликах, предназначенных для применения в сырых местах. В наружных установках ролики для сырых мест (больших размеров) допускается применять только в местах, где исключена возможность непосредственного попадания на электропроводку дождя или снега (под навесами)	Незащищенные одножильные провода
Наружные установки	Непосредственно по поверхности стен, потолков и на струнах, полосах и других несущих конструкциях	Кабель в неметаллической и металлической оболочках
Помещения всех видов	То же	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической и металлической оболочках
Помещения всех видов и наружные установки	На лотках и в коробах с открываемыми крышками	То же
Помещения всех видов и наружные установки (только специальные провода с несущим тросом для наружных установок или кабели)	На тросах	Специальные провода с несущим тросом. Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической и металлической оболочках

Окончание табл. 13.29

Условия окружающей среды	Вид электропроводки и способ прокладки	Провода и кабели
Скрытые электропроводки		
Помещения всех видов и наружные установки	В неметаллических трубах из сгораемых материалов (несамозатухающий полиэтилен и т.п.). В замкнутых каналах строительных конструкций. Под штукатуркой	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической оболочке
Исключения:		
1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках.		
2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках		
Сухие, влажные и сырые помещения	Замоноличено в строительных конструкциях при их изготовлении	Незащищенные провода
Открытые и скрытые электропроводки		
Помещения всех видов и наружные установки	В металлических гибких рукавах. В стальных трубах (обыкновенных и тонкостенных) и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и неметаллических глухих коробах из трудносгораемых материалов. В изоляционных трубах с металлической оболочкой	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической оболочке
Исключения:		
1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках.		
2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках.		

Таблица 13.30. Выбор видов электропроводок и способов прокладки проводов и кабелей по условиям пожарной безопасности

Вид электропроводки и способ прокладки по основаниям и конструкциям		Провода и кабели
из сгораемых материалов	из несгораемых или трудносгораемых материалов	
Открытые электропроводки		
На роликах, изоляторах или с подкладкой несгораемых материалов ¹	Непосредственно	Незащищенные провода; защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
Непосредственно		Защищенные провода и кабели в оболочке из несгораемых и трудносгораемых материалов

Окончание табл. 13.30

Вид электропроводки и способ прокладки по основаниям и конструкциям		Провода и кабели
из сгораемых материалов	из нескороаемых или трудносгораемых материалов	
В трубах и коробах из нескороаемых материалов	В трубах и коробах из трудносгораемых и нескороаемых материалов	Незащищенные и защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых материалов
Скрытые электропроводки		
С подкладкой нескороаемых материалов ¹ и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других нескороаемых материалов	Непосредственно	Незащищенные провода; защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
С подкладкой нескороаемых материалов ¹		Защищенные провода и кабели в оболочке из трудносгораемых материалов
Непосредственно		То же из нескороаемых материалов
В трубах и коробах из трудносгораемых материалов — с подкладкой под трубы и короба нескороаемых материалов* и последующим заштукатуриванием ²	В трубах и коробах из сгораемых материалов — замоноличенно, в бороздах и т.п., в сплошном слое нескороаемых материалов ³	Незащищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых и нескороаемых материалов
То же из нескороаемых материалов — непосредственно	То же из трудносгораемых и нескороаемых материалов — непосредственно	4, 7, 10

¹ Подкладка из нескороаемых материалов должна выступать с каждой стороны провода, кабеля, трубы или короба не менее чем на 10 мм.

² Заштукатуривание трубы осуществляется сплошным слоем штукатурки, алебастра и т.п. толщиной не менее 10 мм над трубой.

³ Сплошным слоем нескороаемого материала вокруг трубы (короба) может быть слой штукатурки, алебастрового, цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.

Таблица 13.31. Типоразмеры контрольных кабелей

Марка	Число жил в кабеле при номинальном сечении жилы, мм ²					
	0,75	1	1,5	2,5	4	6
КРСГ, КРСБ, КРСБГ	—	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37			4, 7, 10	
КРСК	—	10, 14, 19, 27, 37			7, 10	
КРВГ, КРВГЭ, КРВБ, КРВГ-ХЛ, КРНБ, КРВБГ, КРВББГ, КРНГ, КРНБГ, КРНББГ, КРНБн, КВВБн, КПсВБн, КРВБн	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52			4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37	4, 7, 10	

Окончание табл. 13.31

Марка	Число жил в кабеле при номинальном сечении жилы, мм ²					
	0,75	1	1,5	2,5	4	6
КВВГ, КВВГЭ, КВВБ, КВВБГ, КВВБ6Г, КВВГ-ХЛ, КВБ6Шв, КПВГ, КПВБ, КПВБсГ, КПВБГ, КПБ6Шв, КПсВГ, КПсВГЭ, КПсВБГ, КПсВБ6Г, КПсБ6Шв	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61			4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37	4, 7, 10	
КВВГ-П, КПсВГП, КПВГ-П	—			4	—	
АКВВГ-П, АКПсВГ-П, АКПВГ-П, АКВВГ-ХЛ						
КППБ6Шв, КВПБ6Шв, КПсПБ6Шв	10, 14, 19, 27, 37			7, 10, 14, 19, 27, 37	7, 10	
АКРКГ, АКРБГЭ, АКРВБ, АКРВБГ, АКРВБ6Г, АКРВГ-ХЛ, АКРНГ, АКРНБ, АКРНБГ, АКВВГ, АКРНБ6Г, АКВВГЭ, АКВВБГ, АКВВБ6Г, АКВБ6Шв, АКПВГ, АКПВБ, АКПВБГ, АКПБ6Шв, АКПсВГ, АКПсВГЭ, АКПсВБ, АКПсВБГ, КПсВБ6Г, АКПсБ6Шв, АКПВБ6Г, АКВВБ	—			4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37	—	

Таблица 13.32. Типоразмеры маслонаполненных кабелей напряжением 110—500 кВ

Номинальное напряжение, кВ	Номинальное сечение жилы, мм ²	
	низкого давления	высокого давления
110	120, 150, 185, 240 (270), 300 (350), 400, 500 (550), 625, 800	120, 150, 185, 240 (270), 300, 500 (550), 625 (700)
150	240 (270), 300 (350), 400, 500 (550), 625, 800	—
220	300 (350), 400, 500 (550), 625, 800	300, 400, 500 (550), 625 (700)
330	—	400, 500 (550), 625 (700)
380	—	400, 500 (550), 625 (700)
500	—	(550), 625 (700)

Таблица 13.33. Рекомендуемые способы применения маслонаполненных кабелей

Марка	Применение
МНАШв, МНС, МНСНв	В каналах зданий и туннелях
МНАШву, МНСНв, МНАгШву, МНСА	В земле, в траншеях, если кабель не подвергается растягивающим усилиям и защищен от механических повреждений

Окончание табл. 13.33

Марка	Применение
МНСК	Под водой, в болотистой местности, где кабель подвергается растягивающим усилиям и где требуется его дополнительная механическая защита
МВДТ, МВДТк	В стальном трубопроводе с маслом под давлением, прокладываемом в туннелях, в земле, под водой

Таблица 13.34. Длительно допустимый ток нагрузки проводов и кабелей в зависимости от вида защитного аппарата

Защитный аппарат	Длительно допустимый ток	
	проводов и кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией	кабелей с бумажной изоляцией
Предохранители с плавкой вставкой	125% номинального тока плавкой вставки	100% номинального тока плавкой вставки
Автоматический выключатель с максимальным мгновенным расцепителем	125% тока трогания расцепителя	100% тока трогания расцепителя
Автоматический выключатель с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой	100% тока трогания расцепителя	То же
Автоматический выключатель с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой	То же	80% тока трогания расцепителя

Таблица 13.35. Допустимые токи односекундного короткого замыкания, кА, для кабелей с медными и алюминиевыми жилами

Сечение жил, мм ²	Номинальное напряжение кабеля, кВ					
	1—6	10	20—35			
	медные	алюминиевые	медные	алюминиевые	медные	алюминиевые
6	0,77	0,51	0,81	0,53	—	—
10	1,29	0,85	1,35	0,89	—	—
16	2,06	1,36	2,16	1,42	—	—
25	3,21	2,12	3,37	2,23	2,5	1,66
35	4,5	2,97	4,72	3,12	3,51	2,32
50	6,43	4,25	6,74	4,45	5	3,31
70	9	5,94	9,43	6,23	7,01	4,64
95	12,21	8,06	12,8	8,46	9,52	6,29
120	15,42	10,19	16,17	10,69	12,02	7,95
150	19,28	12,73	20,21	13,36	15,62	8,12
185	23,78	15,71	24,93	16,47	18,53	12,3
240	30,84	20,4	32,34	21,37	24,04	15,9
300	—	—	—	—	30,05	19,88

Таблица 13.36. Значения поправочного коэффициента

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Способ прокладки	Коэффициент предшествующей загрузки кабеля ($I/I_{\text{доп}}$)					
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1—6	В воздухе	1,22	1,2	1,17	1,14	1,1	1,05
	В земле	1,26	1,24	1,2	1,16	1,11	1,06
10	В воздухе	1,17	1,15	1,13	1,11	1,07	1,04
	В земле	1,21	1,19	1,16	1,13	1,09	1,05
20—35	В воздухе	1,27	1,24	1,21	1,16	1,12	1,06
	В земле	1,33	1,29	1,25	1,21	1,15	1,08

Таблица 13.37. Минимальное допустимое расстояние от токопроводов (гибких и жестких) и от кабельных эстакад с транзитными кабелями до помещений с взрывоопасными зонами и до наружных взрывоопасных установок

Помещения и наружные взрывоопасные установки	Расстояние, м	
	от токопроводов	от кабельных эстакад
С тяжелыми или сжиженными горючими газами		
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад несгораемой стеной без проемов и устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции	10	Не нормируется
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад стеной с проемами	20	9
Наружные взрывоопасные установки, установки, расположенные у стен зданий (в том числе емкости)	30	9
Резервуары (газгольдеры)	50	20
С легкими горючими газами и ЛВЖ*, с горючими пылью или волокнами		
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад несгораемой стеной без проемов и устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции	10 или 6 (см. примечание, п. 2)	Не нормируется
Помещения с выходящей в сторону токопроводов и кабельных эстакад стеной с проемами	15	9 или 6 (см. примечание, п. 2)
Наружные взрывоопасные установки, установки, расположенные у стен зданий (в том числе емкости)	25	9
Сливно-наливные эстакады с закрытым сливом или наливом ЛВЖ	25	20
Резервуары (газгольдеры) с горючими газами	25	20

* Легковоспламеняющаяся жидкость.

Примечания: 1. Проезд пожарных автомобилей к кабельной эстакаде допускается с одной стороны эстакады.

2. Минимально допустимые расстояния 6 м применяются до зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости со взрывоопасными производствами при соблюдении условий, оговоренных в СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

3. Расстояния, указанные в таблице, считаются от стен помещений со взрывоопасными зонами, от стенок резервуаров или от наиболее выступающих частей наружных установок.

Таблица 13.38. Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах

Кабели и провода	Способ прокладки	Сети выше 1 кВ	Силовые сети и вторичные цепи до 1 кВ	Осветительные сети до 380 В
Бронированные кабели	Открыто — по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах; скрыто — в земле (траншеях), в блоках	В зонах любого класса		
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках	Открыто — при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в лотках; на тросах	ВІБ, В-Іа, В-Іг	ВІБ, В-Іа, В-Іг	В-Іа, ВІБ, В-Іа, В-Іг
	В каналах пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-ІІ, В-Іа	В-ІІ, В-Іа	В-ІІ, В-Іа
	Открыто — в коробах	В-ІБ, В-Іг	В-Іа, В-ІБ, В-Іг	В-Іа, В-ІБ, В-Іг
Изолированные провода	Открыто и скрыто — в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		

Примечание. Для искробезопасных цепей во взрывоопасных зонах любого класса разрешаются все перечисленные в таблице способы прокладки проводов и кабелей.

13.2. Современные кабели с высокими техническими характеристиками (ОАО «Севкабель»)

Кабели с пониженным дымо- и газовыделением

1) ВВГнг-LS, АВВГнг-LS на напряжение до 0,66; 1 кВ;

2) ВВГнг-П LS, АВВГнг-П LS.

Кабели силовые, не распространяющие горение с низким дымо- и газовыделением.

Конструкция:

- *жила*: алюминиевая или медная (П — изолированные жилы уложены параллельно в одной плоскости);

- *изоляция*: ПВХ пониженной пожароопасности;

- *защитные покровы*: оболочка из ПВХ пластиката пониженной пожароопасности;

3) ВБбШвнг-LS, АВБбШвнг-LS на напряжение до 0,66; 1кВ.

Кабели силовые, не распространяющие горение с низким дымо- и газовыделением.

Конструкция:

- *жила*: алюминиевая или медная;

- *изоляция*: сплошная ПВХ пониженной пожароопасности;

- *защитные покровы*: типа Шв;

4) КВВГЭнг-LS, КВВГнг-LS на напряжение 0,66 кВ.

Кабели контрольные, не распространяющие горение с низким газо- и дымовыделением.

Конструкция:

- *жила*: медная;
- *изоляция*: сплошная, ПВХ, пониженной пожароопасности;
- *защитные покровы*: оболочка из ПВХ пластика пониженной пожароопасности;
- Э — общий экран поверх скрученных жил: алюминиевая или медная фольга.

Кабели силовые, не распространяющие горение, с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, марок: (К) ППГ (Э)нг-НГ, (К) ПББПнг-НГ, ПвППнг-НГ. Кабели силовые, не распространяющие горение, безгалогенные, предназначены для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках при номинальном переменном напряжении 0,66 и 1 кВ частотой до 100 Гц, в том числе для эксплуатации в системах АС класса ЗН по классификации ПНАЭГ-1-011-97.

Кабели рекомендуют для прокладки в производственных и офисных помещениях, в которых установлены компьютеры, а также в сооружениях метрополитена, жилых и общественных зданиях (в кинотеатрах, медицинских и учебных учреждениях, магазинах и т.п.).

Характеристика пожарной безопасности: дымовыделение при горении и тлении кабеля, а также коррозионная активность продуктов горения кабеля соответствуют требованиям МЭК.

Конструкция кабеля:

жила: медная (алюминиевая), одно- или многопроволочная.

изоляция: полимерная композиция, не содержащая галогенов, для кабеля марки ПвППнг-НГ — сшитый полиэтилен.

внутренняя оболочка: полимерная композиция, не содержащая галогенов.

броня для кабеля марки ПББПнг-НГ: стальные оцинкованные ленты.

наружная оболочка: полимерная композиция, не содержащая галогенов.

Срок службы кабелей — не менее 30 лет при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, прокладки (монтажа) и эксплуатации, указанных в технических условиях.

Силовые кабели с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена на напряжение 1 кВ. Четырехжильные силовые кабели с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках при номинальном переменном напряжении 1 кВ номинальной частотой 50 Гц.

Вид климатического исполнения кабелей с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена; УХЛ, категории размещения 1 и 5, т.е. кабели пред-

назначены для эксплуатации на открытом воздухе, а также в помещениях с повышенной влажностью, в том числе в подвалах и в почве.

Марки кабелей, наименование элементов их конструкции и преимущественная область применения указаны в табл. 13.39.

Таблица 13.39. Техническая характеристика силовых кабелей

Марка		Элементы кабеля	Преимущественная область применения
с медными жилами	с алюминиевыми жилами		
ПвВГ	АПвВГ	Изоляция из силанольношпигитового полиэтилена, оболочка из поливинилхлоридного пластика	Для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях, помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений. Допускается групповая прокладка в кабельных сооружениях при условии применения дополнительных мер по огнезащите, например нанесение огнезащитных мастик
ПвВГнг	АПвВГнг	То же, оболочка из поливинилхлоридного пластика пониженной горючести	То же, для групповой прокладки
ПвБбШв	АПвБбШв	Изоляция из силанольношпигитового полиэтилена, защитный покров типа БбШв	Для прокладки в земле (траншеях), за исключением пучинистых и просадочных грунтов, и для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях. Могут быть проложены в земле (траншеях) независимо от коррозионной активности грунтов и грунтовых вод. Допускается групповая прокладка в кабельных сооружениях при условии применения дополнительных мер по огнезащите, например нанесение огнезащитных мастик
ПвБбШнг	АПвБбШнг	Изоляция из силанольношпигитового полиэтилена, защитный покров типа БбШнг	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях, помещениях
ПвБбШп	АПвБбШп	То же, с защитным покровом типа БбШп	Для прокладки в земле (траншеях), за исключением пучинистых и просадочных грунтов, и для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях. Могут быть проложены в земле (траншеях) независимо от коррозионной активности грунтов и грунтовых вод. Могут быть проложены в грунтах с повышенной влажностью и в воде

Силовые кабели с изоляцией из поливинилхлоридного пластика на напряжение 1 кВ. Четырехжильные силовые кабели с изоляцией из поливинилхлоридного пластика (ПВХ) предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках при номинальном переменном напряжении 1 кВ частотой 50 Гц.

Вид климатического исполнения кабелей с изоляцией из ПВХ — УХЛ, категории размещения — 1 и 5.

Марки кабелей, наименование элементов их конструкции и преимущественная область применения указаны в табл. 13.40.

Сравнение длительно допустимых токовых нагрузок при прокладке кабелей с ПВХ-изоляцией и с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена приведено в табл. 13.41.

Сравнение допустимых токов односекундного короткого замыкания кабелей с ПВХ-изоляцией и с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена приведено в табл. 13.42.

Таблица 13.40. Техническая характеристика силовых кабелей

Марка		Элементы кабеля	Преимущественная область применения
с медными жилами	с алюминиевыми жилами		
ВВГ	АВВГ	Изоляция и оболочка из ПВХ	Для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях, помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений. Допускается групповая прокладка в кабельных сооружениях при условии применения дополнительных мер по огнезащите, например нанесение огнезащитных мастик
ВВГнг	АВВГнг	Изоляция из ПВХ, оболочка из ПВХ пониженной горючести	То же, для групповой прокладки
ВБбШв	АВБбШв	Изоляция из ПВХ, защитный покров типа БбШв	Для прокладки в земле (траншеях), за исключением пучинистых и просадочных грунтов, и для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях. Могут быть проложены в земле (траншеях) независимо от коррозионной активности грунтов и грунтовых вод. Допускается групповая прокладка в кабельных сооружениях при условии применения дополнительных мер по огнезащите, например нанесение огнезащитных мастик
ВБбШнг	АВБбШнг	Изоляция из ПВХ, защитный покров типа БбШнг	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях, помещениях и в сооружениях метрополитена, в том числе в пожароопасных зонах

Таблица 13.41. Техническая характеристика изоляции кабелей по длительно допустимому току

Номинальное сечение жил, мм ²	Длительно допустимые токовые нагрузки кабелей, А							
	с алюминиевыми жилами				с медными жилами			
	с ПВХ-изоляцией		с ПЭ-изоляцией		с ПВХ-изоляцией		с ПЭ-изоляцией	
	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе
16	71	62	87	78	93	81	113	101
25	93	81	113	102	121	107	147	133
35	112	101	137	126	147	131	178	164
50	136	126	166	158	178	164	217	205
70	165	155	201	194	220	210	268	262
95	197	189	240	237	260	254	316	318
120	224	219	272	274	298	299	363	372
150	254	254	310	317	337	344	410	429
185	286	291	384	363	378	392	459	488
240	330	343	401	428	435	464	529	579

Таблица 13.42. Техническая характеристика изоляции кабелей по току КЗ

Номинальное сечение жил, мм ²	Допустимые односекундные токи короткого замыкания кабелей, кА			
	с алюминиевыми жилами		с медными жилами	
	с ПВХ-изоляцией	с ПЭ-изоляцией	с ПВХ-изоляцией	с ПЭ-изоляцией
16	1,22	1,4	1,84	2,16
25	1,9	2,24	2,88	3,46
35	2,66	3,09	4,03	4,8
50	3,8	4,18	5,75	6,5
70	5,32	6,12	8,05	9,38
95	7,22	8,48	10,93	13
120	9,12	10,71	13,8	16,43
150	11,4	13,16	17,25	20,26
185	14,07	16,53	21,27	25,35
24	18,25	21,7	27,6	33,32

При прокладке в земле токовые нагрузки рассчитаны для глубины прокладки 0,7 м при удельном термическом сопротивлении почвы 1,2 °С·м/Вт.

Допустимые токовые нагрузки и допустимый ток односекундного короткого замыкания приведены для температуры окружающей среды 15 °С при прокладке в земле и 25 °С при прокладке на воздухе.

Сравнительные характеристики силовых кабелей с ПВХ-изоляцией и изоляцией из силанольноштитого полиэтилена приведены в табл. 13.43.

Таблица 13.43. Технические характеристики изоляции кабелей

Параметр	Нормативное значение параметра для кабеля с изоляцией	
	из ПВХ	из силанольноосшитого полиэтилена
Электрическое сопротивление изоляции при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менее, МОм/км	7	150
Длительно допустимая температура нагрева жилы, $^{\circ}\text{C}$, не более	70	90
Длительно допустимая температура нагрева жилы в аварийном режиме, $^{\circ}\text{C}$, не более	80	130
Максимально допустимая температура жил при КЗ, $^{\circ}\text{C}$, не более	160	250
Срок службы, лет, не менее	30	
Максимальная разность уровней при прокладке, м, не более	Без ограничения разности уровней	
Минимальный радиус изгиба при прокладке, не менее	$7,5D_{\text{н}}^*$	

* $D_{\text{н}}$ — наружный диаметр кабеля.

Кабель NYMнг-LS (табл. 13.44). В связи с постоянно растущими требованиями к пожарной безопасности кабельно-проводниковой продукции на заводе «Севкабель» запущен в серийное производство кабель NYMнг-LS на переменное напряжение 0,66 кВ. Новый кабель NYMнг-LS соответствует требованиям по нераспространению горения в пучках, т.е. может быть использован как альтернатива кабелю ВВГнг-LS.

Преимущества кабеля NYMнг-LS перед кабелем ВВГнг-LS:

- кабель NYMнг-LS имеет меньшую толщину изоляции для сечений 1,5 и 2,5 мм², чем обычный кабель NYM и кабель ВВГнг-LS, что указывает на большую надежность кабеля при эксплуатации;
- кабель NYMнг-LS покрыт оболочкой из современного высоконаполненного материала, не распространяющего горение;
- кабель NYMнг-LS наиболее прост при разделке и монтаже, так как в конструкции кабеля присутствует резина.

Кабель NYMнг-LS выпускается с количеством жил от двух до пяти с сечением от 1,5 до 35 мм². Кабель NYMнг-LS предназначен для одиночной и групповой прокладки кабельных линий в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях, а также в кабельных сооружениях для безопасной эксплуатации электрооборудования класса защиты I; может применяться для прокладки силовых и осветительных сетей во взрывоопасных зонах классов ВІб, ВІг, В Іа, а также для осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса ВІа.

Таблица 13.44. Основные технические характеристики кабелей

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,66
Температура окружающей среды при эксплуатации кабеля, °С	–35 — +50
Относительная влажность воздуха (при температуре до +35 °С), %	98
Предельная длительно допустимая рабочая температура жил, °С	70
Максимальная температура нагрева жил при коротком замыкании, °С	160
Минимальная температура прокладки кабеля без предварительного подогрева, °С	–15
Минимально допустимый радиус изгиба при прокладке	4 диаметра кабеля
Срок службы, лет	30
Гарантийный срок эксплуатации кабеля, лет	5

13.3. Самонесущие изолированные провода, силовые кабели ВВГ, ВББШВ, шнуры осветительные (НП «Подольсккабель»)

Самонесущие изолированные провода (СИП) (табл. 13.45) предназначены для применения в воздушных линиях (ВЛ) электропередачи с подвеской на опорах или фасадах зданий и сооружений. Климатическое исполнение - УХЛ, категории размещения — 1, 2 и 3.

Преимущества СИП: при равнозначных капиталовложениях ВЛ с СИП требуют меньших эксплуатационных расходов; возможна совместная подвеска на опорах проводов с разным уровнем напряжения и с телефонными линиями; уменьшаются безопасные расстояния до зданий и других инженерных сооружений (электрических, телефонных, воздушных линий); высота над уровнем земли — 4 м, для неизолированных проводов — 6 м; исключена возможность КЗ между проводами фаз или на землю; исключена опасность возникновения пожаров в случае падения проводов на землю; высокая безопасность обслуживания — отсутствует риск поражения при касании фазных проводов, находящихся под напряжением; меньшая масса и большая длительность налипания снега, повышенная надежность в зонах интенсивного гололедообразования, уменьшение гололедно-ветровых нагрузок на опоры; снижение падения напряжения вследствие малого реактивного сопротивления; сокращение объемов аварийно-восстановительных работ; простота ремонтов, особенно при работах под напряжением; снижение вероятности хищения электроэнергии и разрушения ВЛ; безопасность работ вблизи ВЛ.

Таблица 13.45. Техническая характеристика СИП

Торговая марка	Сечение токопроводящих жил, мм ²	Число токопроводящих жил	Рабочее напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Примечания
АИ	16; 25; 35; 50	1; 2; 4; 5; 6	0,66	УХЛ	Провода для передачи и распределения электрической энергии в воздушных силовых и осветительных сетях и ответвлений к вводам в жилые дома и хозяйственные постройки
АИС	25; 35; 50; 70	3 + грузонесущая нейтраль 54,6 мм			
АИСК	35; 50	1; 2; 3 + грузонесущая нейтраль 54,6 мм			
АИСН	35; 50; 70	3 + грузонесущая нейтраль 54,6 мм			

Силовые кабели (табл. 13.46)

Таблица 13.46. Технические параметры силовых кабелей типов ВВГ, ВБ и ВК

Торговая марка	Сечение токопроводящих жил, мм ²	Число токопроводящих жил	Рабочее напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Примечания
ВВГ	1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50	1; 2; 3; 4	0,66/1	УХЛ, Т	—
	1,5; 2; 5; 4; 6; 10; 16; 25	5			
ВВГз	1,5; 2,5; 4; 6	2; 3; 4	0,66/1	УХЛ, Т	
ВВГ-П	1; 1,5; 2,5; 4; 6			УХЛ, Т	
ВВГнг-LS	1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50	1; 2; 3; 4	0,66/1	В	Допустимая температура нагрева жил — +70 °С. При эксплуатации — +160 °С при коротком замыкании
ВВГнг-LS	1,5; 2; 5; 4; 6; 10; 16; 25	5	0,66/1	В	Кабель с пониженным дымогазовыделением
ВБбШв	10; 16; 25; 35	2; 3; 4	0,66/1	УХЛ, Т	Кабель с пониженным дымогазовыделением
ВБбШвнг-LS	10; 16; 25; 35				
ВКбШв	1,5; 2,5; 4; 6	2; 3; 4	0,66	УХЛ	Броня из стальных оцинкованных проволок

Провода и шнуры осветительные (табл. 13.47)

Таблица 13.47. Технические характеристики осветительных проводов и шнуров

Группа, марка изделия	Сечение токопроводящих жил, мм ²	Число токопроводящих жил	Рабочее напряжение, В	Климатическое исполнение	Примечания
ШВВП	0,5; 0,75	2; 3	До 450/750	У, Т, УХЛ	—
ШВП		2			
ШВП-2	0,35; 0,5; 0,75	2			
ШВЛ	0,5; 0,75	2; 3			
ПВС	0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0	2; 3; 4; 5	380	УХЛ	Шнур гибкий с полиэтиленовой сшитой изоляцией, в ПВХ-оболочке, в оплетке из нитей для при соединения нагревательных приборов
ШВО	0,5; 0,75; 1; 1,5	2			
ШВО	0,75; 1; 1,5	2; 3			То же
ПУНП	1; 1,5; 2,5; 4; 6	2; 3; 4	250	У	Оболочка черного цвета. По заказу оболочка может быть изготовлена любого цвета
ПУГНП	0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6	2			

13.4. Силовые кабели для стационарной прокладки (ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод)

Кольчугинский завод производит следующие типы кабелей:

ВВГ-0,66

1×1,5—1×50 мм²
 2×1,5—2×50 мм²
 2×1,5 + 1×1,0—2×50 + 1×16 мм²
 3×1,5—3×50 мм²
 3×1,5 + 1×1,0—3×50 + 1×25 мм²
 4×1,5—4×50 мм²
 4×1,5 + 1×1,0—4×50 + 1×16 мм²

ВВГ-ХЛ-0,66

1×1,5—1×50 мм²
 2×1,5—2×50 мм²
 2×1,5 + 1×1,0—2×50 + 1×16 мм²
 3×1,5—3×50 мм²
 3×1,5 + 1×1,0—3×50 + 1×25 мм²
 4×1,5—4×50 мм²
 4×1,5 + 1×1,0—4×50 + 1×16 мм²
 5×1,5—5×25 мм²

ВВГ-1

1×1,5—1×240 мм²
 2×1,5—2×150 мм²
 2×1,5 + 1×1,0—2×240 + 1×120 мм²
 3×1,5—3×240 мм²
 3×1,5 + 1×1—3×240 + 1×120 мм²
 4×1,5—4×240 мм²
 4×1,5 + 1×1,0—4×240 + 1×120 мм²

5×1,5—5×50 мм²
 2×1,5 + 1×1,0—2×240 + 1×120 мм²
 3×1,5—3×240 мм²
 3×1,5 + 1×1—3×240 + 1×120 мм²
 4×1,5—4×240 мм²
 4×1,5 + 1×1,0—4×240 + 1×120 мм²
 5×1,5—5×240 мм²

ВВГнг-LS-0,66

1×1,5—1×50 мм²
 2×1,5—2×50 мм²
 2×1,5 + 1×1,0—2×50 + 1×16 мм²
 3×1,5—3×50 мм²
 3×1,5 + 1×1,0—3×50 + 1×25 мм²
 4×1,5—4×50 мм²
 4×1,5+1×1,0—4×50 + 1×16 мм²

ВВГнг-LS-1

1×1,5—1×240 мм²
 2×1,5—2×150 мм²
 2×1,5—2×95 мм²
 3×1,5—3×240 мм²
 3×1,5 + 1×1,0—3×240 + 1×120 мм²
 4×1,5—4×240 мм²
 5×1,5—5×240 мм²

ВВГнг-LS-0,66/1; ВВГз-0,66

$5 \times 1,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 2 \times 50 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 4 \times 50 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

ВВГ-ХЛ-1

$1 \times 1,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 - 2 \times 150 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 2 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 4 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 25 \text{ мм}^2$

ВВГнг-0,66

$1 \times 1,5 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

ВВГнг-1

$1 \times 1,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

АВВГ-ХЛ-0,66

$1 \times 2,5 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

АВВГнг-1

$1 \times 2,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$
АВВГнг-LS-0,66

ВВГз-1

$2 \times 1,5 - 2 \times 150 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 2 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$

ВВГзнг-0,66

$2 \times 1,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 2 \times 50 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 4 \times 50 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

ВВГзнг-1

$2 \times 1,5 - 2 \times 95 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 1,5 + 1 \times 1,0 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 1,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$

ВВГ-П-0,66

$2 \times 1,5 - 2 \times 16 \text{ мм}^2$

ВВГ-П-1

$3 \times 1,5 - 3 \times 16 \text{ мм}^2$

ВВГнг-П-0,66

$2 \times 1,5 - 2 \times 16 \text{ мм}^2$

ВВГнг-П-1

$3 \times 1,5 - 3 \times 16 \text{ мм}^2$

АВВГ-0,66

$1 \times 2,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $1 \times 2,5 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 70 + 1 \times 25 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$

АВВГ-ХЛ-1

$1 \times 2,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 70 + 1 \times 25 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 35 \text{ мм}^2$

АВВГнг-0,66

$1 \times 2,5 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$
АВВГз-0,66

$1 \times 2,5 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 4 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$

АВВГнг-LS-1

$1 \times 2,5 - 1 \times 240 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$

АВВГнг-LS-0,66/1

$5 \times 2,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$

АВВГ-1

$2 \times 2,5 - 2 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 120 \text{ мм}^2$

АВВГ-П-0,66

$2 \times 2,5 - 2 \times 16 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 16 \text{ мм}^2$

АВВГ-П-1; АВВГнг-П-0,66

$2 \times 2,5 - 2 \times 16 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 16 \text{ мм}^2$

АВВГнг-П-1; ВББШв-0,66

$2 \times 4 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 4 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 4 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$

АВББШв-0,66

$4 \times 4 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 4 - 5 \times 25 \text{ мм}^2$

ВББШв-1

$2 \times 6 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 6 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 6 + 1 \times 2,5 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$

АВББШв-1; ВББШнг-0,66

$4 \times 6 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $1 \times 25 - 1 \times 50 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$

АВББШнг-0,66

$3 \times 2,5 + 1 \times 1,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 25 \text{ мм}^2$

ВББШнг-1

$1 \times 25 - 1 \times 625 \text{ мм}^2$
 $2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$

$2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$

АВВГзнг-0,66

$2 \times 2,5 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 50 \text{ мм}^2$

АВВГзнг-1

$2 \times 2,5 - 2 \times 120 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$
 $4 \times 2,5 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 2,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$

АВББШвнг-LS-0,66/1;**ВВГ; ВББШв-6;****АВВГ; АВББШв-6;****ВВГнг; ВББШнг-6;****АВВГнг; АВББШнг-6;****ВВГнг-LS-6; ВББШнг-LS-6;****АВВГнг-LS-6; АВББШнг LS-6 АПВГ**

$5 \times 2,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 35 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 16 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 16 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 6 + 1 \times 4 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$

ВББШнг-3;**АВББШнг-3;****ВББШвнг-1,5-0,66**

$240 - 625 \text{ мм}^2$
 $2 \times 4 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 4 - 3 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 4 + 1 \times 2,5 - 3 \times 50 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$
 $4 \times 4 - 4 \times 50 \text{ мм}^2$

АВББШвнг-LS-0,66;**ВББШвнг-LS-1**

$2 \times 6 - 2 \times 50 \text{ мм}^2$
 $3 \times 6 - 3 \times 240 \text{ мм}^2$
 $3 \times 6 + 1 \times 2,5 - 3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$

АВББШвнг-LS-1

$4 \times 6 - 4 \times 240 \text{ мм}^2$
 $5 \times 1,5 - 5 \times 240 \text{ мм}^2$

АВБбШнг-13×2,5 + 1×1,5—3×240 + 1×120 мм²4×2,5—4×240 мм²5×2,5—5×240 мм²3×10 + 1×6—3×240 + 1×120 мм²4×10—4×240 мм²2×1,5—2×240 мм²3×1,5—3×240 мм²3×2,5 + 1×1,5—3×240 + 1×120 мм²4×1,5—4×240 мм²**АВВб, АВВбГ-0,66/1**2×2,5—2×240 мм²3×2,5—3×240 мм²3×4 + 1×2,5—3×240 + 1×120 мм²4×2,5—4×240 мм²**ВРГ-0,66/1**1×1,0—1×95 мм²2×1,0—2×95 мм²3×1,0—3×95 мм²3×1,0 + 1×1,0—3×95 + 1×70 мм²4×1,0—4×95 мм²**ВРГз-0,66/1**2×1,0—2×95 мм²3×1,0—3×95 мм²3×1,0 + 1×1,0—3×95 + 1×70 мм²4×1,0—4×95 мм²**ВРбГ, ВРбГ-0,66/1**2×10—2×70 мм²3×6—3×95 мм²3×4 + 1×2,5—3×95 + 1×70 мм²4×4—4×95 мм²**АВРГ-0,66/1**1×4—1×95 мм²2×2,5—2×95 мм²3×2,5—3×95 мм²3×2,5 + 1×2,5—3×95 + 1×70 мм²4×2,5—4×95 мм²**АВРб, АВРбГ-0,66/1**2×10—2×95 мм²**ВБбШВнг-LS-0,66/1; ПвВГ; ПвВГнг-1;****ПвБбШв-1; ПвБбШнг-1; ПвБбШп-1; АпвВГ,****АпвВГнг-1; АпвБбШв-1; АпвБбШнг-1;****АпвБбШп-1 ВВб; ВВбГ-0,66/1**3×10 + 1×6—3×240 + 1×120 мм²4×10—4×240 мм²3×6—3×95 мм²3×4 + 1×2,5—3×95 + 1×70 мм²4×4—4×95 мм²**НУМ-Ј, НУМ-О**1×1,5—1×16 мм²2×1,5—2×35 мм²3×1,5—3×35 мм²**НУМ, НУМ-З**4×1,5—4×35 мм²5×1,5—5×35 мм²**КГВВнг-0,66**2×0,75—2×6,0 мм²3×0,75—3×6,0 мм²3×1,0 + 1×1,0—3×6,0 + 1×4 мм²4×0,75—4×6,0 мм²5×0,75—5×6,0 мм²**КГВЭВ; КГВЭВнг-0,66**2×1,5—2×6,0 мм²3×1,5—3×6,0 мм²3×1,5 + 1×1,0—3×6,0 + 1×4 мм²4×1,5—4×6,0 мм²5×1,5—5×6,0 мм²**КГВВнг-1**1×10—1×300 мм²2×10—2×150 мм²3×10—3×150 мм²3×10 + 1×4—3×150 + 1×70 мм²4×10—4×150 мм²5×10—5×150 мм²**КГВЭВ, КГВЭВнг-1**2×10—2×120 мм²3×10—3×120 мм²3×10 + 1×4—3×95 + 1×50 мм²4×10—4×95 мм²5×10—5×70 мм²

13.5. Кабели и провода теплостойкие монтажные (Энергопром, г. Москва)

Эти провода и кабели серии «Энерготерм» выпускают с высоким температурным индексом (–60; 180; 250; 400; 600; 800 °С), высокой влагостойкостью и гибкостью; на рабочее напряжение 660 В (табл. 13.48).

Таблица 13.48. Характеристики проводов и кабелей

Энерготерм-180М (ПТМК)	Энерготерм-400М (ПТМС)
Медная жила	Медная жила
Класс гибкости жил — 4 и 5	Класс гибкости жил — 4 и 5
Число жил — 2, 3, 4	Число жил — 1, 3, 4
Сечение 0,75—35 мм ²	Сечение 1,0—16 мм ²
Изоляция из теплостойкого, безгалогенового полимера (возможно исполнение разного цвета)	Обмотка огнестойкими лентами с пропиткой
Безгалогеновое заполнение	Обмотка стеклолентой
Обмотка стеклолентой:	Обмотка стеклолентой:
а) оплетка стекловолокном с органосиликатной пропиткой;	оплетка стекловолокном с органосиликатной пропиткой
б) оболочка из теплостойкого безгалогенового полимера	
Рабочая температура от –60 до +180 °С	Рабочая температура от –60 до +400 °С

Применяется в помещениях с повышенной (до 1000 °С и выше) температурой (доменный, мартеновский, литейный цехи; прокатный стан, участок термической обработки, нефтеперегонная колонна; производство цемента, аммиака, стекла; теплоэлектростанции, атомные электростанции).

13.6. Силовые кабели с изоляцией из СПЭ, самонесущие изолированные провода (ОАО «Камкабель», г. Пермь)

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) на напряжение 10 кВ

Типы кабелей:

АПвП	ПвП
АПвПу	ПвПу
АПвВ	ПвВ
АПвВнг-LS	ПвВнг-LS

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) на напряжение 10 кВ должны заменить морально устаревшие кабели с пропитанной бумажной изоляцией (БПИ).

Кабели с изоляцией из СПЭ имеют преимущества перед кабелями с БПИ: более высокую надежность в эксплуатации; меньшие расходы на реконструкцию и содержание кабельных линий; низкие диэлектрические потери (коэффициент диэлектрических потерь 0,001 вместо 0,008); большую пропускную способность за счет увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительной (90 вместо 70 °С), при перегрузке (130 вместо 90 °С); при КЗ (250 вместо 200 °С); высокую стойкость к повреждениям; низкую допустимую температуру при прокладке без предварительного подогрева (–20 вместо 0 °С); низкое влагопоглощение; меньшие массу, диаметр и ра-

диус изгиба, что облегчает прокладку на сложных трассах; возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней; более экологичный монтаж и эксплуатацию (отсутствие свинца, масла, битума).

Применяются для прокладки на трассах без ограничения разности уровней:

АПП, ПП, АППу, ППу:

- в земле (в траншеях) независимо от степени коррозионной активности, если кабель защищен от механических повреждений;
- на воздухе, в том числе в кабельных сооружениях, при условии обеспечения дополнительных мер противопожарной защиты;
- в грунтах с повышенной влажностью и сырых, частично затопляемых сооружениях, а также по согласованию с изготовителем, в несудоходных водоемах и в судоходных — при соблюдении мер, исключающих механические повреждения кабеля (кабели с индексом «г» и «2г»);
- на трассах сложной конфигурации (кабели АПвПу, ПвПу);

ПвВ, АПвВ, ПвВнг-LS, АПвВнг-LS:

- на воздухе, в том числе в кабельных сооружениях и производственных помещениях;
- в сухих грунтах.

Не распространяют горение:

- кабели марок ПвВ, АПвВ при одиночной прокладке;
- ПвВнг-LS АПвВнг-LS при прокладке в пучках.

Длительно допустимые токовые нагрузки кабелей с изоляцией из СПЭ выше, чем нагрузки кабелей с БПИ:

на 25—40% (при расположении треугольником);

30—75% (при расположении в плоскости).

Это позволяет использовать кабель меньшего сечения или с большей нагрузкой.

Технические характеристики кабелей

Номинальное переменное напряжение частотой 50 Гц, кВ	10
Рабочая температура жил, °С	+90(+70*)
Допустимый нагрев жил при работе в аварийном режиме, °С	+130(+90*)
Максимальная температура жил при коротком замыкании, °С	+250(+200*)
Эксплуатация при температуре окружающей среды, °С:	
ПвВ, АПвВ, ПвВнг-LS, АПвВнг-LS	-50÷+50
ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу	-60÷+50
Монтаж без предварительного подогрева при температуре, °С, не ниже:	
ПвВ, АПвВ, ПвВнг-LS, АПвВнг-LS	-15*
ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу	-20
Радиус изгиба кабелей (наружных диаметров)	15(7,5**); (15—25)*
Гарантийный срок эксплуатации, лет	5*
Срок службы, лет	30

* Для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией (БПИ).

** При использовании специального шаблона при монтаже.

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1 кВ

Типы кабелей:

АПВВГ; ПВВГ; АПВВГнг; ПВВГнг; АПВБбШв; ПВБбШв; АПВБбШнг; ПВБбШнг; АПВБбШп; ПВБбШп

Оболочка:

- для АПВВГ, АПВБбШв, ПВБбШв, ПВВГ — из ПВХ-пластиката, не распространяющая горение при одиночной прокладке;
- для АПВВГнг, ПВВГнг, АПВБбШнг, ПВБбШнг — из ПВХ-пластиката пониженной горючести, не распространяющая горение при прокладке в пучках;
- для АПВБбШп, ПВБбШп — из полиэтилена.

Применяются для прокладки:

АПВГ, АПВГн, ПВГ, ПВГн:

- в воздухе при отсутствии опасности механических повреждений в ходе эксплуатации; в сухих или сырых помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях, частично затапливаемых сооружениях при наличии среды со слабой, средней и высокой коррозионной активностью;
- на специальных кабельных эстакадах, по мостам и в блоках;
- в местах, подверженных вибрации.

АПБбШ, АПБбШн, ПБбШ, ПБбШн:

- в земле (траншеях) с низкой, средней или высокой коррозионной активностью, с наличием или отсутствием блуждающих токов, если в процессе эксплуатации кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям;
- в воздухе при наличии опасности механических повреждений в ходе эксплуатации;
- для прокладки в сухих или сырых помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях, частично затапливаемых сооружениях при наличии среды со слабой, средней и высокой коррозионной активностью;

АПВБбШп, ПВБбШп:

- в земле (траншеях) с низкой, средней или высокой коррозионной активностью, с наличием или отсутствием блуждающих токов, если в процессе эксплуатации кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям;
- в грунтах с повышенной влажностью;
- в воде.

Длительно допустимые токовые нагрузки больше на 13—16% в сравнении с кабелями с изоляцией из ПВХ-пластиката, а также при равных токовых нагрузках дают возможность использовать кабели сечением на ступень ниже.

Кроме того, силовые кабели из СПЭ имеют более высокую надежность при эксплуатации, медленное старение изоляции, высокую электрическую прочность изоляции, меньшую массу и габариты.

Технические характеристики кабелей

Номинальное переменное напряжение частотой 50 Гц, кВ	1
Максимальное переменное напряжение частотой 50 Гц, кВ	1,2
Испытательное переменное напряжение 50 Гц, 10 мин, кВ	3,5
Сопротивление изоляции при температуре 90 °С, МОм × км, не менее	500,005*
Рабочая температура жил, °С	+90(+70)
Температура жил при работе в аварийном режиме, °С	+130(+80)
Температура жил при коротком замыкании в течение 4 с, °С	+250(+160)
Эксплуатация:	
при температуре окружающей среды, °С	-50 ÷ +50
влажности воздуха при 35 °С, %	98
Монтаж при температуре не ниже, °С	-15
Радиус изгиба кабеля, наружных диаметров	7,5
Гарантийный срок эксплуатации, лет	5
Срок службы, лет	30

* Для кабелей с изоляцией из ПВХ-пластиката.

Самонесущие изолированные провода применяются на ВЛ электропередачи с подвеской на опорах или фасадах зданий и сооружений (табл. 13.49—13.51).

Типы самонесущих изолированных проводов:

СИП-1; СИП-1А;

СИП-2; СИП-2А; СИП-3.

Конструкция:

1) фазная токопроводящая жила из алюминия, многопроволочная, уплотненная;

2) нулевая несущая жила из алюминиевого сплава АВЕ или сталеалюминиевая, многопроволочная, уплотненная;

3) изоляция:

- светостабилизированного полиэтилена (LDPE) для проводов СИП-1, СИП-1А;

- светостабилизированного полиэтилена (XDPE) для проводов СИП-2, СИП-2А, СИП-3.

Таблица 13.49. Технические характеристики проводов СИП-1, СИП-1А, СИП-2, СИП-2А, СИП-3

Количество и сечение жил, шт. × мм ²	Масса, кг/км		Диаметр, мм	Токовая нагрузка, А	Ток короткого замыкания, кА
СИП-1, СИП-1А					
1×16 + 1×25	159,29	192,99	15	75	1
2×16	—	135,84	13	70	1
2×25	—	202,4	15	95	1,6
3×16 + 1×25	294,48	327,97	22	70	1
3×25 + 1×35	434,19	478,85	26	95	1,6
3×35 + 1×50	600,04	651,68	30	115	2,3
3×50 + 1×70	815,64	884,12	35	140	3,2
3×70 + 1×95	1122,41	1205,21	41	180	4,5
3×120 + 1×95	1620,18	1702,98	47	250	5,9
4×16	—	271,7	22	70	1
4×25	—	404,81	26	95	1,6
4×16 + 1×25	362,4	395,89	22	70	1
4×25 + 1×35	535,39	580,06	26	95	1,6
СИП-2, СИП-2А					
1×16 + 1×25	157,9	189,86	15	105	1,5
2×16	—	131,9	13	100	1,5
2×25	—	253	15	130	2,3
3×16 + 1×25	290,4	322,13	22	100	1,5
3×25 + 1×35	428,9	465,13	26	130	2,3
3×35 + 1×50	574,61	624,2	30	160	3,2
3×50 + 1×70	809,51	867,04	35	195	4,6
3×70 + 1×95	1089,59	1165,1	41	240	6,5
3×95 + 1×95	1363,32	1438,83	45	300	8,8
3×120 + 1×95	1579,67	1655,18	47	340	7,2
4×16	—	263,8	22	100	1,5
4×25	—	394,3	26	130	3,2
4×16 + 1×25	356,98	388,7	22	100	1,5
4×25 + 1×35	528,31	564,57	26	130	3,2
СИП-3					
1×50	239		12,6	245	4,3
1×70	304		14,3	310	6,4
1×95	383		16	370	8,6
1×120	461		17,4	430	11
1×150	552		18,8	485	13,5

Таблица 13.50. Техническая характеристика проводов СИП-1, СИП-1А, СИП-2, СИП-2А, СИП-3

Параметр	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-3
Номинальное переменное напряжение частотой 50 Гц, кВ	1	1	20
Рабочая температура жилы, °С, не более	70	90	90
Температура жилы в режиме перегрузки в течение 8 ч, °С, не более	80	130	130
Температура короткого замыкания, °С	135	250	250
Температура окружающей среды, min/max, °С	-50/+50		
Монтаж при температуре, не ниже, °С	-20		
Гарантийный срок эксплуатации, лет	3		
Срок службы, лет	25		

Таблица 13.51. Сопротивление токопроводящих жил, Ом/км, не более

Сечение, мм ²	Фазные	Несущие
16	1,91	—
25	1,2	1,38
35	0,868	0,986
50	0,641	0,72
70	0,443	0,493
95	0,32	0,363
120	0,253	0,288
150	—	0,236

13.7. Силовые кабели, не распространяющие горение, безгалогенные, с изоляцией из СПЭ (ОАО «Завод Саранскабель»)

Таблица 13.52. Технические характеристики силовых кабелей, не распространяющих горение, безгалогенных

Марка	Количество жил и сечение, мм ²	Напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Примечание
ППГнг-НФ	1×1,5—1×50 2×1,5—2×50 3×1,5—3×50 3×1,5 + 1×1—3×50 + 1×25 4×1,5—4×50 4×1,5 + 1×1—4×35 + 1×10 5×1,5—5×50	0,66	В Категории 3, 4	Предназначены для эксплуатации на объектах, где требуется повышенный уровень безопасности, превышающий обычные стандарты для кабелей из ПВХ-пластиката. Изоляция токопроводящих жил — сшитый полиэтилен. Наружная оболочка из полимерных композиций, не содержащая галогены
ППГнг-НФ	1×1,5—1×240 2×1,5—2×240 3×1,5—3×240 3×1,5+1×1—1×240+1×120 4×1,5—4×240 5×1,5—5×240	—	В Категории 3, 4	

Продолжение табл. 13.52

Марка	Количество жил и сечение, мм ²	Напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Примечание
ПвПнг-НГ	1×1,5—1×240 2×1,5—2×240 3×1,5—3×240 3×1,5+1×1—1×240+1×120 4×1,5—4×240 5×1,5—5×240	1	В Категории 3, 4	Предназначены для эксплуатации на объектах, где требуется повышенный уровень безопасности, превышающий обычные стандарты для кабелей и ПВХ-пластиката. Изоляция токопроводящих жил и наружная оболочка — полимерная композиция, не содержащая галогены
ПвБПнг-НГ	2×4—2×50 3×4—3×50 3×4+1×2,5—3×50+1×25 4×4—4×50 5×4—5×50	0,66	В Категории 3, 4	
ПвБПнг-НГ	2×4—2×240 3×4—3×240 3×4 + 1×25—3×50 + 1×120 4×4—4×240 5×4—5×240	1	В Категории 3, 4	

Примечание. Сечения основной жилы: 1,5—240 мм²; сечения нулевой жилы: 1,5—120 мм²; сечения жилы заземления: 1,0—70 мм².

Таблица 13.53. Технические характеристики силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Марка	Количество жил и сечение, мм	Напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Примечание
ПвВГ АПвВГ	1×1,5—1×240 2×1,5—2×240 3×1,5—3×240 4×1,5—4×240 5×1,5—5×50	1	ХЛ, УХЛ, Т	Изоляция — силанольносшитый полиэтилен
ПвзБбШв АПвзБбШв ПвБбШв АПвБбШв	1×1,5—1×240 2×1,5—2×240 3×1,5—3×240 4×1,5—4×240 5×1,5—5×50	1 3	ХЛ, УХЛ, Т	Изоляция — силанольносшитый полиэтилен. Защитный покров — броня из двух стальных оцинкованных лент
ПвВГ АПвВГ	3×35—3×120	6	ХЛ, УХЛ, Т	Изоляция — силанольносшитый полиэтилен
ПвП АПвП ПвПУ АПвПУ ПвПг, АПвПг, ПвПуг, АПвПуг,	1×50—1×600	10 20 35 10 20 35 10 20	УХЛ	Изоляция — пероксидносшитый полиэтилен. Оболочка — полиэтилен; г — водоблокирующие ленты герметизации металлического экрана, например, ПвПг; 2г — алюмополимерная лента поверх герметизированного экрана, например, ПвП2г;

Окончание табл. 13.53

Марка	Количество жил и сечение, мм	Напряже- ние, кВ	Климатическое исполнение	Примечание
ПвП2г, АПвП2г, АПвПу2г, ПвПу2г	1×50—1×600	35 10 20 35 10, 20, 35	УХЛ	у — в усиленной оболочке из полиэтилена
ПвВ АПвВ	1×50—1×600	10 20 35 10 20 35	УХЛ	Оболочка — ПВХ-пластикат
ПвВнг-LS АПвВнг-LS	1×50—1×600	10 20 35 10 20 35	УХЛ	Оболочка — ПВХ-пластикат пониженной пожароопасности

Осветительные устройства

14.1. Общие технические характеристики ламп накаливания, люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления, светильников, импульсных зажигающих устройств

Производители осветительных приборов — ОАО «Лисма», Мордовия; ЗАО «Энерго», г. Красногорск; ЗАО НПСП «Светосервис», г. Москва; НПФ «Интегдиф», г. Киев.

Условные обозначения светильников

Первая буква обозначает источник света (лампу): Н — накаливания общего назначения; С — лампы-светильники (зеркальные и диффузные); И — кварцевые галогенные (накаливания); Л — прямые трубчатые люминесцентные; Ф — фигурные люминесцентные; Э — эритемные люминесцентные; Р — ртутные типа ДРЛ; Г — ртутные типов ДРИ, ДРИШ; Ж — натриевые типа ДНаТ; Б — бактерицидные; К — ксеноновые трубчатые.

Вторая буква обозначает способ установки светильника: С — подвесные; П — потолочные; В — встраиваемые; Д — пристраиваемые; Б — настенные; Н — настольные, опорные; Т — напольные, венчающие; К — консольные, торцевые; Р — ручные; Г — головные.

Третья буква обозначает основное назначение светильника: П — для промышленных и производственных зданий; О — для общественных зданий; Б — для жилых (бытовых) помещений; У — для наружного освещения; Р — для рудников и шахт; Т — для кинематографических и TV-студий.

Далее по порядку: двузначное число (01—99) обозначает номер серии; затем следуют цифры, обозначающие мощность ламп в ваттах; номер модификации; буква и цифры в конце обозначают климатическое исполнение и категорию размещения светильников.

Лампы накаливания общего назначения (ЛОН) (табл. 14.1) в настоящее время являются наиболее массовыми источниками света. Они предназначены для работы в сетях переменного тока частотой 50 Гц, с номинальным напряжением 220 В. Средняя продолжительность горения ламп — 1000 ч. Обозначения лампы: В — вакуумная; Б — биспиральная с аргоновым наполнением; БО — биспиральная с аргоновым наполнением в опаловой колбе;

Г — моноспиральная с аргоновым наполнением; РН — лампы накаливания различного назначения; 220—230 — диапазон напряжения сети, В, в котором рекомендуется эксплуатировать лампу; 100 — мощность лампы, Вт.

Таблица 14.1. Технические характеристики ламп накаливания серий В, Б, РН

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип цоколя
В220-230-25-1*	25	220	E27
Б220-230-25-1*	25	200	E27**
Б220-230-25-2	25	200	E27**
Б220-230-40*	40	430	E27
Б220-230-40-1*	40	430	E27**
Б220-230-40-2*	40	415	E27
Б225-235-40-2*	40	355	E27
Б220-230-60*	60	730	E27
Б220-230-60-1*	60	730	E27**
Б220-230-60-2*	60	715	E27
Б225-235-60-2*	60	655	E27
Б220-230-75-1*	75	960	E27**
Б220-230-75-2	75	960	E27**
Б220-230-100*	100	1380	E27
Б220-230-100-1*	100	1380	E27**
Б225-235-100-2*	100	1203	E27
Б235-245-150	150	2180	E27
Б235-245-150-1*	150	2180	E27
РН220-230-200-1	200	2950	E27
РН220-230-300	300	3350	E27
РН230-240-300	300	4800	E40
РН 215-225-500	500	8400	E40
РН 215-225-500-1	500	8400	E40

* Возможно изготовление ламп в опаловых колбах.

** Возможно изготовление с цоколями В 22d.

Лампы накаливания зеркальные (лампы-светильники) (табл. 14.2) предназначены для освещения помещений с высокими пролетами, подсветки витрин и рекламы, используются при фото- и киносъемках и для других целей. Пространственное распределение светового потока лампы определяется формой колбы, на внутреннюю поверхность которой нанесено зеркальное покрытие. Зеркальные лампы накаливания выпускаются с концентрированной (ЗК), широкой (ЗШ) и косинусной (ЗД) кривой светораспределения.

Зеркальные лампы типа ИКЗ являются высокоэффективным источником

инфракрасного излучения и применяются для обогрева молодняка животных, в технологических процессах сушки продуктов, лаков, красок и для других целей.

Таблица 14.2. Технические характеристики ламп накаливания серий ЗК и ИКЗ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Сила света, кд	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
					<i>L</i>	<i>D</i>	
ЗК125-135-200	200	2600	2500	1500	175	126	E27
ЗК125-135-500-2	500	7100	8000	1000	267	160	E40
ЗК215-225-300-1	300	3600	3000	1000	262	160	E40
ЗК215-225-500	500	5000	5050	1500	262	160	E40
ЗК215-225-500-1	500	6400	6200	1000	262	160	E40
ЗК220-230-25 (R39)	25	—	180	1000	66,5	39	E14
ЗК220-230-25-1 (R50)	25	—	180	1000	87	50	E40
ЗК220-230-40-1 (R50)	40	—	350	1000	87	50	E14
ЗК220-230-40-2 (R63)	40	—	450	1000	105	63,5	E27
ЗК220-230-60-2 (R63)	60	—	800	1000	105	63,5	E27
ЗК220-230-200	200	2150	2100	1500	175	126	E27
ЗК220-230-300	300	3100	2800	1500	175	126	E27
ЗД220-230-60 (R80)	60	—	200	1000	116	81	E27
ЗД220-230-75 (R80)	75	—	280	1000	116	81	E27
ЗД220-230-100 (R80)	100	—	410	1000	116	81	E27
ИКЗ215-225-250-1	250	2350*	—	5000	175	134	E27
ИКЗ215-225-500	500	2350*	—	6000	250	134	E40

* Цветовая температура, К.

Примечание. *D* — диаметр колбы; *L* — высота лампы.

Лампы накаливания местного освещения (табл. 14.3) предназначены для освещения рабочих мест станочного парка и другого технологического оборудования. Лампы выпускаются на рабочее напряжение 12, 24 и 36 В, что соответствует требованиям по электробезопасности.

Таблица 14.3. Технические характеристики ламп накаливания серии МО

Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм		Тип цоколя
				<i>L</i>	<i>D</i>	
МО24-25	24	25	350	108	61	E27
МО36-25	36	25	300	108	61	E27
МО12-40	12	40	620	108	61	E27
МО36-40	36	40	580	108	61	E27
МО36-60	36	60	950	108	61	E27
МО36-100	36	100	1590	108	61	E27

Примечание. Средняя продолжительность горения — 1000 ч.

Лампы накаливания кварцевые галогенные серии КГ (табл. 14.4) применяются в качестве источника света для прожекторов различного назначения, для освещения помещений производственного и культурно-спортивного назначения, архитектурного и рекламного освещения и т.п. Пример обозначения: КГ220-500 — КГ — кварцево-галогенная лампа; 220 — номинальное значение напряжения питания В; 500 — мощность лампы, Вт; дополнительная буква Д после первых двух букв означает применение в лампе дифференцированного тела накала.

Таблица 14.4. Технические характеристики ламп накаливания серии КГ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
					L	D	
КГ220-500-1	500	14000	3200	1500	132	11	R7s
КГ220-500-5	500	9500	—	1500	119	12	R7s
КГ220-500-6	500	9500	—	1500	132	12	R7s
КГ220-1000-3	1000	26000	3200	400	180	11	Плоский металлический
КГ220-1000-4	1000	26000	3200	420	180	11	R7s
КГ220-1000-5	1000	22000	—	2000	189	12	R7s
КГ220-1000-8	1000	22000	—	1500	189	12	R7s
КГ220-1500	1500	33000	—	2000	254	12	R7s
КГ220-2000-2	2000	54900	3200	450	236	11	Плоский металлический
КГ220-2000-3	2000	54900	3200	450	236	11	R7s
КГ220-2000-4	2000	44000	—	2000	335	12	R7s
КГ220-2000-5	2000	54900	3200	450	262	11	Специальный
КГ220-230-100	100	1300	—	1500	80	12	R7s
КГ220-230-150	150	2100	—	1500	119	12	R7s
КГ220-230-150-1	150	2100	—	1500	80	12	R7s
КГ220-230-200	200	3200	—	2000	119	12	R7s
КГ220-230-300	300	5000	—	2000	119	12	R7s
КГ220-230-500-1	500	9500	3200	2000	132	12	R7s
КГ220-230-900	900	22000	—	1500	191	12	R7s
КГ220-230-1000-5	1000	22000	3200	2000	191	12	R7s
КГ220-230-1300	1300	33000	—	1500	256	12	R7s
КГ220-230-1500	1500	33000	3200	2000	256	12	R7s
КГ220-230-2000	2000	44000	3200	2000	337	12	R7s
КГ220-230-5000	5000	110000	—	3000	520	20,5	R7s
КГ220-230-10000	10000	220000	—	3000	655	27	R7s

Лампы люминесцентные (табл. 14.5) делятся на две группы: общего и специального назначения. Лампы общего назначения предназначены для целей освещения. Лампы специального назначения имеют специальные эксплуатационные свойства, обусловленные конструкцией, спектром излучения и т. д.

Люминесцентные лампы эксплуатируются в электрических сетях переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 220 В, с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой, обеспечивающей зажигание лампы, нормальный режим работы и устранение радиопомех.

Обозначения лампы: первая буква — Л — люминесцентная; следующие одна или две буквы — цвет излучения: Б — белый; ТБ — тепло-белый; Д — дневной; буква Ц после обозначения цвета означает высокое (де люкс) качество цветопередачи; следующие одна или две буквы обозначают конструктивные особенности: УТ—универсальная транспортная; цифры, стоящие после букв, обозначают мощность лампы, Вт.

Таблица 14.5. Технические характеристики люминесцентных ламп серий ЛБ, ЛД, ЛБУТ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
				L	D	
ЛБ4-7	4	120	6000	150,1	16	G5
ЛБ6-7	6	240	7500	226,3	16	G5
ЛБ8-7	8	350	7500	302,5	16	G5
ЛБ13-7	13	770	7500	531,1	16	G5
ЛБ20-2	20	1060	10 000	604	32	G13
ЛД20-2	20	880	10 000	604	32	G13
ЛБ40	40	3000	10 000	1213,6	38,5	G13
ЛБ40-2	40	3000	10 000	1213,6	32	G13
ЛД40	40	2300	10 000	1213,6	38,5	G13
ЛД40-2	40	2300	10 000	1213,6	32	G13
ЛБ80-7	80	5200	12 000	1514,2	40,5	G13
ЛД80-7	80	4250	12 000	1514,2	40,5	G13
ЛБУТ20-2	20	1060	10 000	604	32	G13
ЛБУТ40-2	40	2800	10 000	1213,6	32	G13

Лампы люминесцентные компактные (табл. 14.6) Компактные люминесцентные лампы являются современными энергоэкономичными источниками света, используются в светильниках местного, общего и декоративного освещения жилых и административных помещений. Лампы включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (ПРА). Лампы серии КЛ имеют встроенный в цоколь стартер и эксплуатируются с электромагнитными ПРА. Компактные люминесцентные лампы серии КЛУ предназначены для работы как

с электромагнитными, так и с электронными ПРА. Лампы серии КЛЭ имеют встроенные в цокольную часть лампы электронную ПРА, стандартный цоколь E14 или E27 и предназначены для прямой замены ламп накаливания.

Таблица 14.6. Технические характеристики компактных люминесцентных ламп серий КЛ, КЛУ, КЛЭ

Тип	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	$T_{цв}$, К	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
						L	D	
КЛ7/ТБЦ; ТБЦ-1	45	7	400	2700	8000	135	13	G23
КЛУ7/ТБЦ; ТБЦ-1	45	7	400	2700	8000	135	13	2G7
КЛ9/ТБЦ; ТБЦ-1	60	9	600	2700	8000	167	13	G23
КЛУ9/ТБЦ; ТБЦ-1	60	9	600	2700	8000	167	13	2G7
КЛ11/ТБЦ; ТБЦ-1	90	11	900	2700	8000	235	13	G23
КЛУ11/ТБЦ; ТБЦ-1	90	11	900	2700	8000	235	13	2G7
КЛЭ11-4	220*	11	600**	3500	8000	143	42	E27
КЛЭ 15-4	220*	15	900**	3500	8000	180	42	E27
КЛЭ20-4	220*	20	1200**	3500	8000	200	42	E27
КЛЭ20-6	220*	20	1200**	3500	8000	157	52	E27
КЛЭ23-6	220*	23	1500**	3500	8000	176	52	E27

* Значение номинального напряжения сети.

** После 100 ч горения.

Лампы разрядные ртутные высокого давления (табл. 14.7) серии ДРЛ используются для освещения улиц, открытых пространств, производственных площадей, где не предъявляются высокие требования к цветопередаче, и характеризуются высокой световой отдачей и большой продолжительностью горения.

Лампы ДРЛФ 400-1 имеют повышенную долю излучения в красной области спектра, рефлекторный отражающий слой на внутренней поверхности колбы и предназначены для использования в облучательных установках при выращивании растений в теплично-парниковых хозяйствах, оранжереях, фитотронах.

Лампы ДРЛ, ДРЛФ эксплуатируются в сетях переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В с соответствующими пускорегулирующими аппаратами.

Дуговые ртутные лампы высокого давления типа ДРВ эксплуатируются без пускорегулирующих аппаратов и используются для прямой замены ламп накаливания. Основное назначение ламп ДРВ160, ДРВ250, ДРВ500, ДРВ750-1 — освещение парковых зон, открытых пространств.

Лампы ДРВ 750 предназначены для дополнительного облучения растений в теплично-парниковых хозяйствах.

Таблица 14.7. Технические характеристики ртутных ламп серий ДРЛ, ДРЛФ, ДРВ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Фитопоток, мфт	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
					L	D	
ДРЛ125 (8)-1	125	6000	18 000	12 000	178	76	E27
ДРЛ250 (8)-1	250	13 200		12 000	228	91	E40
ДРЛ250 (8)-ПН	250	13 200		12 000	228	91	E40
ДРЛ400 (8)-1	400	23 700		15 000	292	122	E40
ДРЛ700 (8)	700	40 800		20 000	357	152	E40
ДРЛ1000(8)-1	1000	58 500		18 000	411	167	E40
ДРЛФ400-1	400	20 000		7000	350	152	E40
ДРВ160-1	160	2500		3000	178	76	E27
ДРВ250	250	4600		3000	228	91	E40
ДРВ500	500	12 250	18 000	3000	292	122	E40
ДРВ750	750	22 000	22 000	2500	368	152	E40
ДРВ750-1	750	22 000		3000	357	152	E40

Лампы разрядные высокого давления металлогалогенные серии ДРИ для общего освещения (табл. 14.8, 14.9) с индексами 5 и 6 предназначены для освещения открытых пространств, промышленных помещений, обеспечивают достаточно высокое качество цветопередачи ($R_a = 65$, $T_{\text{цв}} = 4200 \text{ К}$). Лампы включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 и 380 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой и импульсным зажигающим устройством.

Таблица 14.8. Технические характеристики металлогалогенных ламп серии ДРИ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм			Тип цоколя
				L	D	H	
ДРИ250-5	250	19 500	10 000	227	91	142	E40
ДРИ250-6	250	19 500	3000	227	62	142	E40
ДРИ400-5	400	36 000	10 000	290	122	185	E40
ДРИ400-6	400	33 000	3000	290	62	185	E40
ДРИ700-5	700	60 000	9000	370	152	240	E40
ДРИ700-6	700	56 000	3000	345	80	220	E40
ДРИ1000-5	1000	103 000	9000	390	176	245	E40
ДРИ1000-6	1000	103 000	3000	345	80	220	E40
ДРИ2000-6	2000	200 000	2000	430	100	255	E40
ДРИ3500-6	3500	350 000	1500	430	100	255	E40

Примечание. H — высота светового центра.

Металлогалогенные разрядные лампы высокого давления серии ДРИ с индексом 1М характеризуются высоким качеством цветопередачи, высокой световой отдачей и используются для освещения открытых и закрытых спортивных сооружений, площадей, производственных помещений, кино- и телесъемочных площадок.

Таблица 14.9. Технические характеристики металлогалогенных ламп марки ДРИ-1М

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	R_a	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм			Тип цоколя
					L	D	H	
ДРИ 400-1М	360	25 200	75	1100	330	62	175	E40
ДРИ 1000-1М	1000	80 000	75	1100	405	80	220	E40
ДРИ 2000-1М	2000	170 000	80	900	485	100	260	E40
ДРИ 3000-1М	3500	300 000	85	650	485	100	260	E40

Натриевые лампы высокого давления серии ДНаТ являются наиболее экономичными из всех существующих источников света и широко применяются для освещения улиц, автотрасс, площадей, промышленных территорий и других открытых пространств, где не предъявляется высоких требований к качеству цветопередачи. Лампы включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (табл. 14.10).

Таблица 14.10. Технические характеристики натриевых ламп серии ДНаТ, ДНаМТ, ДНаЗ

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
				L	D	
ДНаТБР70	70	4200/4500*	5000	143	30	E27
ДНаТБР100	100	6800/7000*	5000	165	36	E27
ДНаТ100	100	10 500	16 000	211	48	E40
ДНаТ150	150	15 000	16 000	211	48	E40
ДНаТ250	250	28 000	20 000	250	48	E40
ДНаТ400	400	48 000	20 000	278	48	E40
ЛНаТ1000	1 000	130 000	16 000	390	66	E40
ДНаМТ220	220	19 000	12 000	227	91	E40
ДНаМТ350	350	33 000	12 000	292	122	E40
ДНаЗ100	100	9800	16 000	250	96	EX40/46
ДНаЗ150	150	14 000	16 000	250	96	EX40/46
ДНаЗ250	250	26 000	20 000	320	122	EX40/60×47
ДНаЗ400	400	46 000	20 000	320	122	EX40/60×47
ДНаЗ600	600	86 000	20 000	320	122	EX40/60×47

* После 100 ч горения.

Лампы общего назначения (миньоны) (табл. 14.11).

Таблица 14.11. Технические характеристики миньонов типов ДС и ДСО

Тип	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
					L	D	
ДС220-230-40	225	40	400	1000	103	36	E14
ДС220-230-60	225	60	680	1000	103	36	E14
ДСО235-245-40	240	40	395	1000	103	36	E14
ДСО235-245-60	240	60	670	1000	103	36	E14

Светильники промышленные (табл. 14.12—14.15) серий РСП, ССП, ЖСП и ГСП применяют для освещения помещений с высокими пролетами, производственных помещений с повышенной запыленностью и влажностью, для освещения и облучения в сельском (фермерском) хозяйстве, для освещения крытых спортивных сооружений.

Промышленные светильники выпускаются следующих марок:

РСП26-125-001.У5	РСП30-250-004.УХЛ4
РСП30-400-006.УХЛ4	РСП46-250-001.У2
РСП46-400-001.У2	РСП44-700-001.У2
РСП44-1000-001.У2	ССП04-250-001.УХЛ3
ССП04-250-002.УХЛ3	ССП04-400-001.УХЛ3
ССП04-400-002.УХЛ3	ССП04-700-001.УХЛ3
ССП04-700-002.УХЛ3	ССП10-250-002.У5
ЖСП50-150-001.УХЛ3	ЖСП50-250-001.УХЛ3
ЖСП50-400-001.УХЛ3	ГСП30-250-003.УХЛ4
ГСП30-400-005.УХЛ4	ГСП30-400-007.УХЛ4

Таблица 14.12. Технические характеристики светильников серии РСП

Параметр	РСП26-125-001	РСП330-250-004	РСП30-400-006	РСП46-250-001	РСП46-400-001
Номинальная частота, Гц	50	50	50	50	50
Напряжение, В	220	220	220	220	220
Коэффициент мощности, не менее	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Тип лампы	ДРЛ-125	ДРЛ-250	ДРЛ-400	ДРЛ-250	ДРЛ-400
Номинальная мощность лампы, Вт	125	250	400	250	400
КПД, %, не менее	—	55	55	70	70
Тип кривой силы света	Д	Д	Д	Д	Д
Степень защиты	IP23	IP23	IP23	IP23	IP22
Климатическое исполнение	У5	УХЛ4	УХЛ4	У2	У2

Окончание табл. 14.12

Параметр	РСП26-125-001	РСП330-250-004	РСП30-400-006	РСП46-250-001	РСП46-400-001
Габариты, мм	193×350	425×335×332	505×335×332	427×245×270	435×335×200
Масса, кг, не более	4	1,95*	2,05*	1,8*	1,4*

* Масса осветительной аппаратуры.

Таблица 14.13. Технические характеристики светильников серий РСП и ССП

Параметр	РСП44-700-001	РСП44-1000-001	ССП04-250-001	ССП04-250-002	ССП04-400-001
Номинальная частота, Гц	50	50	50	50	50
Напряжение, В	220	220	380	380	380
Коэффициент мощности, не менее	0,53	0,53	0,85	0,85	0,85
Тип лампы	ДРЛ-700	ДРЛ-1000	ДРИЗ-250	ДРИЗ-250	ДРИЗ-400
Номинальная мощность лампы, Вт	700	1000	250	250	400
КПД, %, не менее	70	70	90	60	90
Тип кривой силы света	Д	Д	Л	Л	Г
Степень защиты	IP22	IP22	IP22	IP22	IP22
Климатическое исполнение	У2	У2	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3
Габариты, мм	625×400×292	625×400×292	170×455	225×485	185×485
Масса, кг, не более	3,4*	3,5*	1,4*	2*	1,4*

* Масса осветительной аппаратуры.

Таблица 14.14. Технические характеристики светильников серий ССП и ЖСП

Параметр	ССП04-400-002	ССП04-700-001	ССП04-700-002	ССП10-250-002	ЖСП50-150-001
Номинальная частота, Гц	50	50	50	50	50
Напряжение, В	380	380	380	220	220
Коэффициент мощности, не менее	0,85	0,85	0,85	1	0,41
Тип лампы	ДРИЗ-400	ДРИЗ-700-2	ДРИЗ-700-2	ИКЗ-220-250	ДНаЗ-150
Номинальная мощность лампы, Вт	400	700	700	250	150
КПД, %, не менее	65	90	75	80	95
Тип кривой силы света	Г	Г	Г	Г	Ш
Степень защиты	IP22	IP22	IP22	IP22	IP53
Климатическое исполнение	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3	У5	УХЛ3
Габариты, мм	225×515	270×550	330×585	193×207	375×190×235
Масса, кг, не более	2*	1,7*	2,7*	1,3	1,6*

* Масса осветительной аппаратуры.

Таблица 14.15. Технические характеристики светильников серий ЖСП и ГСП

Параметр	ЖСП50-250-001	ЖСП50-400-001	ГСП30-250-003	ГСП30-400-005	ГСП30-400-007
Номинальная частота, Гц	50	50	50	50	50
Напряжение, В	220	220	220	380	220
Коэффициент мощности, не менее	0,32	0,42	0,85	0,85	0,85
Тип лампы	ДНаЗ-250	ДНаЗ-400	ДРИ-250	ДРИ-400	ДРИ-400
Номинальная мощность лампы, Вт	250	400	250	400	400
КПД, %, не менее	95	95	60	60	60
Тип кривой силы света	Ш	Ш	Д	Д	Д
Степень защиты	IP53	IP53	IP23	IP23	IP23
Климатическое исполнение	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4
Габариты, мм	450×190×235	450×190×235	425×335×332	505×335×332	505×335×332
Масса, кг, не более	1,8*	1,8*	1,95*	2,05*	2,05*

* Масса осветительной аппаратуры.

Светильники встраиваемые (табл. 14.16) предназначены для освещения жилых и общественных помещений, банков и офисов. Питаются от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Таблица 14.16. Технические характеристики светильников серий ЛВО

Тип	Модификация	Номинальная мощность лампы, Вт	Тип цоколя лампы	Габариты, мм	Масса, кг, не более
ЛВО33-1×13	201	13	КЛЛ13/G24d1	285×195×100	1,15
ЛВО33-1×18	201	18	КЛЛ18/G24d2	285×195×100	1,15
ЛВО33-2×13	201	2×13	КЛЛ13/C24q1	285×195×100	1,5
ЛВО33-2×18	201	2×18	КЛЛ18/G24q2	285×195×100	1,5
ЛВО33-1×26	201	26	КЛЛ26/G24d3	285×195×100	1,5
ЛВО33-2×26	201	2×26	КЛЛ26/G24q3	285×195×100	1,95
ЛВО33-1×13	203	13	КЛЛ13/G24d1	285×242×100	1,55
ЛВО33-1×18	203	18	КЛЛ18/G24d2	285×242×100	1,6
ЛВО33-2×13	203	2×13	КЛЛ13/G24q1	285×242×100	1,95
ЛВО33-2×18	203	2×18	КЛЛ18/G24q2	285×242×100	2
ЛВО33-1×26	203	26	КЛЛ26/G24d3	285×242×100	1,8
ЛВО33-2×26	203	2×26	КЛЛ26/G24q3	285×242×100	2,35
ЛВО33-1×13	204	13	КЛЛ13/G24d1	285×195×120	1,25

Окончание табл. 14.16

Тип	Модификация	Номинальная мощность лампы, Вт	Тип цоколя лампы	Габариты, мм	Масса, кг, не более
ЛВО33-1×18	204	18	КЛЛ18/G24d2	285×195×120	1,25
ЛВО33-2×13	204	2×13	КЛЛ13/G24q1	285×195×120	1,55
ЛВО33-2×18	204	2×18	КЛЛ18/G24q2	285×195×120	1,6
ЛВО33-1×26	204	26	КЛЛ26/G24d3	285×195×120	1,45
ЛВО33-2×26	204	2×26	КЛЛ26/G24q3	285×195×120	1,95
ЛВО33-15-23	241	15-23	КЛЛ15-23/E27	192×217	0,9
ЛВО33-1×18	242	18	КЛЛ18/G24d2	350×230×105	1,4
ЛВО33-2×18	242	2×18	КЛЛ18/G24q2	350×230×105	1,7
ЛВО33-1×26	242	26	КЛЛ26/G24d3	350×230×105	1,6
ЛВО33-2×26	242	2×26	КЛЛ26/G24q3	350×230×105	2,2
ЛВО33-70	251	70	ДРИ70/Rx7s	192×160	3,45
ЛВО33-70	252	70	ДРИ70/Rx7s	232×142×130	3,5

Светильники для ламп накаливания (табл. 14.17) ВЗГ-200 предназначены для освещения помещений с содержанием в воздухе взрывоопасных и горючих веществ. Светильники НСП-01/02 и ПСХ-60 предназначены для освещения пыльных и влажных производственных помещений. Светильники НСП-01/02 с модификациями 002/003 имеют защитную решетку.

Таблица 14.17. Технические характеристики светильников серий ВЗГ, ПСХ, НСП

Тип	Тип лампы	Степень защиты	Климатическое исполнение	Габариты, мм	Масса, кг, не более
ВЗГ-200	PH220-230-200	IP54	У2	Ø190×500	5,8
ПСХ-60	Б220-230-60	IP53	У3	250×135×130	1,1
НСП01-100-001	Б220-230-100	IP52	У2	Ø172×250	1,4
НСП01-100-002	Б220-230-100	IP52	У2	Ø172×250	1,44
НСП02-100-001	Б220-230-100	IP52	У2	Ø172×300	1,8
НСП02-100-002	Б220-230-100	IP52	У2	Ø172×300	2
НСП02-200-001	PH220-230-200	IP52	У2	Ø172×300	1,8
НСП02-200-003	PH220-230-200	IP52	У2	Ø172×300	2

Примечание. Номинальное напряжение 220 В, номинальная частота 50 Гц, тип цоколя Е27 для всех светильников одинаковы.

Светильники люминесцентные потолочные (табл. 14.18) предназначены для освещения общественных и жилых помещений, в частности офисов, школ, больниц, торговых залов, фойе и т.д.

Таблица 14.18. Технические характеристики люминесцентных светильников серии ЛПО

Тип	Габариты ($L \times S \times H$), мм	Количество и мощность ламп, Вт, в светильнике	Степень защиты	Масса, кг
ЛПО 24-1×20-001	619×60×102	1×20	IP20	1,32
ЛПО 24-1×20-002 «Кососвет»	619×60×130	1×20	IP20	1,6
ЛПО 14-1×20-001	625×70×108	1×20	IP20	2
ЛПО 46-1×20-006	630×124×90	1×20	IP20	3
ЛПО 22-2×20-001	619×102×100	2×20	IP20	1,35
ЛПО 12-2×20-001	625×164×72	2×20	IP20	2,1
ЛПО 46-2×18-002	630×200×75	2×18	IP20	2,5
ЛПО 26-1×40-001	1226×60×102	1×40	IP20	2
ЛПО 26-1×40-002 «Кососвет»	1226×60×130	1×40	IP20	2,6
ЛПО 16-1×40-001	1240×70×108	1×40	IP20	2,6
ЛПО 28-2×40-001	1226×102×100	2×40	IP20	3
ЛПО 12-2×40-004	1230×165×70	2×40	IP20	4,8
ЛПО 18-2×40-002	1240×164×72	2×40	IP20	4,5
ЛПО 46-2×36-006	1245×190×84	2×36	IP20	5,2
ЛПО 50-4×20	650×380×75	4×20	IP20	2

Светильники люминесцентные защищенные (табл. 14.19) предназначены для освещения пыльных и влажных производственных помещений.

Таблица 14.19. Технические характеристики люминесцентных светильников серий ПВЛМ, ЛСП, ЛПП

Тип	Габариты ($L \times S \times H$), мм	Количество и мощность ламп, Вт, в светильнике	Степень защиты	Масса, кг
ПВЛМ-2×40-02	1325×148×170	2×40	IP53	5,4
ЛСП 40-2×40-003	1316×240×158	2×40	IP54	6,25
ЛПП 24-2×36	1283×660×108	2×36	IP65	4,6
ЛСП 42-2×40-001	1291×600×105	2×40	IP54	5

Светильники люминесцентные растровые (табл. 14.20) применяются в торговых и выставочных залах, офисах, рабочих кабинетах, фойе и т.д.; ЛПО — накладной светильник, ЛВО — встраиваемый в подвесной потолок.

Таблица 14.20. Технические характеристики люминесцентных светильников серии ЛПО

Тип	Габариты ($L \times S \times H$), мм	Количество и мощность ламп, Вт, в светильнике	Степень защиты	Масса, кг
ЛПО 71-4×18	625×625×90	4×18	IP20	4,5
ЛПО 71-2×36	350×1260×90	2×36	IP20	4,5
ЛПО 71-4×36	625×1260×90	4×36	IP20	8,5

Окончание табл. 14.20

Тип	Габариты ($L \times S \times H$), мм	Количество и мощность ламп, Вт, в светильнике	Степень защиты	Масса, кг
ЛВО 13-4×18	605×605×92	4×18	IP20	4,5
ЛВО 13-4×18	595×595×92	4×18	IP20	4,5
ЛВО 19-4×18	595×595×90	4×18	IP20	4,5
ЛВО 19-4×18	605×605×90	4×18	IP20	4,5
ЛПО 72-4×18	635×635×90	4×18	IP20	4,5
ЛПО 72-2×36	1235×360×90	2×36	IP20	4,5

Светильники промышленные специального назначения (табл. 14.21, 14.22) типа РСР 60-250 и РСР-400 предназначены для освещения спортивных сооружений, производственных зданий и складских помещений. Светильники подвешиваются за крюк или на трос.

Рекомендуемая высота подвеса — 6—10 м. Выпускаются на напряжение 220 В, частоту 50 Гц, имеют степень защиты IP54, климатическое исполнение УХЛ1 и $\cos \varphi = 0,85$.

Таблица 14.21. Технические характеристики светильников серии РСР

Тип	Тип лампы	Номинальная мощность лампы, Вт	КПД, %, не менее	Тип кривой силы света	Габариты, мм	Масса, кг, не более
РСР 60-250	ДРЛ250	250	70	К	420×420×450	8,5
РСР 60-400	ДРЛ400	400	70	К	500×500×550	11,5

Светильники промышленные люминесцентные серии ЛСП предназначены для освещения пыльных и влажных производственных зданий.

Таблица 14.22. Технические характеристики светильников серии ЛСП

Тип	Номинальная частота, Гц	Напряжение сети, В	Тип лампы	Количество и мощность ламп, Вт	Степень защиты	Габариты, мм	Масса, кг, не более
ЛСП 41-2×40	50	220	ЛБ40	2×36/40	IP54	1267×105×160	4,6
ЛСП 43-2×40	50	220	ЛБ40	2×36/40	IP54	1285×91×137	3,56
ЛСП 45-2×40	50	220	ЛБ40	2×36/40	IP65	1243×108×52	3,1

Светильники антивандальные типа ЖПУ 03 (табл. 14.23) применяются для освещения тоннелей, лифтов, холлов и др. Источник света — натриевая лампа. Надежны в эксплуатации, имеют повышенную прочность к механическим воздействиям.

Таблица 14.23. Технические характеристики светильников типа ЖПУ 03

Параметр	Значение
Напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50
Тип лампы	Натриевая лампа с эллипсоидной матированной колбой (ДНаТ)
Мощность ламп, Вт	70
КПД, %, не менее	50
Тип кривой силы света	Д
Класс защиты от поражения электрическим током	I
Степень защиты от воздействия окружающей среды	IP20
Климатическое исполнение и категория размещения	У2
Габариты ($L \times S \times H$), мм	550×182×134
Масса, кг, не более	5,5
Срок службы, лет, не менее	10

Светильники антивандальные типа ФПО04 (табл. 14.24) применяются для освещения лифтовых холлов, коридоров, лестничных площадок и других вспомогательных помещений с временным пребыванием людей. Светильники выпускают с компенсированной и некомпенсированной схемами включения; светильники надежны в эксплуатации, энергоэкономичны, защищены от ударов.

Таблица 14.24. Технические характеристики светильников типа ФПО 04

Параметр	Значение
Напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50
Тип лампы	КЛЛ11
Мощность ламп, Вт	2×11
cos φ, не менее, для модификаций светильника:	
с компенсированной схемой включения	0,92
с некомпенсированной схемой включения	0,4
КПД, %, не менее	55
Тип кривой силы света	Д
Класс защиты от поражения электрическим током	1
Степень защиты от воздействия окружающей среды	IP54
Климатическое исполнение и категория размещения	VI
Габариты ($L \times S \times H$), мм	376×156×107
Масса, кг, не более	2,8
Срок службы, лет, не менее	10

Светильники антивандальные типа ЛПО 56 (табл. 14.25) применяются для освещения лестничных площадок, коридоров и других вспомогательных помещений с временным пребыванием людей. Светильники надежны в эксплуатации, энергоэкономичны, защищены от ударов.

Таблица 14.25. Технические характеристики светильников типа ЛПО 56

Параметр	Значение
Напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50
Тип лампы	КЛЛ11
Мощность ламп, Вт	11
cos φ, не менее, для исполнений светильника:	
008 (компенсированная схема включения)	0,92
004, 005М (некомпенсированная схема включения)	0,40
КПД, %, не менее	45
Тип кривой силы света	Д
Класс защиты от поражения электрическим током	1
Степень защиты от воздействия окружающей среды для исполнений светильника:	
004, 008	IP20
005М	IP54
Климатическое исполнение и категория размещения для исполнений светильника:	
004, 008	УХЛ4
005М	УХЛ1
Габариты (L×S×H), мм, для исполнений светильника:	
004, 008	376×87×65
005М	385×95×73
Масса, кг, не более, для исполнений светильника:	
004, 008	2
005М	2,4
Срок службы, лет, не менее	10

Импульсные зажигающие устройства (табл. 14.26) выпускаются:

а) ИЗУ-У-3500/380-В-001.УХЛ2 — для зажигания металлогалогенных разрядных ламп высокого давления (ДРИ) мощностью от 250 до 2000 Вт, а также ламп ДРИ 3500-6;

б) ИЗУ-О-700/220-В-010.УХЛ2 — для зажигания натриевых ламп высокого давления (ДНаТ) мощностью от 100 до 600 Вт, а также металлогалогенных разрядных ламп высокого давления типа ДРИ мощностью от 250 до 700 Вт;

в) ИЗУ-О-2000/380-В-010.УХЛ2 — для зажигания металлогалогенных разрядных ламп высокого давления (ДРИ) мощностью от 250 до 2000 Вт;

г) ИЗУ-О-3500/380-В-010.УХЛ2 — для зажигания металлогалогенных разрядных ламп высокого давления ДРИ3500-6 и типа ДРТИ мощностью 3000 Вт.

ИЗУ-О-700/220-В-010.УХЛ2, ИЗУ-О-2000/380-В-010.УХЛ2, ИЗУ-О-3500/380-В-010.УХЛ2 снабжены отключающими устройствами. В случае незажигания лампы или ее отсутствия при нормальной и повышенной температурах окружающей среды устройство отключается. Для возобновления работы ИЗУ необходимо отключить и через несколько минут вновь включить питающую сеть. Эти ИЗУ также обеспечивают «симметричный поджиг» ламп, т.е. импульсы имеются и в положительном, и в отрицательном полупериодах;

д) ИЗУ-1000/220-В-011.УХЛ2 — для зажигания разрядных ламп высокого давления типа «reflux» Н (ДНаЗ) мощностью 350 Вт, а также для зажигания ртутных ламп высокого давления типа ДРЛ мощностью от 50 до 1000 Вт при температурах до минус 60 °С.

Таблица 14.26. Технические характеристики ИЗУ

Параметр	ИЗУ-У-3500/380	ИЗУ-О-700/220	ИЗУ-О-2000/380	ИЗУ-О-3500/380	ИЗУ-О-1000/220
Напряжение питающей сети частотой 50, 60 Гц, В	380 ± 38	220 ± 22	380 ± 38	380 ± 38	220 ± 22
Напряжение срабатывания, В	290—330	170—195	290—330	290—330	170—195
Амплитуда импульсов, кВ		3—5		4,5—6	0,8—1
Длительность импульса, мкс, не менее/на уровне, кВ	3/2,7	1/3		2/3	500/0,5
Количество импульсов за период сетевого напряжения, не менее	1—2		2—6		1—2
Время отключения при 20 °С, мин	—		1—2		—
Максимальная длина проводов (кабеля), соединяющих балластный дроссель с лампой, м	40		10		50
Максимальная емкость между жилами провода (кабеля), пФ	4000 —	1000	1000	1000	5000
Габариты, мм	91×57×36		(65 с винтом)×54×31		
Масса, кг, не более	0,14		0,08		0,08

Система подачи питания для ламп уличного освещения «Интеграл» (табл. 14.27) относится к энергосберегающим технологиям и предназначена для регулируемого высокочастотного питания натриевых ламп уличного освещения. Питание натриевых ламп осуществляется при помощи пуско-регулирующих аппаратов (ПРА «Интеграл») током высокой частоты (50—100 кГц), различной мощности: 70, 100, 150, 250, 400 Вт. Дистанционное управление группой ПРА осуществляется контроллером ПКПС.

Преимущества:

- экономия электроэнергии от 20 до 60%;
- потребляемая мощность и световой поток стабилизируются и не зависят от колебаний сетевого напряжения. При высокочастотном питании

световая отдача ламп увеличивается на 20% по сравнению с питанием током 50 Гц;

- возможность дистанционного управления;
- низкие пусковые токи (ниже номинальных токов ламп);
- увеличение срока службы ламп: после 10 000 ч лампа с высокочастотным питанием сохраняет 90 % светового потока;
- безопасность и легкость обслуживания.
- экологичность.

Таблица 14.27. Сравнительные характеристики электромагнитных ПРА и ПРА системы «Интеграл»

Параметр	Существующие электромагнитные ПРА	ПРА системы «Интеграл»
$\cos \varphi$	До 0,65	Не менее 0,95
	До 0,85	1
Пусковые токи, А	1,8—6	0,3
Возможность дистанционного управления освещением	Нет	Есть
Масса, отн. ед.	1	0,25
Габариты, отн. ед.	1	0,3
Стабилизация светимости фонарей при изменении напряжения	Нет	Есть
Стабилизация потребления мощности при изменении напряжения	Нет	Есть
Относительное значение светимости фонарей при одинаковой потребленной электроэнергии	1	1,2
Гул	Присутствует	Отсутствует
Стробоскопический эффект	Присутствует	Отсутствует

14.2. Светотехнические характеристики светильников

Полная светотехническая классификация светильника образуется из его класса по светораспределению (табл. 14.28) и формы его кривой силы света (КСС) (табл. 14.29).

Таблица 14.28. Классификация светильников по светораспределению

Класс светильников по светораспределению		Доля светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, от светового потока светильника, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60—80
Р	Рассеянного света	40—60
В	Преимущественно отраженного света	20—40
О	Отраженного света	Менее 20

Таблица 14.29. Классификация светильников по типу его кривой силы света

Обозначение	Тип кривой силы света	Зона направления максимальной силы света, град.
К	Концентрированная	0—15
Г	Глубокая	0—30,180—150
Д	Косинусная	0—35,180—145
Л	Полуширокая	35—55,145—125
Ш	Широкая	55—85,125—95
М	Равномерная	0—180
С	Синусная	70—90,110—90

14.3. Светильники различного назначения (ОАО «Лидский завод электроизделий»)

Светильники серии ЛСО (табл. 14.30, 14.31) предназначены для общего освещения офисов и рабочих мест конвейеров промышленных предприятий.

Светильники комплектуются только электронными ПРА; светильники с индексами 501, 601 комплектуются электронными ПРА с функцией регулировки светового потока, с индексами 502, 602 комплектуются электронными ПРА без функции регулировки светового потока. Светильники ЛСО 12—36+36—601, ЛСО 12—36+36—602, ЛСО 12—58+58—601, ЛСО 12—58+58—602, ЛСО 12—49+49—601, ЛСО 12—49+49—602, ЛСО 12—80+80—602 состоят из двух последовательно соединенных секций и комплектуются одним ЭПРА на две секции. Светильники рассчитаны на работу с люминесцентными лампами серии Т8 мощностью 36, 58 Вт и серии Т5 мощностью 49 и 80 Вт. Светильники с индексами 501, 601 или световая линия, состоящая из этих светильников, комплектуются датчиком для автоматической регулировки освещенности рабочих мест. Датчик обеспечивает управление как одним светильником, так и световой линией, состоящей не более чем из пяти- одно- или двухламповых светильников. Светильники крепятся к потолку на стальных трубчатых штангах длиной от 250 до 1000 мм. Предусмотрено крепление светильников к потолку и на синтетических шнурах такой же длины. Светильники соответствуют II классу защиты от поражения электрическим током.

Таблица 14.30. Технические характеристики светильников

КПД светильников, %, не менее.	80
cos φ, не менее.	0,98
Степень защиты от воздействия внешней среды.	IP20
Климатическое исполнение.	УХЛ4

Таблица 14.31. Массогабаритные характеристики светильников серии ЛСО

Тип	Длина, мм	Ширина, мм	Высота без штанг, мм	Масса, кг	Мощность лампы, Вт
ЛСО 12-36-501	1238	127	120	3,2	36
ЛСО 12-36-502					
ЛСО 12-58-501	1538			3,5	58
ЛСО 12-58-502					
ЛСО 12-36+36-601	2476			6,4	36
ЛСО 12-36+36-602					
ЛСО 12-58+58-601	3076			7	58
ЛСО 12-58+58-602					
ЛСО 12-49-501	1538			3,5	49
ЛСО 12-49-502	1538	127	120	3,5	49
ЛСО 12-80-501	1538				80
ЛСО 12-80-502					
ЛСО 12-49+49-601	3076			7	49
ЛСО 12-49+49-602					
ЛСО 12-80+80-601					
ЛСО 12-80+80-602					

Светильники с повышенной степенью защиты оболочки серии ЛСП 10 с электронными ПРА (табл. 14.32, 14.33) предназначены для освещения производственных помещений и выпускаются с лампами серии Т8 мощностью 36, 58 Вт, а также серии Т5 мощностью 28, 54, 35, 49 и 80 Вт.

Светильники соответствуют II классу защиты от поражения электрическим током.

Таблица 14.32. Технические характеристики светильников

КПД светильника, %, не менее.....	80
Степень защиты от внешней среды.....	IP65
Климатическое исполнение.....	УХЛ4

Таблица 14.33. Массогабаритные характеристики светильников серии ЛСП 10

Тип	Длина, мм	Ширина, мм	Высота без штанг, мм	Масса, кг	Мощность лампы, Вт
ЛСП 10-36-601	1200	124	170	2,4	36
ЛСП 10-28-701					28
ЛСП 10-54-701					54
ЛСП 10-58-601	1500			2,7	58
ЛСП 10-35-701					35
ЛСП 10-49-701					49
ЛСП 10-80-701					80

Окончание табл. 14.33

Тип	Длина, мм	Ширина, мм	Высота без штанг, мм	Масса, кг	Мощность лампы, Вт
ЛСП 10-2×36-601	120	170	170	3	36
ЛСП 10-2×28-701					28
ЛСП 10-2×54-701					54
ЛСП 10-2×58-601	1500			3,45	58
ЛСП 10-2×35-701					35
ЛСП 10-2×49-701					49
ЛСП 10-2×80-701					80

Светильники с повышенной степенью защиты оболочки серий ЛСП 12 с электромагнитными ПРА (табл. 14.34, 14.35) предназначены для общего освещения производственных, сельскохозяйственных и складских помещений. Светильники рассчитаны на работу с двумя трубчатыми люминесцентными лампами.

Таблица 14.34. Технические характеристики светильников серии ЛСП 12

КПД, %	84
cos φ, не менее	0,85
Класс пожароопасной зоны	П-Па
Степень защиты от воздействия внешней среды	IP66
Климатическое исполнение	УХЛ4

Таблица 14.35. Массогабаритные характеристики светильников серии ЛСП 12

Наименование изделия	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг	Мощность лампы, Вт
ЛПП 12-2×40-902 Тубус	1270	124	132	4,3	36
ЛСП 12-2×40-902 Тубус			180		
С защитной трубой на лампе					
ЛПП 12-2×40-101 Тубус	1270	140	140	4,2	38
ЛСП 12-2×40-101 Тубус			188		

Светильники с повышенной степенью защиты оболочки и литым рассеивателем из полистирола серий ЛПП, ЛСП (табл. 14.36, 14.37) предназначены для общего освещения общественных и производственных помещений, комплектуются как электромагнитными, так и электронными ПРА.

Светильники с электромагнитными ПРА выпускаются I класса защиты от поражения электрическим током, а с электронными ПРА — I и II класса защиты от поражения электрическим током. К обозначению светильника добавляются слова «Электроника I» или «Электроника II».

Таблица 14.36. Технические характеристики светильников

КПД светильников, %, не менее.....	65
cos φ, не менее:	
с электромагнитными ПРА, не менее	0,85
с электронными ПРА, не менее.....	0,96
Климатическое исполнение.....	УХЛ4

Таблица 14.37. Массогабаритные характеристики светильников серий ЛПП и ЛСП

Тип	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг	Степень защиты	Тип лампы	Мощность лампы, Вт		
С электромагнитными или электронными ПРА									
ЛПП 01-2×40-040	1264	180	138,5	4,6	IP54	T8	36		
ЛСП 01-2×40-041			173,5						
ЛПП 12-2×20-902	686	186	127,5	2,6			IP65		18
ЛСП 12-2×20-902			160,5						
ЛПП 12-2×40-901	1298		128	4,6		36			
ЛСП 12-2×40-901			161						
ЛПП 12-2×40-301			128						
ЛСП 12-2×40-301			161						
Только с электронными ПРА									
ЛПП 22-2×28-601	1264	180	138,5	4,2	IP54	T5	28		
ЛСП 22-2×28-601			173,5						
ЛПП 01-2×54-601			138,5				54		
ЛСП 01-2×54-601			173,5						
ЛПП 22-55-601	686	186	127,5	2,2		KLL	55		
ЛПП 22-80-601							80		

Светильники направленного света серии ЛБО (табл. 14.38, 14.39) предназначены для общего освещения бытовых, общественных и производственных помещений, рассчитаны на работу с компактными люминесцентными лампами, комплектуются только электронными пускорегулирующими аппаратами.

В светильниках с индексом «Л» и «П» отражатель установлен под углом к основанию, что дает возможность перераспределения светового потока в левую или правую сторону при вертикальной установке светильников на стену патроном лампы вниз.

Светильники выпускаются II класса защиты от поражения электрическим током.

Таблица 14.38. Технические характеристики светильников

КПД светильников, %, не менее. 65
 cos φ, не менее 0,98
 Степень защиты от воздействия внешней среды IP54
 Климатическое исполнение. УХЛ4

Таблица 14.39. Массогабаритные характеристики светильников серии ЛБО

Тип	Габариты (L×B×H), мм	Масса, кг	Мощность ламп, Вт
ЛБО 22-18-501	368×142×80	1,5	18
ЛБО 22-18-501 Л			
ЛБО 22-18-501 П			
ЛБО 22-24-601			24
ЛБО 22-24-601 Л			
ЛБО 22-24-601 П			

Источники света, применяемые в изделиях ОАО «Лидский завод электроизделий», и их характеристики приведены в табл. 14.40.

Таблица 14.40. Источники света, применяемые в изделиях ОАО «Лидский завод электроизделий»

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Тип цоколя
ДРЛ	125	6500	52	E27
	250	14 000	56	E40
	400	24 000	58	
ДНаТ	70	6500	92,8	E27
	100	10 000	100	E40
	150	17 200	114,6	
	250	33 000	132	
	400	55 000	137	
ДРИ	70	6000	85,7	E27
	100	8500	85	
	150	13 500	93,1	
	250	20 000	80	E40
	400	35 000	83,3	
Люминесцентная трубчатая, T8	18	1150	63,8	G13
	36	2850	79,2	
	58	4600	79,3	
Люминесцентная трубчатая, T5	14	1100	78,5	G5
	24	1750	73	
	28	2600	92,8	
	39	3100	79,5	
	49	4300	87,7	
	54	4450	82,4	
	80	6150	76,8	

Окончание табл. 14.40

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Тип цоколя
Компактная люминесцентная	11	900	81,8	G23
	18	1200	66,7	2G11
	55	4800	87,3	
	80	6000	75	

14.4. Современная светотехническая продукция российских производителей

ООО «Лисма-АЭМЗ» (Алатырский электромеханический завод)

Продукция завода изготавливается из материалов, отвечающих современным требованиям, устойчива к коррозии, отличается высоким качеством и хорошим дизайном.

Новые прожекторы серии ЖО 01 (ГО 01) предназначены для освещения фасадов зданий и сооружений, архитектурных монументов, автостоянок, строительных площадок, подъездных путей, площадей и других открытых пространств, а также для внутреннего освещения закрытых сооружений (табл. 14.41).

Преимущества прожекторов: экономичны и надежны; просты в монтаже и обслуживании; обладают механической прочностью; имеют высокую стойкость к воздействию перепадов температуры, коррозии.

Таблица 14.41. Технические характеристики прожекторов серии ЖО 01 (ГО 01)

Параметр	ЖО 01-150/250-15 ГО 01-250-15	ЖО 01-250/400-17 (27) (37) ГО 01-250/400-17 (27) (37)
Напряжение, В	220	220
Номинальная частота, Гц	50	50
Климатическое исполнение	УХЛ1	УХЛ2
Габариты ($L \times B \times H$), мм	523×156×363	458×309×423 (458×364×423) (458×324×423)
Степень защиты	IP54	IP54
Тип источника света	ДНаТ150, 250; ДРИ 250	ДНаТ 250, 400; ДРИ 250, 400
Тип патрона	E40	E40

Светильники серии ГСП 01, ЖСП 01 (табл. 14.42) предназначены для общего освещения производственных помещений, промышленных площадок, эстакад, складских помещений, торговых и спортивных залов.

Светильники рассчитаны для работы в сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В и частотой 50 Гц, защитный угол — 15°; класс светораспределения — П; тип кривой силы света — Г; степень защиты — IP23; $\cos \varphi = 0,55$.

Светильники оснащены керамическим патроном Е40 и комплектуются независимым пускорегулирующим аппаратом. Климатическое исполнение — ТЗ и УЗ.

Эксплуатационные характеристики: класс защиты от поражения электрическим током — I; уровень изоляции — I; срок службы — не менее 10 лет; высота установки — 6—15 м.

Расшифровка обозначения: Г — рассчитан для работы с газоразрядной металлогалогеновой лампой типа ДРИ; Ж — рассчитан для работы с газоразрядной натриевой лампой типа ДНаТ; С — установка на подвесе; П — для освещения производственных помещений; 01 — номер серии; 250 — мощность лампы 250 Вт; 400 — мощность лампы 400 Вт.

Таблица 14.42. Технические характеристики светильников ГСП 01 и ЖСП 01

Тип светильника	Габариты D×H, мм	Масса, кг	Тип источника света
ГСП 01-250-001	405×480	7,5	ДРИ 250
ГСП 01-400-001	470×520	8,5	ДРИ 400
ЖСП 01-250-001	405×480	10,0	ДНаТ 250
ЖСП 01-400-001	470×520	11,0	ДНаТ 400

Преимущества светильников: удобны в монтаже и обслуживании; имеют надежную и простую конструкцию; стойки к воздействию перепадов температур, коррозии.

Светильники серии РПО 01, ГПО 01, ЖПО 01 (табл. 14.43) предназначены для освещения промышленных объектов, спортивных залов, дворцов спорта, торговых центров, супермаркетов, больших залов ожидания высотой 6—10 м.

Светильники рассчитаны для работы в сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В и частотой 50 Гц; класс светораспределения — Н; тип кривой силы света — Д; степень защиты — IP21.

Эксплуатационные характеристики: класс защиты от поражения электрическим током — I; уровень изоляции — I; срок службы — не менее 10 лет; высота установки — 6—10 м; климатическое исполнение — УХЛ4.

Расшифровка обозначения: Р — рассчитан для работы с газоразрядной ртутной лампой типа ДРЛ; П — потолочный; О — для освещения общественных помещений.

Преимущества те же, что и у светильников типов ГСП 01, ЖСП 01.

Таблица 14.43. Технические характеристики светильников РПО 01, ГПО 01, ЖПО 01

Тип	cos φ	Масса, кг	Тип источника света
РПО 01-250-001	0,53	11,0	ДРЛ 250
РПО 01-250-002	0,85	11,3	
РПО 01-400-001	0,53	13,0	ДРЛ 400
РПО 01-400-002	0,85	13,5	

Окончание табл. 14.43

Тип	$\cos \varphi$	Масса, кг	Тип источника света
ГПО 01-250-001	0,56	11,2	ДРИ 250
ГПО 01-250-002	0,85	11,7	
ГПО 01-400-001	0,56	12	ДРИ 400
ГПО 01-400-002	0,85	12,8	
ЖПО 01-250-001	0,42	11,3	ДНаТ 250
ЖПО 01-250-002	0,85	11,5	
ЖПО 01-400-001	0,43	13	ДНаТ 400
ЖПО 01-400-002	0,85	13,6	

Светильник типа ГКУ 01-250-001 предназначен для освещения буровых вышек, иных объектов бурового комплекса, открытых площадок, строительных площадок, эстакад, пролетов мостов.

Светильники рассчитаны для работы в сети переменного тока с номинальным напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Особенности светильников: светильники оснащаются керамическим патроном Е40, имеющим предохранительные устройства от вывинчивания цоколя лампы; комплектуются встраиваемым пускорегулирующим аппаратом и импульсным зажигающим устройством и рассчитаны для работы с лампой ДРИЗ 250-1, но конструкция допускает применение ламп ДРИЗ 250 и ДРИЗ 250-2; климатическое исполнение — УХЛ1 и Т1.

Светотехнические характеристики: тип кривой силы света — К; при применении ламп ДРИЗ 250 и ДРИЗ 250-2 возможно получение кривых света типа Л и Г соответственно.

Эксплуатационные характеристики: класс защиты от поражения электрическим током — I; уровень изоляции — I; группа условий эксплуатации — М 17; степень защиты — IP65; масса — не более 16 кг; срок службы — не менее 10 лет.

Расшифровка обозначения: К — консольный; У — для эксплуатации вне помещений.

Преимущества те же, что и у светильников ГСП 01, ЖСП 01, но, кроме того, применяются на подвижных и перемещаемых объектах в качестве прожектора.

ООО «УПП Электросервис», г. Ревда

Энергосберегающие антивандальные светильники типа НБПО2-60-006 (табл.14.44) отличаются надежностью, достигаемой за счет металлического корпуса, рассеивателя из ударопрочного поликарбоната. Все это обеспечивает защиту от повреждений. Кроме того, светильники являются энергосберегающими за счет оснащения фотоакустическим выключателем, принцип работы которого позволяет включать освещение только в нужное время.

Использование энергосберегающих антивандальных светильников с фотоакустическим выключателем уменьшает среднее время работы освещения до 1 ч в сутки.

Благодаря электронной схеме включения лампы срок ее службы увеличивается в 5—10 раз. В год экономится электроэнергии от 250 до 500 кВт·ч. Таким образом, сбережение энергоресурсов составляет до 98%.

Энергосберегающий антивандальный светильник предназначен для освещения жилых, бытовых, производственных, вспомогательных помещений, а также для освещения в общественных местах.

Таблица 14.44. Технические характеристики светильников

Параметр	Значение
Мощность, Вт	60
Тип патрона	E27
Степень защиты	IP54
Класс защиты от поражения электрическим током	I
Климатическое исполнение	УХЛ2
Температура окружающего воздуха при эксплуатации, °С	От -45 до +40
Защитный угол, град.	15
Класс светораспределения	Н
Тип кривой силы света	Специальная
КПД, %, не менее	70
Масса светильника, кг	1,5
Габариты, мм	216×120×118
Способ крепления	К стене на винты
Рассеиватель	Поликарбонат или дакрил
Корпус	Из листовой стали
Срок окупаемости, мес	4—6

Светильники промышленные стационарные, подвесные, взрывозащищенные типов НСП 54-200 и ФСП 54-200 предназначены для освещения промышленных установок и помещений.

Область применения — взрывоопасные зоны помещений и наружных установок.

Источник света — лампа накаливания мощностью 200 Вт и компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) мощностью 26 Вт; степень защиты — IP54; климатическое исполнение — УХЛ1 и Т1; температура окружающего воздуха: нижняя — -45 °С (УХЛ1), -10 °С (Т1); верхняя — +40 °С (УХЛ1 и Т1); КПД — не менее 70%; КСС — специальная; класс светораспределения — Н; класс защиты от поражения электротоком — I; вид взрывозащиты — 2ExedIIBT4.

В табл. 14.45 приведены технические характеристики светильников НСП 54-200 и ФСП 54-200.

Таблица 14.45. Технические характеристики светильников НСП 54-200 и ФСП 54-200

Обозначение	Мощность, Вт	Габариты (L×B×H), мм	Цоколь	Масса, кг
НСП54-200-100	200	215×215×450	E27ФпК-В-01Ех	5
НСП54-200-110	200	215×215×450	E27ФпК-В-01Ех	6
ФСП54-200-100	26	215×215×450	E27ФпК-В-01Ех	5
ФСП54-200-110	26	215×215×450	E27ФпК-В-01Ех	6

ОАО «Брестский электроламповый завод»

Завод изготавливает зеркальные газоразрядные лампы высокого давления «Эколюм» (натриевые серии ДНаЗ и металлогалогенные серии ДРИЗ для уличного освещения).

При производстве этих ламп используются спеченные электроды, лампы имеют вращающийся цоколь.

Использование в газоразрядных лампах спеченных электродов вместо традиционных спиральных — позволяет: улучшить зажигание ламп в течение срока службы; снизить спад светового потока ламп к концу срока службы до 5% от начального; увеличивать срок службы ламп более чем в 1,4 раза за счет увеличенного в 10—15 раз количества эмиттера на электроде; работать стабильно лампе при низких температурах (до -60°C).

Использование газоразрядных зеркальных ламп с вращающимся цоколем вместо традиционных ламп с чистой колбой позволяет: увеличить более чем в 2 раза освещенность объектов за счет снижения потерь светового потока, возникающих из-за загрязнения отражающей поверхности светильника и защитного стекла; снизить энергопотребление ламп более чем в 2 раза при сохранении освещенности; КПД новых ламп достигает 95%. Положение ламп во время работы — горизонтальное зеркалом вверх. Тип светораспределения ламп — полуширокий.

В табл. 14.46 и 14.47 приведены технические характеристики натриевых и металлогалогенных зеркальных ламп высокого давления соответственно.

Таблица 14.46. Технические характеристики натриевых зеркальных ламп высокого давления

Тип	Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, клм	Диаметр колбы, мм	Длина, мм, не более	Срок службы, ч
ДНаЗ 100-ПН	70	0,98	6	76	218	28 000
ДНаЗ 150-ПН	150	1,8	14	90	241	32 000
ДНаЗ 250-ПН	250	3	26	90, 100, 120	263	32 000
ДНаЗ 400-ПН	400	4,6	46	120	285	32 000
ДНаЗ 600	600	6,2	86	140	325	28 000
ДНаЗ 1000	1000	10,3	120	152	380	28 000
ДНаЗ 220-ПН*	220	2,13	20	100	263	24 000
ДНаЗ 350-ПН*	350	3,25	34	120	285	24 000

* Служат для прямой замены ламп ДРЛ, без замены ПРА (ПН — повышенной надежности).

Таблица 14.47. Технические характеристики металлогалогенных зеркальных ламп высокого давления

Тип	Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, клм	Диаметр колбы, мм	Длина, мм, не более	Срок службы, ч
ДРИЗ 100	100	1,23	7,8	76	218	8000
ДРИЗ 150	150	1,8	11	90	241	
ДРИЗ 250	250	2,1	20	120	280	
ДРИЗ 400	400	3,4	34	120	280	

Общие сведения по электробезопасности

15.1. Действие тока на организм человека

Предельно допустимые напряжения и токи через человека с учетом времени воздействия. Степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека зависит от значения тока, протекающего через него, длительности его воздействия, пути прохождения в теле человека и некоторых других факторов.

Сопротивление тела человека и значение приложенного к нему напряжения также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значения тока, проходящего через тело человека.

Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него тока при значениях 0,6—1,5 мА при переменном токе с частотой 50 Гц и 5—7 мА при постоянном токе (табл. 15.1). Эти значения являются границами или порогами, с которых начинаются области ощутимых токов, и носят название *пороговых ощутимых токов*. Выпрямленные токи одно- и двухполупериодные по порогам ощутимого тока занимают промежуточное значение между переменным и постоянным токами.

Таблица 15.1. Действие переменного и постоянного тока на человека

Ток, мА	Характер воздействия	
	Переменный ток 50—60 Гц	Постоянный ток
0,6—1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2—3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5—7	Начало судорог в руках	Зуд, ощущение нагрева
8—10	Руки трудно, но еще можно оторвать от электродования. Сильные боли	Усиление нагрева
20—25	Паралич рук. Дыхание затруднено	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук
50—80	Остановка дыхания. Начало фибрилляции сердца	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания
90—100	Фибрилляция сердца	Остановка дыхания

Ток, вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется *неотпускающим током*, а наименьшее его значение *пороговым неотпускающим током*. Значения пороговых неотпускающих токов у различных людей различны. Они различны также у мужчин и женщин.

Средние их значения составляют: для мужчин 16 мА при 50 Гц и 80 мА при постоянном токе, для женщин — 11 и 50 мА, соответственно.

Ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца, называется *фибрилляционным током*, а наименьшее его значение *пороговым фибрилляционным током*. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию, и не производит полезной работы, кровообращение прекращается. Пороговый фибрилляционный ток зависит от многих факторов, в том числе от массы тела человека и колеблется в пределах 50—400 мА (при 50 Гц). Среднее его значение принято считать равным 100 мА при 50 Гц и 300 мА при постоянном токе.

Значения пороговых токов являются исходными данными для разработки критериев электробезопасности в первую очередь — допустимых значений напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека.

Поскольку человек при меньшей продолжительности воздействия может выдержать больший ток, то ГОСТ 12.1.038-82 (с изменениями от 01.07.88) установлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через человека в зависимости от времени воздействия. Значения допустимых напряжений прикосновения и токов частотой 50 Гц при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с любым режимом нейтрали и выше 1 кВ с изолированной нейтралью приведены в табл. 15.2.

Таблица 15.2. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через человека

Продолжительность воздействия тока, с	Напряжение прикосновения, В	Ток, мА	Продолжительность воздействия тока, с	Напряжение прикосновения, В	Ток, мА
0,01—0,08	550	650	0,6	95	105
0,1	340	400	0,7	85	90
0,2	160	190	0,8	75	75
0,3	135	160	0,9	70	65
0,4	120	140	1	60	50
0,5	105	125	Свыше 1	20	6

Из табл. 15.2 видно, что чем меньше продолжительность воздействия тока на человека, тем больший ток он может выдержать без ущерба для здоровья.

15.2. Способы снижения тока, проходящего через человека

Все технические меры защиты можно разбить на четыре группы по способам снижения тока, проходящего через человека.

1. **Увеличение сопротивления цепи человека** достигается изоляцией рук человека от токоведущих частей, а ног — от земли.

В нормальных условиях эксплуатации электрооборудования человек защищен от протекания опасных токов изоляцией токоведущих частей. Такая изоляция может выполняться основной (рабочей) и дополнительной (рис.15.1).

Дополнительная изоляция служит для защиты от поражения электрическим током при повреждении основной изоляции и выполняется двойной или усиленной.

Двойная изоляция состоит из основной (рабочей) и дополнительной (защитной) изоляции. Например, такую изоляцию имеет электроинструмент, токоведущие части которого размещаются в корпусе из изоляционного материала.

Усиленная изоляция это рабочая изоляция, равноценная двойной изоляции по механическим и электрическим свойствам; применяется там, где конструкция оборудования не позволяет использовать двойную изоляцию.

В отдельных случаях, для исключения возникновения цепи тока через человека могут быть применены *изолирующие помещения, зоны и площадки* с сопротивлением изоляции 50 кОм при напряжении до 500 В и 100 кОм при напряжениях 500—1000 В.

2. **Обеспечение недоступности токоведущих частей** (по существу, недопущение образования цепи тока через человека, $R_h = \infty$) осуществляется их ограждением, размещением внутри оболочек (шкафов, щитов и т.п.) из негорючего материала; применением блокировок, отключающих электропитание, например, при открывании помещения испытательной установки; размещением вне зоны досягаемости (на расстоянии не менее 2,5 м), применением барьеров для защиты от случайного прикосновения.

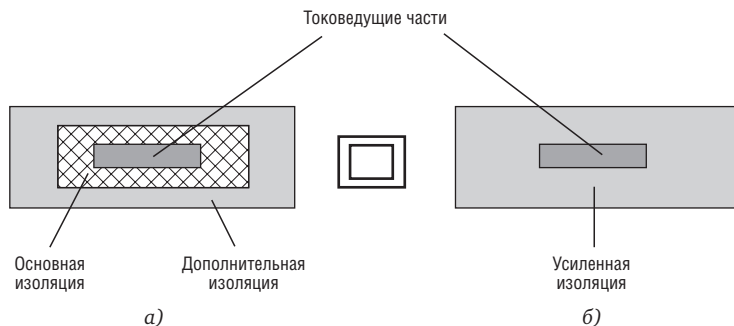


Рис. 15.1. Дополнительная (защитная) изоляция:
а — двойная; б — усиленная

3. **Снижение напряжения прикосновения** и, соответственно, значения тока, который может проходить через человека при длительном воздействии, осуществляется следующими способами:

- применением сверхнизких (малых) напряжений;
- защитным электрическим разделением цепей;
- защитным заземлением открытых проводящих частей, доступных прикосновению, которые могут оказаться под напряжением;
- защитным уравниванием потенциалов путем электрического соединения открытых проводящих частей электроустановок и сторонних проводящих частей, для достижения равенства их потенциалов.



4. **Автоматическое отключение питания** (т.е. ограничение времени воздействия тока на человека) в электроустановках при возникновении опасной для человека ситуации достигается применением защитного зануления или устройств защитного отключения (УЗО).

15.3. Классификация электроприемников по способу защиты от поражения электрическим током


Меры защиты от поражения электрическим током закладываются либо непосредственно в конструкцию электроприемников (рабочая и дополнительная изоляция токоведущих частей, заливка полостей изоляционным материалом, корпуса из диэлектрической и ударостойкой пластмассы и т.д.), либо создаются предпосылки для использования таких средств защиты, как защитное зануление, защитное заземление, УЗО, связанных с системой заземления электроустановки и наличием защитного проводника.

По способу защиты от поражения электрическим током переносные электроприемники подразделяются на четыре класса (табл. 15.3.)

Таблица 15.3. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током

Класс оборудования	Способы защиты и конструктивное исполнение	Обозначение
0	Кроме рабочей изоляции дополнительные меры защиты в конструкции не предусмотрены. Для защиты используются: 1) изолирующие помещения, зоны и площадки; 2) защитное электрическое разделение цепей	(Отсутствует)
I	1. Автоматическое отключение питания (защитное зануление, УЗО). 2. Защитное заземление (система IT). Провод электропитания имеет заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом для присоединения к защитному проводнику	
II	Кроме рабочей используется дополнительная изоляция — двойная или усиленная	

Окончание табл. 15.3

Класс оборудования	Способы защиты и конструктивное исполнение	Обозначение
III	Ограничение напряжения прикосновения предельно допустимыми значениями при длительном воздействии. Малое (сверхнизкое) напряжение внутренних цепей и сети электропитания (не выше 50 В переменного и 120 В постоянного тока)	

Как видно из табл. 15.3 электроприемники класса 0 не имеют конструктивных особенностей, кроме основной изоляции, позволяющих обеспечить дополнительную защиту. Поэтому при работе с электроприемниками класса 0 следует использовать внешние факторы (изолирующую среду) или применять внешние электрозащитные устройства, например, разделительные трансформаторы.

Электроприемники класса I подсоединяются к стационарной сети заземления. Это позволяет вызвать срабатывание автоматической защиты и ограничить время прохождения тока через человека. Кроме того, при подсоединении к защитному проводнику достигается снижение напряжения прикосновения.

Наличие дополнительной изоляции у электроприемников класса II позволяет увеличить сопротивление цепи, по которой протекает ток через человека.

Применение малых (сверхнизких напряжений) для электроприемников класса III уменьшает значение тока, проходящего через тело человека до неопасного уровня.

15.4. Классификация помещений по условиям поражения электрическим током

Применение тех или иных мер защиты определяется характеристикой помещения, где расположены электроустановки. По степени опасности поражения током помещения подразделяются на три категории:

1. *С повышенной опасностью* (для помещений характерно наличие одного из следующих условий: сырость, т.е. относительная влажность воздуха длительно превышает 75%; токопроводящая пыль; токопроводящие полы — металлические, земляные, железобетонные, кирпичные; высокая температура (выше 35°C); возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам, имеющим соединение с землей, с одной стороны, и металлическим деталям, корпусам электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции, с другой).

2. *Особо опасные* (характеризуются наличием одного из следующих условий: особая сырость, т.е. относительная влажность воздуха близка к 100%;

химически активная среда или органическая среда, разрушающая изоляцию и токоведущие части; одновременно два условия повышенной опасности или более). Территории размещения наружных электроустановок (на открытом воздухе, под навесом, за сетчатыми ограждениями) — приравниваются к особо опасным помещениям.

3. *Без повышенной опасности* (в помещении отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность).

В отдельную группу выделяют работы при наличии *особо неблагоприятных условий*, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, ограниченной возможностью перемещения, соприкосновением с большими металлическими, хорошо заземленными поверхностями (например, работа в металлических емкостях, колодцах, тоннелях, котлах и т.п.).

15.5. Классификация проводящих частей электроустановок и видов прикосновения к частям, находящимся под напряжением

При классификации защитных мер в ПУЭ используется следующая терминология (рис. 15.2).

Проводящие части, т.е. части обладающие свойством проводить электрический ток, подразделяются на (рис. 15.2):

токоведущую — проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник;

открытую — доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции;

стороннюю — проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

Прикосновения к проводящим частям, которые могут повлечь протекание тока через человека или животное, подразделяются на:

- *прямое* — электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением;
- *косвенное* — электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

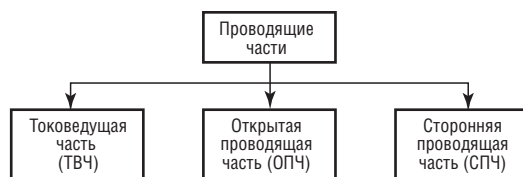


Рис. 15.2. Классификация проводящих частей

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или её пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

15.6. Перечень мер защиты при прямом и косвенном прикосновении

В соответствии с ПУЭ вводятся защиты от поражения электрическим током следующих видов:

- *защита от прямого прикосновения* – защита, предназначенная для предотвращения прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- *защита при косвенном прикосновении* — защита от поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

Для защиты людей и животных от поражения электрическим током необходимо, чтобы опасные токоведущие части электроустановки не были доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые проводящие части и сторонние проводящие части не находились под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током, как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании друг с другом следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках до 1 кВ при наличии требований ПУЭ следует применять УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании друг с другом следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;

- двойная или усиленная изоляция;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части, либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть выполнены при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

При применении двух и более мер защиты в электроустановке они не должны оказывать друг на друга влияние, снижающее эффективность каждой из них. При выборе мер защиты необходимо учитывать условия окружающей среды и квалификацию персонала.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного тока, и 60 В постоянного тока или 12 В переменного тока и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а напряжение не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного тока или 15 В постоянного тока — во всех случаях.

Выбор тех или иных средств защиты определяется: напряжением, режимом нейтрали, категорией помещения, выполняемой работой и рядом других факторов.

15.7. Классификация систем заземления электроустановок напряжением до 1 кВ и их применение

Согласно ГОСТ Р 50571, в основу которого положены стандарты Международной электротехнической комиссии (МЭК 364), вводится буквенное обозначение электрических сетей и систем заземления. В основе обозначений лежат первые буквы слов (во французском варианте МЭК 364): *terre* (T) — земля, *isolé* (I) — изолированный, *neutre* (N) — нейтраль, *combiné* (C) — совмещенный, *séparé* (S) — разделенный, а также первые буквы термина *protection électrique* (PE) — защита от прикосновений.

Первая буква характеризует режим нейтрали, вторая — заземление открытых проводящих частей (ОПЧ) или корпуса электроустановки (табл. 15.4). Под ОПЧ понимаются нормально не находящиеся под напря-

жением проводящие части электроустановки, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции токоведущих частей.

Из этих двух букв образуются названия систем заземления. Для каждой системы заземления могут быть использованы только определенные меры защиты от поражения электрическим током. Соединение ОПЧ с заземлителем нейтрали (система *TN*) позволяет использовать в качестве защитных мер зануление и устройства защитного отключения. Присоединения ОПЧ к отдельному заземлителю в сети с глухозаземленной нейтралью (система *TT*) позволяет эффективно использовать устройство защитного отключения.

Наличие заземляющего устройства в системе *IT* позволяет применять защитное заземление, устройства защитного отключения, осуществлять контроль изоляции.

Таблица 15.4. Классификация систем заземления

Первая буква: режим нейтрали		Вторая буква: открытые проводящие части	
заземлённая	изолированная	занулены	заземлены
<i>T</i>	<i>I</i>	<i>N</i>	<i>T</i>

Для обозначения сетей с глухозаземленной нейтралью вводятся следующие буквы, обозначающие функции нулевых проводников:

S — используются отдельно нулевой рабочий *N* и нулевой защитный *PE* проводники;

C — используется общий (совмещенный) нулевой проводник *PEN*, выполняющий функции защитного *PE* и рабочего *N*;

C-S — совмещенный нулевой проводник *PEN* в части сети разветвляется на рабочий *N* и защитный *PE*.

Схемы электрических сетей с глухозаземленной и изолированной нейтралью и их буквенные обозначения приведены на рис. 15.3.

Для электроустановок до 1 кВ приняты следующие обозначения:

- система *TN* — система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников;

- система *TN-C* — система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;

- система *TN-S* — система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;

- система *TN-C-S* — система *TN*, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводни-

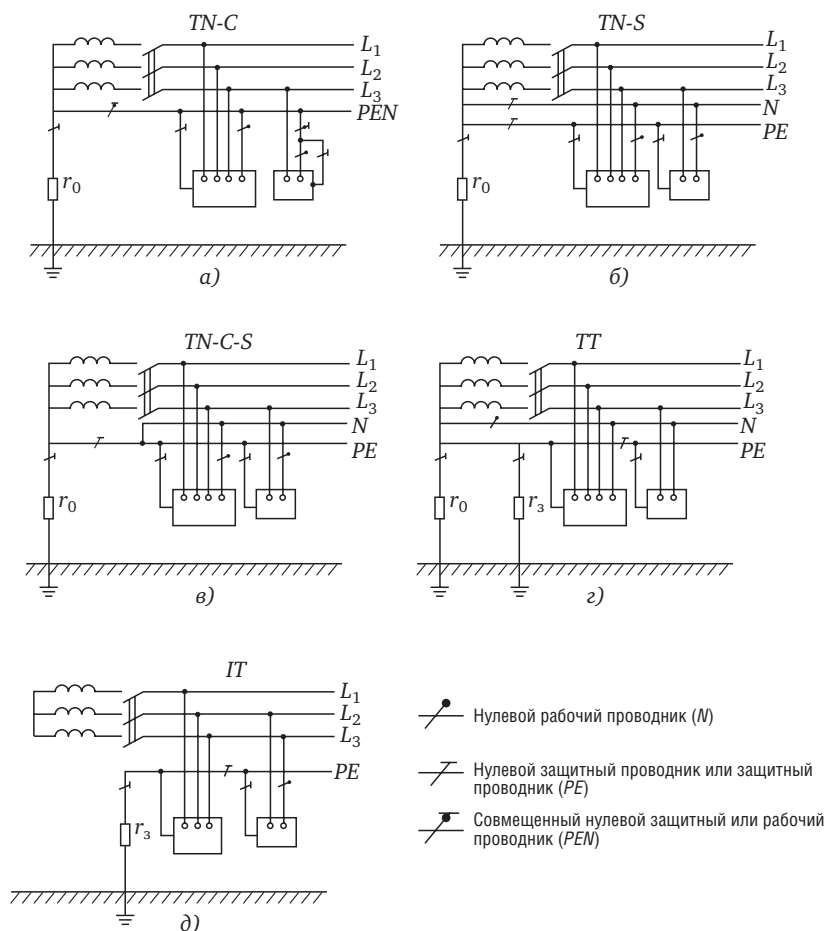


Рис. 15.3. Схемы электрических сетей с трехфазными и однофазными потребителями и различными системами заземления:

а — сеть с глухозаземленной нейтралью и нулевым проводником (PEN), выполняющим функции рабочего и защитного проводников — система TN-C; б — сеть с глухозаземленной нейтралью и нулевым рабочим N и защитным PE проводниками — система TN-S; в — сеть с глухозаземленной нейтралью и нулевым проводником PEN, разветвляющимся на нулевой рабочий N и нулевой защитный PE проводники — система TN-C-S; г — сеть с глухозаземленной нейтралью и нулевым рабочим проводником N и отдельной магистралью заземления PE — система TT; д — сеть с изолированной нейтралью и магистралью заземления PE — система IT; е — условные обозначения проводников

ке в какой-то ее части, начиная от источника распределения электроэнергии;

- система IT — система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены;

- система TT — система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Среди трехфазных электрических сетей с напряжением до 1 кВ наибольшее распространение в стране получили сети с системой заземления $TN-C$. Такие сети относительно дешевы, поскольку в отличие от систем $TN-S$ и $TN-C-S$, их выполняют четырехпроводными. В то же время разделение функций нулевого проводника на нулевой рабочий N и нулевой защитный PE в системах $TN-S$ и $TN-C-S$ позволяет обеспечить более высокий уровень электробезопасности, а также обеспечить помехоустойчивость электронной техники.

Система TT имеет ограниченное применение, поскольку, как будет показано ниже, она не обеспечивает срабатывание автоматической защиты от сверхтока при замыкании на корпус, а снижение напряжения на открытых проводящих частях до допустимого не достигается уменьшением сопротивления заземлителя. Тем не менее систему TT рекомендуется применять для зданий с металлическим каркасом и металлической обшивкой с обязательным использованием устройств защитного отключения.

Система IT применяется для производств, где недопустимы перерывы в работе при замыкании фазы на землю; во взрывоопасных зонах для исключения искрообразования; в производствах с повышенной опасностью поражения электрическим током (торфяные и горные разработки, шахты и т.п.); для электропитания радиоэлектронной аппаратуры, чувствительной к электромагнитным наводкам.

15.8. Защитное заземление. Заземление в сетях с глухозаземленной и изолированной нейтралью

Рассмотрим защитные свойства заземления на примере трехфазных сетей с системами заземления TT и IT (рис.15.4).

При замыкании фазы на заземленный корпус электроустановки, напряжение на нем $U_{\text{корп}}$ окажется равным потенциалу заземлителя φ_3 и в любых случаях будет меньше фазного напряжения. Напряжение на заземленном корпусе определяется током замыкания I_3 стекающим через заземлитель, и сопротивлением заземлителя r_3 , т.е.:

$$U_{\text{корп}} = \varphi_3 = I_3 r_3. \quad (15.1)$$

Ток I_3 будет зависеть от режима нейтрали электрической сети (рис. 15.4), с глухозаземленной нейтралью (система TT):

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_3 + r_0}, \quad (15.2)$$

с изолированной нейтралью (система IT):

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_3 + r/3}. \quad (15.3)$$

Поскольку сопротивление заземлителя нейтрали r_0 много меньше сопротивления изоляции r , то ток I_3 , а следовательно, и напряжение на корпусе в сети с глухозаземленной нейтралью будут намного больше, чем в сети с изолированной нейтралью. Кроме того, напряжение на корпусе будет зависеть от соотношения между сопротивлениями r_0 и r_3 . Например, при уменьшении r_0 относительно r_3 напряжение на корпусе, согласно формулам (15.1) и (15.2), возрастает. Ввиду указанных недостатков заземление как основная мера защиты, в сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ, не применяется.

В сети с изолированной нейтралью ток замыкания на землю практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя, поскольку $r \gg r_3$. Поэтому в таких сетях заземление используется как основная мера защиты и называется *защитным заземлением*.

Сопротивление заземляющего устройства, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей, в системе IT должно соответствовать условию:

$$r_3 \leq U_{\text{пр}}/I_3, \quad (15.4)$$

где r_3 — сопротивление заземляющего устройства, Ом; $U_{\text{пр}}$ — напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В; I_3 — полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом. Допускается сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом, если соблюдено приведенное выше условие, а мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВ·А, в том числе суммарная мощность генераторов или трансформаторов, работающих параллельно.

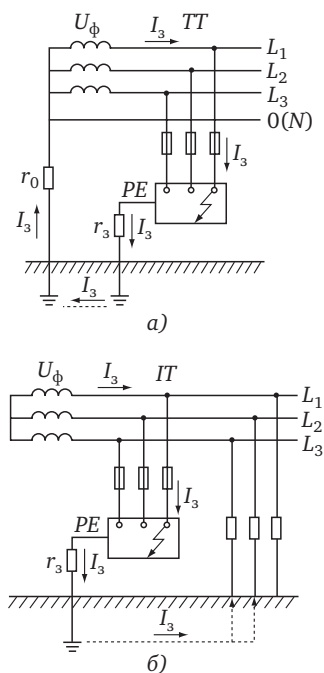


Рис. 15.4. Замыкание фазы на заземленный корпус в сети с глухозаземленной нейтралью (а) и в сети с изолированной нейтралью (б)

15.9. Защитное зануление

15.9.1. Принцип действия

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях с глухозаземленной нейтралью и системами заземления *TN-C*, *TN-C-S* и *TN-S* напряжением до 1 кВ является зануление.

Защитным занулением называется преднамеренное соединение открытых проводящих частей (например, нетоковедущих металлических частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на них фазы) с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора. Это соединение осуществляется с помощью нулевого защитного проводника.

В системе *TN-C* для этого служит нулевой проводник *PEN*, выполняющий функции защитного *PE* и нулевого рабочего *N* проводников; в системе *TN-S* — нулевой защитный проводник *PE*, подключенный непосредственно к нейтрали источника питания; в системе *TN-C-S* — нулевой проводник, разветвляющийся за распределительным устройством на нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники (рис. 15.5).

Не допускается совмещение функций нулевого защитного и нулевого рабочего проводника в цепях однофазного тока.

Принцип действия защитного зануления — превращение замыкания на открытые проводящие части (корпус) в однофазное КЗ (т.е. замыкание между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети. Такой защитой являются плавкие вставки предохранителей или автоматические выключатели.

Кроме того, в аварийный период, т.е. с момента возникновения замыкания на корпус и до автоматического отключения поврежденной электроустановки от сети, напряжение открытых проводящих частей (корпусов) относительно земли снижается. Это происходит за счет перераспределения фазного напряжения между сопротивлениями фазного и нулевого защитного проводников, а при наличии повторного заземления и за счет его защитных свойств.

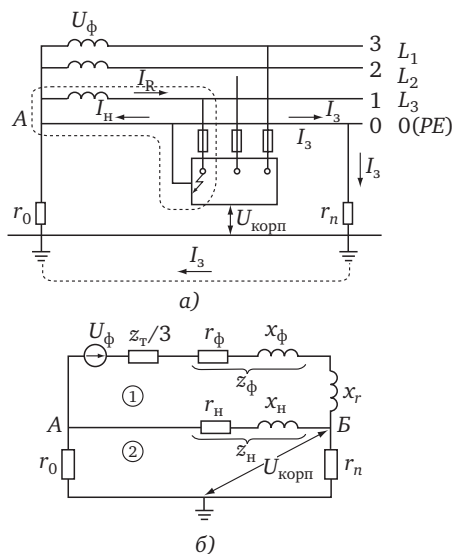


Рис. 15.5. Короткое замыкание фазы 1 на зануленный корпус электроустановки: а — принципиальная схема электрической сети с занулением; б — эквивалентная схема

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия — быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети и снижение напряжения зануленных открытых проводящих частей, оказавшихся под напряжением, относительно земли.

Для анализа защитных свойств зануления при замыкании фазы на корпус электроустановки будем рассматривать сеть с трехфазными электроустановками без нулевого рабочего проводника, корпуса которых соединены с нулевым защитным проводником PE , например систему $TN-S$. Полученные результаты анализа будут справедливы и для сетей $TN-C-S$ и $TN-C$.

Принцип действия зануления ясен из рис.15.5,а. При замыкании фазы на корпус электроустановки ток короткого замыкания I_k проходит по обмотке трансформатора, далее через плавкий предохранитель, место замыкания и попадает в нулевой защитный проводник.

Там он разветвляется на токи I_n и I_z , которые через нулевую точку попадают в обмотку трансформатора, при этом образуются два контура. Первый из них (показан штрихом) включает фазный и нулевой проводники (так называемая «петля фаза—нуль»). Протекание тока КЗ по этому контуру приводит к срабатыванию автоматического выключателя или перегоранию плавкой вставки предохранителя и отключению поврежденной электроустановки.

Второй контур (рис. 15.5,б) образован заземлителем нейтрали r_0 и повторным заземлителем r_n . Благодаря наличию повторного заземлителя снижается напряжение относительно земли нулевого проводника, а следовательно, и подключенных к нему корпусов.

До момента срабатывания автоматической защиты корпуса электроустановок будут находиться под напряжением. Поскольку человек при меньшей продолжительности воздействия может выдержать больший ток, то ГОСТ 12.1.038—82 (с изменениями от 01.07.88) определены допустимые напряжения прикосновения и токи протекающие через человека в зависимости от времени действия. Допустимый ток $I_{h \text{ доп}}$ снижается с увеличением времени действия на человека, т. е. при снижении быстродействия автоматической защиты.

Поскольку время срабатывания аппаратов автоматической защиты уменьшается с увеличением тока КЗ то для достижения заданного условия безопасности допустимого времени действия тока на человека, ток короткого замыкания должен превышать номинальный ток аппарата защиты. Для плавких вставок предохранителей и тепловых расцепителей автоматических выключателей

$$I_k \geq k_{п.в} I_{ном}. \quad (15.5)$$

Под номинальным током понимают ток, который может длительно протекать через предохранитель, не вызывая перегорания плавкой вставки.

Если защита осуществляется автоматическим выключателем с электромагнитным расцепителем, то

$$I_K \geq k_{ав} I_y, \quad (15.6)$$

где I_y — уставка тока срабатывания.

Соотношения между током I_K и токами $I_{ном}$ и I_y определяются по ампер-секундным характеристикам с учетом наибольшего допустимого времени автоматического отключения (табл. 15.5).

Таблица 15.5. Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы *TN*

Номинальное фазное напряжение U_{ϕ} , В.....	127	220	380	Более 380
Время отключения, с.....	0,8	0,4	0,2	0,1

15.9.2. Требования к выполнению защитного зануления

Практическое применение зануления базируется на выполнении ряда требований к электрической сети.

При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление нулевых защитных проводников на вводе в электроустановки зданий, получающие питание по кабельным линиям, а также в других доступных местах. Для повторного заземления в первую очередь следует использовать естественные заземлители. Если сопротивление растеканию естественных заземлителей не превышает 30 Ом, то выполнение искусственного заземлителя для повторного заземления не требуется. Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет дополнительное уравнивание потенциалов при помощи присоединения нулевого защитного проводника к сторонним проводящим частям. Такие присоединения следует выполнять как можно более равномерно.

При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках до 1 кВ все открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания, если применена система *TN*. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы таким образом, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети. В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхток или на дифференциальный ток.

В системе *TN* время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 15.5.

Время отключения, приведенное в табл. 15.5, считается достаточным для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питаю-

щих передвижные и переносные электроприемники и ручные электроинструменты класса 1.

Для цепей, питающих, распределительные, групповые, этажные и другие подобные им, щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускается время отключения более указанных в табл. 15.5 значений, но не более 5 с, в цепях, питающих только стационарные электроприемники от щитков или щитов, от которых могут также питаться групповые цепи, требующие соблюдения значений, приведенных в табл. 15.5, если выполнено одно из следующих условий:

1) полное сопротивление защитного проводника между точкой его присоединения к основной системе уравнивания потенциалов и распределительным щитом, Ом, не превышает значения, определяемого выражением

$$U_{\text{пр}} Z_{\text{п}} / U_{\text{ф}}, \quad (15.7)$$

где $Z_{\text{п}}$ — полное сопротивление петли «фаза—нуль», Ом; $U_{\text{ф}}$ — номинальное фазное напряжение цепи, В; $U_{\text{пр}}$ — падение напряжения на участке защитного проводника между точкой его присоединения к главной заземляющей шине и распределительным щитом, значение которого не должны превышать 50 В, В;

2) на распределительном щите выполнено уравнивание потенциалов, охватывающее те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Сечение нулевых защитных проводников $s_{\text{нз}}$ по отношению к сечению фазных проводников $s_{\text{ф}}$ должно быть не ниже значений, приведенных в табл. 15.6.

Значения сечений приведены в табл. 15.6 для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости сечениям, получаемым по табл. 15.6.

Таблица 15.6. Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм ²
$s \leq 16$	s
$16 < s \leq 35$	16
$s > 35$	$s/2$

В случаях, когда, начиная с какой-либо точки электроустановки, нулевой рабочий и нулевой защитный проводник разделены, запрещается объединять эти проводники за этой точкой по ходу распределения энергии. В месте разделения PEN-проводника на нулевой защитный проводник и нулевой рабочий проводник необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для нулевого рабочего и нулевого защитного проводников, соединенные между собой. PEN-проводник должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного PE-проводника.

15.10. Основная и дополнительная система уравнивания потенциалов

При рассмотрении электроустановки здания можно выделить ряд отдельных заземлителей как искусственных, так и естественных. Среди искусственных это прежде всего заземлитель нейтрали трансформатора; в виде искусственного может быть выполнен заземлитель молниеприемника; для обеспечения помехоустойчивости электронной аппаратуры также может быть выполнен отдельный заземлитель.

В качестве естественных заземлителей используют железобетонный фундамент здания, обсадные трубы, металлические трубы водоснабжения и др. Наличие отдельных заземлителей, связанных с ОПЧ и СПЧ, но не связанных гальванически между собой, может привести к возникновению опасной разности потенциалов между проводящими частями, находящимися в здании. Соединения заземлителей между собой позволяет не только уравнивать потенциалы проводящих частей связанных с ними, но и снизить сопротивление повторного заземлителя электроустановки здания.

Для соединения различных заземлителей, а также проводящих частей, расположенных в здании используют главную заземляющую шину (ГЗШ), выполненную из меди (допускается выполнение из стали).

В качестве ГЗШ следует использовать шину *РЕ*, расположенную во вводном распределительном устройстве. При установке отдельно от распределительного устройства ГЗШ должна иметь сечение не менее сечения *РЕ*- или *PEN*-проводника питающей линии и располагаться в запирающемся шкафу.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части (рис. 15.6):

1) нулевой защитный *РЕ*- или *PEN*-проводник питающей линии в системе *TN* (подсоединение 1 на рис.15.6);

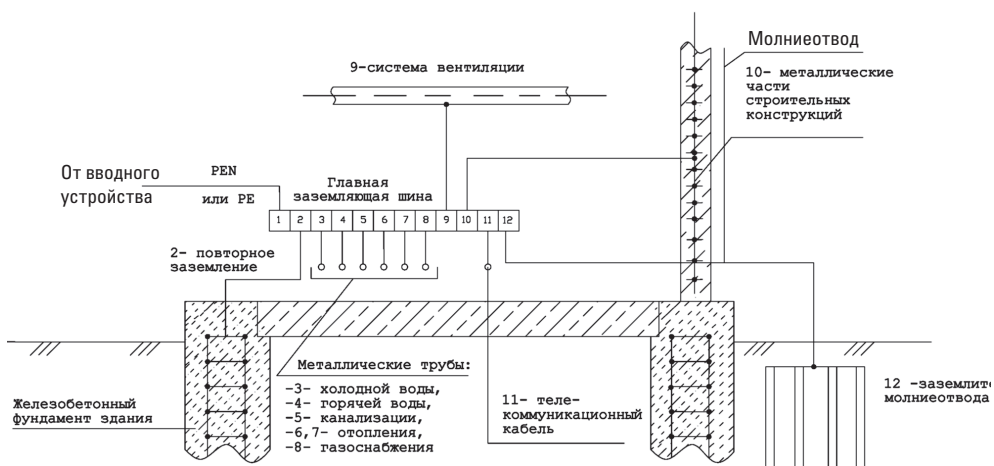


Рис. 15.6. Подсоединение проводящих частей к главной заземляющей шине

2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах *IT* и *TT*;

3) заземляющий проводник 2, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п. (3, 4, 5, 6, 7, 8).

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, то к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5) металлические части каркаса здания 10;

6) металлические части централизованных систем вентиляции 9 и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине *PE* щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

7) заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий 12;

8) заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

9) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей 11.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены, и соединение должно располагаться как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Согласно ПУЭ, система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе *TN* и защитные заземляющие проводники в системах *IT* и *TT*, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям п.1.7.122 ПУЭ к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

К проводникам системы уравнивания потенциалов предъявляются следующие требования.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника

электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм^2 по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных — 6 мм^2 , алюминиевых — 16 мм^2 , стальных — 50 мм^2 .

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

- при соединении двух открытых проводящих частей – сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;
- при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части — половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

15.11. Устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток. Принцип действия УЗО

Защитное отключение это мера защиты от поражения электрическим током при замыкании фазы на корпус, при снижении сопротивления изоляции электроустановок ниже установленного предела, а также в случае прикосновения человека к токоведущим частям электроустановок. Отключение электроустановки должно осуществляться в пределах времени, соответствующего допустимым токам и напряжениям прикосновения. Устройства защитного отключения (УЗО), реализующие вышеперечисленные функции, могут применяться как в сетях с изолированной, так и с глухозаземленной нейтралью.

Наибольшее распространение получили УЗО-Д, основанные на использовании в качестве датчика информации о возникновении опасных ситуаций дифференциального трансформатора тока (ДТТ). В ДТТ первичной обмоткой являются проводники питающей линии, проходящие непосредственно через окно тороидального магнитопровода.

Неравенство токов в проводниках, питающих нагрузку, вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока.

Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования.

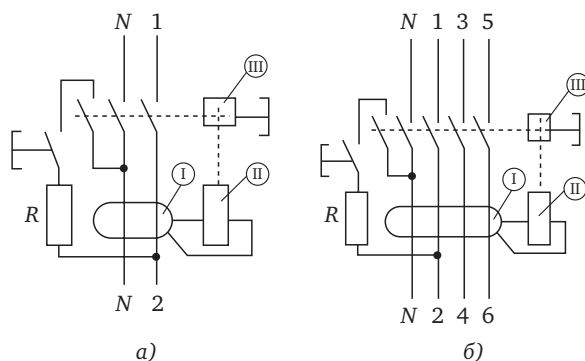


Рис. 15.7. Электрические схемы устройств защитного отключения:

а — двухполюсное УЗО; *б* — четырёхполюсное УЗО; I — дифференциальный трансформатор тока; II — блок сравнения; III — блок отключения

При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Необходимым условием обеспечения безопасности в сетях с разделёнными нулевыми рабочими и защитными проводниками (системы *TN-C-S* и *TN-S*) является устранение гальванических контактов нулевого рабочего проводника с заземленными корпусами электроустановок и нулевым защитным проводником.

В трехфазных сетях используются четырёхполюсные УЗО. В них магнитопровод охватывает три фазных и нулевой рабочий проводники. Принцип действия аналогичен рассмотренному выше: УЗО срабатывает при наличии токов утечки, т.е. токов, не протекающих через нагрузку. На рис. 15.7 показаны электрические схемы УЗО с условными обозначениями основных функциональных блоков. Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока.

Блок сравнения (пусковой орган), который реагирует на превышение дифференциальным током допустимого значения (уставки) выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле или электронных компонентах.

Блок отключения (исполнительный механизм) включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

Нормируемые параметры УЗО

В настоящее время параметры УЗО нормируются рядом стандартов.

Номинальное напряжение U_n — действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

$U_n = 120, 230$ и 400 В.

Номинальный ток I_n — значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

Номинальный ток I_n УЗО выбирается из ряда: 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40,

63, 80, 100, 125 А. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтока дополнительно введены значения 6 и 8 А.

Поскольку УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством (ПЗУ, т.е. предохранителем или автоматическим выключателем), номинальный ток УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков ПЗУ не требуется.

Номинальный ток УЗО рекомендуется выбирать равным или на ступень большим номинального тока последовательного защитного устройства.

Номинальная частота f_n — промышленная частота (50 и 60 Гц), на которую рассчитано УЗО и которой соответствуют значения других характеристик.

Существуют специальные УЗО, рассчитанные на большую частоту. Эти выключатели используются для защиты от косвенного прикосновения в сетях с номинальной частотой от 50 до 400 Гц. С ростом частоты номинальный дифференциальный ток УЗО начинает увеличиваться и на частоте 400 Гц может в 4—5 раз превышать номинальное значение, указанное для 50 Гц. Номинальный ток выключателей данной серии остается неизменным во всем диапазоне от 50 до 400 Гц. Типичной областью применения этих выключателей являются линии с высокоскоростными приводами и высокочастотные линии для систем телекоммуникации.

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ — значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) УЗО выбирается из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА. У ряда производителей имеются УЗО с током $I_{\Delta n}$ 1; 1,5 А и более.

Согласно требованиям ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.83) номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО (уставка) должен не менее чем в 3 раза превышать суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки — I_{Δ} .

$$I_{\Delta n} \geq 3I_{\Delta}.$$

При отсутствии фактических (измеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ (п. 7.1.83) предписывают принимать ток утечки электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчета 10 мкА на 1 м фазного проводника.

Нормативными документами задаются значения отключающего дифференциального тока:

- 10 мА — для одиночных потребителей с номинальным током не более 16 А;
- 30 мА — для линий штепсельных розеток, устанавливаемых в помещении, и наружных розеток, переносных электроприемников, розеток строительных площадок в зданиях из металла и т.д;

- 100 мА — для нескольких групп электроприемников, для стационарных электроприемников (электроплиты, водонагреватели и т.п);
- 300, 500 мА — для защиты от пожара.

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$ — значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}.$$

Предельное значение неотключающего сверхтока I_{nm} — минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО:

$$I_{nm} = 6 I_n.$$

Сверхток — любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_m — действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включить, пропускать и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_m = 10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$ — действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включить, пропускать и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_{\Delta m} = 10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальный условный ток короткого замыкания I_{nc} — действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10\,000 \text{ А}.$$

Номинальный условный ток КЗ I_{nc} — характеристика, определяющая надежность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений.

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta c}$ — действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от КЗ при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{\Delta c} = 3000; 4500; 6000; 10\,000 \text{ А}.$$

Номинальное время отключения T_n — промежуток времени между мо-

ментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах.

Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типа АС при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать значений, приведенных в табл. 15.7.

Максимальное время отключения, установленное в табл. 15.7, распространяется также на УЗО типа А.

При этом испытания УЗО типа А проводят при значениях токов $I_{\Delta n}$, $2I_{\Delta n}$, $5I_{\Delta n}$ и 500 А с коэффициентом 1,4 (при $I_{\Delta n} > 0,01$ А) и с коэффициентом 2 (при $I_{\Delta n} < 0,01$ А).

Таблица 15.7. Допустимое время отключения УЗО

Дифференциальный ток $I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 А
Время отключения T_n , с 0,3	0,15	0,04	0,04

Стандартные значения допустимого времени отключения и неотключения для УЗО типа S при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать значений, приведенных в табл. 15.8.

Таблица 15.8. Допустимое время отключения и неотключения для УЗО типа S

Дифференциальный ток $I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 А
Максимальное время отключения, с 0,5	0,2	0,15	0,15
Минимальное время неотключения, с 0,13	0,06	0,05	0,04

Классификация УЗО

По техническому исполнению существуют различные виды УЗО. Ниже приведена их примерная классификация.

1. По назначению:

- УЗО без встроенной защиты от сверхтоков (выключатели дифференциального тока, рис. 15.7,а, б);
- УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальные автоматические выключатели, рис. 15.8,а), дополнительно они защищают от токов перегрузки и КЗ и имеют тепловой и электромагнитный расцепитель.

2. По способу управления:

- УЗО, функционально не зависящие от напряжения;
- УЗО, функционально зависящие от напряжения (рис. 15.8,б).

УЗО, функционально зависящие от напряжения, в свою очередь, подразделяются на устройства:

- автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без нее. При восстановлении напряжения одни модели этих устройств автоматически повторно замыкают контакты своей главной цепи, другие остаются в отключенном состоянии;

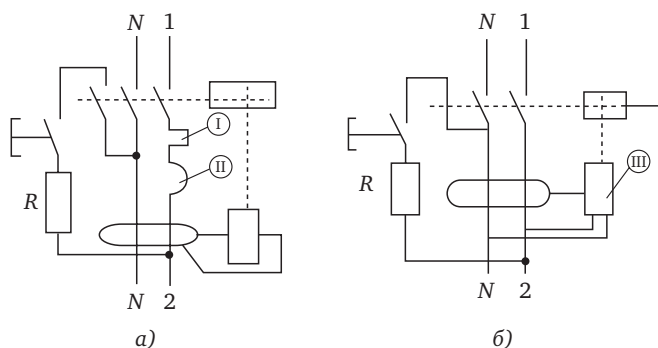


Рис. 15.8. Электрические схемы УЗО:

а — с защитой от сверхтоков (I — тепловой расцепитель, II — электромагнитный расцепитель); б — с электронным блоком сравнения (III), получающего питание от сети

- неразмыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения. Имеются также два варианта исполнения устройств этой группы. В одном варианте при исчезновении напряжения устройство не размыкает свои контакты, но сохраняет способность разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока. Во втором варианте, при отсутствии напряжения, устройства неспособны произвести отключение при возникновении дифференциального тока.

Источником энергии, необходимой для функционирования — выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является для УЗО, функционально не зависящего от напряжения питания (электромеханические), сам сигнал — дифференциальный ток, на который оно реагирует.

Механизм УЗО, функционально зависящего от напряжения питания (электронного), для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при обрыве питающего их нулевого проводника. В этом случае корпус электроприемника, подключенного к сети через УЗО не размыкающего свои контакты при исчезновении напряжения окажется под напряжением. Кроме того, несмотря на меньшую стоимость их применение ограничено из-за меньшей надежности электронных компонентов.

3. По способу установки:

- УЗО, применяемые для стационарной установки при неподвижной электропроводке;

- УЗО, используемые для подвижной установки (переносного типа) и шнурового присоединения. Это, например, УЗО-вилка типа А, включаемая в розетку с заземляющим контактом, имеющая кнопку «Тест» с номинальными токами: рабочим — 16 А, дифференциальным — 30 мА.

4. По числу полюсов и токовых путей наиболее распространены:

- двухполюсные с двумя защищенными полюсами;
- четырехполюсные с четырьмя защищенными полюсами.

Ряд производителей выпускают также трехполюсные УЗО с защитой от сверхтоков.

5. *По условиям регулирования отключающего дифференциального тока:*

- УЗО с одним значением номинального отключающего дифференциального тока;
- УЗО с несколькими фиксированными значениями отключающего дифференциального тока.

6. *По условиям функционирования при наличии составляющей постоянного тока:*

- УЗО типа АС, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток, медленно нарастающий, либо возникающий скачком;
- УЗО типа А, реагирующие как на синусоидальный переменный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, медленно нарастающие, либо возникающие скачком.
- УЗО типа В, реагирующие как на синусоидальный переменный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, медленно нарастающие, либо возникающие скачком, а также постоянный ток.

7. *По наличию задержки по времени:*

- УЗО без выдержки времени — тип общего применения;
- УЗО с выдержкой времени — тип S (селективный).

В разветвленных системах электроснабжения применяют УЗО с различными значениями номинальных дифференциальных токов и времени отключения. В начале сети устанавливают селективное УЗО (типа S) с дифференциальным током 300 или 500 мА. Выпускается также селективные УЗО на токи 1000 и 1500 мА. Для исключения ложных срабатываний при кратковременных повышений тока утечки, а также для обеспечения более раннего срабатывания УЗО на последующих уровнях электроснабжения селективные УЗО имеют время отключения 130—500 мс. УЗО с дифференциальным током 30 мА выполняют функцию защиты от поражения электрическим током, а селективные УЗО с током 300 мА обеспечивают противопожарную защиту. В случае повреждения изоляции и протекании дифференциального тока 300 мА и более вначале сработает УЗО нижнего уровня защиты с током 30 мА. Селективное УЗО, имеющее большее время отключения, в этом случае не сработает и электропитание неповрежденных электроприемников сохранится.

8. *По способу защиты от внешних воздействий:*

- УЗО защищенного исполнения, не требующие для своей эксплуатации защитной оболочки;
- УЗО незащищенного исполнения, для эксплуатации которых необходима защитная оболочка.

9. По способу монтажа:

- УЗО поверхностного монтажа;
- УЗО утопленного монтажа;
- УЗО панельно-щитового монтажа.

10. По характеристике мгновенного расцепления (для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков):

- типа В;
- типа С;
- типа D.

15.12. Защитное электрическое разделение цепей. Принцип действия и используемое оборудование

При защитном электрическом разделении цепей необходимо гальванически отделить одну цепь от другой, т.е. не должно быть проводников, связывающих две цепи. При этом должна быть обеспечена передача энергии от одной цепи к другой. Такая бесконтактная передача энергии может быть обеспечена следующими способами:

- 1) с помощью трансформатора через электромагнитное поле;
- 2) с помощью электромеханических систем через механическое соединение, например электродвигателя и генератора;
- 3) с помощью опто-, фотоэлектронных приборов и др.

В электроустановках наибольшее применение нашёл первый способ с применением разделительных трансформаторов с коэффициентом трансформации равном единице.

При электрическом разделении цепей за вторичной обмоткой разделительного трансформатора получают цепь, изолированную от земли. Если такая цепь короткая, то ёмкостная составляющая полного сопротивления изоляции стремится к нулю и ток через тело человека будет ограничен высоким сопротивлением изоляции. Это обеспечит защиту человека как при прямых прикосновениях к токоведущим частям, так и при косвенных прикосновениях к проводящим частям электроприёмников при повреждении изоляции.

На рис. 15.9 показано разделение цепей с помощью разделительного трансформатора класса I, а на рис. 15.10 — с помощью разделительного трансформатора класса II.

Защитное электрическое разделение цепей применяют в электроустановках с напряжением до 500 В в тех случаях, когда требуется обеспечить:

- безопасность как при прямых так и при косвенных прикосновениях (электропитание переносных и передвижных электроприёмников в помещениях с повышенной и особой опасностью, на строительных площадках, при ремонтных работах и др.);
- непрерывность работы электроприёмников при КЗ на проводящие ча-

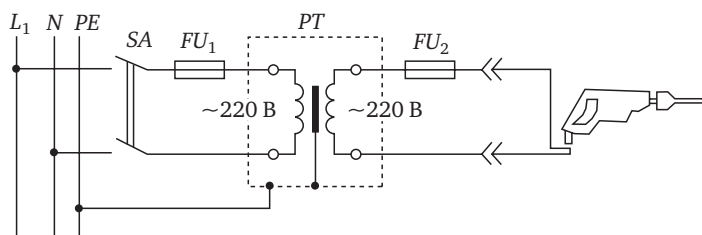


Рис. 15.9. Схема включения электроинструмента через разделяющий трансформатор класса I:

L_1 и N — фазный и нулевой провода; FU_1 , FU_2 — предохранители с плавкими вставками; PT — разделяющий трансформатор; SA — выключатель; PE — нулевой защитный проводник

сти, например при электропитании медицинской аппаратуры искусственного дыхания, внешней электростимуляции сердца;

- низкие значения токов утечки при электропитании электронной аппаратуры.

Для уменьшения тока утечки на корпус подключенной к изолированной сети аппаратуры должен быть максимально уменьшен ток утечки изолирующего трансформатора. Эта возможность может быть реализована, если разделительный трансформатор питает ограниченное количество электроприёмников и его номинальная мощность (не более нескольких киловатт-ампер), а следовательно, и габариты невелики. Значительно снижает ток утечки симметрирование вторичной обмотки трансформатора относительно земли.

С отсутствием больших токов в изолированной системе питания при замыкании отдаленной цепи на корпус в одном из аппаратов связано и другое её преимущество. В отличие от сети с глухозаземленной нейтралью такое замыкание не вызывает отключения аварийного участка, а следовательно, не приводит к перерыву в работе аппаратуры в особенности медицинской.

Если возникшее аварийное состояние будет продолжаться достаточно

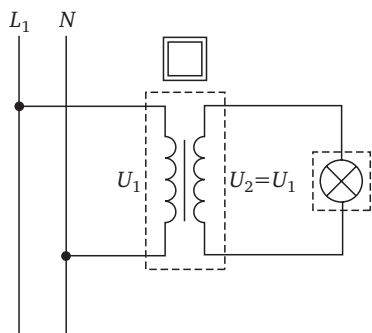


Рис. 15.10. Защитное электрическое разделение цепей с помощью разделительного трансформатора класса II

долго, возможно возникновение замыкания на корпус в другом электроприемнике. При этом в отдаленной цепи возникает двойное замыкание, в результате чего получается недопустимо большое напряжение между корпусами. Поэтому в тех случаях, когда к разделительному трансформатору подключено несколько электроприёмников, их корпуса соединяются между собой проводником, что обеспечивает срабатывание автоматической защиты (рис. 15.11,б).

Разделительные трансформаторы часто используются для питания однофазных приемников от сети с глухозаземленной нейтра-

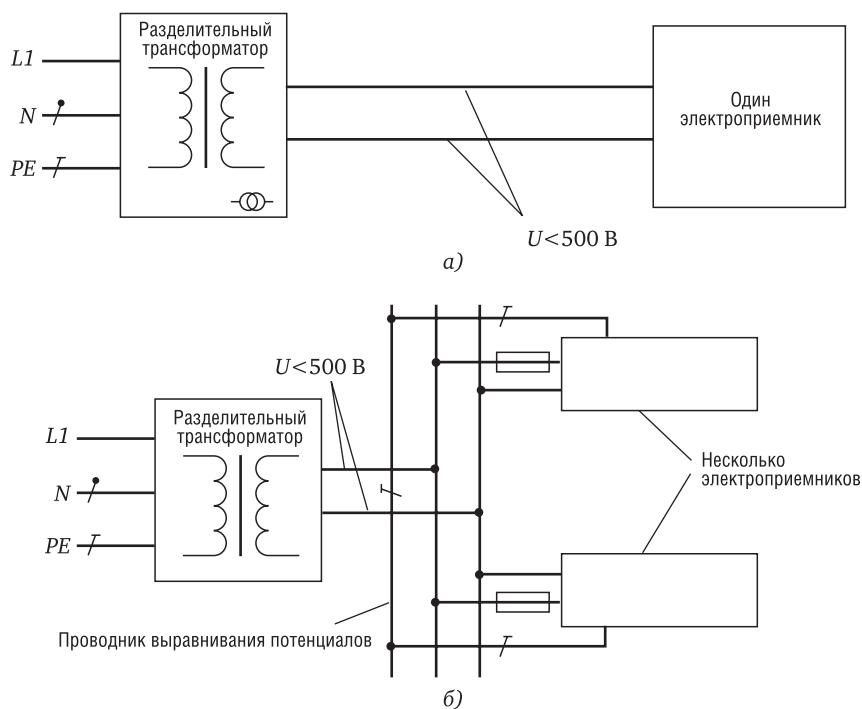


Рис. 15.11. Электрическое разделение цепей с одним (а) и с несколькими (б) электроприемниками

лю, в особенности в тех случаях, когда они расположены в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных помещениях. Например, электро-розетка для маломощных бытовых приборов (электробритва, фен) в ванной комнате, электрифицированный инструмент и т.п.

Требования к отделенной цепи

Согласно ПУЭ (п. 1.7.85) защитное электрическое разделение цепей следует применять, как правило, для одной цепи.

Наибольшее рабочее напряжение отделяемой цепи не должно превышать 500 В.

Питание отделяемой цепи должно быть выполнено от разделительного трансформатора, соответствующего ГОСТ 30030 «Трансформаторы разделительные и безопасные разделительные трансформаторы», или от другого источника, обеспечивающего равноценную степень безопасности.

Токоведущие части цепи, питающейся от разделительного трансформатора, не должны иметь соединений с заземленными частями и защитными проводниками других цепей.

Проводники цепей, питающихся от разделительного трансформатора, рекомендуется прокладывать отдельно от других цепей. Если это невозмож-

но, то для таких цепей необходимо использовать кабели без металлической оболочки, брони, экрана или изолированные провода, проложенные в изоляционных трубах, коробах и каналах при условии, что номинальное напряжение этих кабелей и проводов соответствует наибольшему напряжению совместно проложенных цепей, а каждая цепь защищена от сверхтоков.

Если от разделительного трансформатора питается только один электроприемник, то его открытые проводящие части не должны быть присоединены ни к защитному проводнику, ни к открытым проводящим частям других цепей.

Допускается питание нескольких электроприемников от одного разделительного трансформатора при одновременном выполнении следующих условий:

1) открытые проводящие части отделяемой цепи не должны иметь электрической связи с металлическим корпусом источника питания;

2) открытые проводящие части отделяемой цепи должны быть соединены между собой изолированными незаземленными проводниками местной системы уравнивания потенциалов, не имеющей соединений с защитными проводниками и открытыми проводящими частями других цепей;

3) все штепсельные розетки должны иметь защитный контакт, присоединенный к местной незаземленной системе уравнивания потенциалов;

4) все гибкие кабели, за исключением питающих оборудование класса II, должны иметь защитный проводник, применяемый в качестве проводника уравнивания потенциалов;

5) время отключения устройством защиты при двухфазном КЗ на открытые проводящие части не должно превышать время, указанное в п. 1.7.81 ПУЭ (табл. 15.9).

Таблица 15.9. Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное линейное напряжение U_0 , В 220	380	660	Более 660
Время отключения, с 0,8	0,4	0,2	0,1

15.13. Сверхнизкое (малое) напряжение

Сверхнизким (малым) называют напряжение не более 50 В переменного и 120 В постоянного тока, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

Если номинальное напряжение электроустановки не превышает длительно допустимого напряжения прикосновения, то даже одновременный контакт человека с токоведущими частями разных фаз или полюсов будет безопасен.

В производственных переносных электроприемниках в целях повышения

безопасности применяются малые напряжения 12, 36 и 42 В. В помещениях с повышенной опасностью для переносных электроприемников рекомендуется номинальное напряжение 36 В.

Источниками малого напряжения могут быть батарея гальванических элементов, аккумулятор, выпрямительная установка, преобразователь частоты и безопасный разделительный трансформатор. Аккумуляторы и гальванические элементы не зависят от стационарных сетей, но неудобны в эксплуатации.

Выпрямительная установка, применяемая как источник малого напряжения, должна соединяться с питающей сетью через понижающий трансформатор. Включение выпрямителей через автотрансформатор не допускается, так как токоведущие части сети малого постоянного напряжения в этом случае электрически связаны с сетью высшего напряжения.

Преобразователи частоты позволяют при той же мощности уменьшить габариты и массу электродвигателей, питающихся током повышенной частоты (200, 400 Гц и более). При снижении массы ручного электроинструмента улучшаются условия труда, так как уменьшается физическая нагрузка рабочего. Повышение электробезопасности при этом достигается в большей степени за счет малого напряжения, хотя при частотах 400 Гц и выше опасность снижается. В разветвленных сетях опасность повышается также вследствие увеличения емкостного сопротивления фаз относительно земли.

Наиболее часто как источники малого напряжения применяются безопасные разделительные трансформаторы. В ряде случаев в целях уменьшения опасности при переходе высшего напряжения на сторону вторичного малого напряжения вторичная обмотка и корпус трансформатора заземляется или зануляется.

Для этого в однофазных трансформаторах заземляют один из выводов: в трехфазных, соединенных в звезду, — нулевую точку, а при соединении в треугольник — одну из фаз. Корпус понижающего трансформатора соединяют с защитным нулевым проводником сети с глухозаземленной нейтралью или подключают к магистрали заземления специальным проводником в сети с изолированной нейтралью.

Следует отметить, что в этом случае ток через человека не будет ограничен сопротивлением изоляции, а будет зависеть только от сопротивления тела человека и применяемых изолирующих электрозащитных средств. Поэтому в таких цепях следует выполнять защитное отключение электропитания.

Использование малых напряжений — эффективная защитная мера, но ее широкому распространению мешает трудность осуществления протяженной сети малого напряжения. Поэтому источник малого напряжения должен быть максимально приближен к потребителю. Вследствие того, что потребители рассредоточены на значительных территориях, надо устанавливать источники питания (трансформаторы) на небольшую группу потре-

бителей или даже на каждый потребитель, что экономически невыгодно. Поэтому область применения малых напряжений 12, 36 и 42 В ограничивается ручным электрифицированным инструментом, ручными переносными лампами и лампами местного освещения в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных.

Согласно ПУЭ (1.7.73—1.7.75): сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) в электроустановках напряжением до 1 кВ может быть применено для защиты от поражения электрическим током при прямом и/или косвенном прикосновениях в сочетании с защитным электрическим разделением цепей или в сочетании с автоматическим отключением питания.

В качестве источника питания цепей СНН в обоих случаях следует применять безопасный разделительный трансформатор в соответствии с ГОСТ 30030 «Трансформаторы разделительные и безопасные разделительные трансформаторы» или другой источник СНН, обеспечивающий равноценную степень безопасности.

Токоведущие части цепей СНН должны быть электрически отделены от других цепей так, чтобы обеспечивалось электрическое разделение, равноценное разделению между первичной и вторичной обмотками разделительного трансформатора.

Проводники цепей СНН, как правило, должны быть проложены отдельно от проводников более высоких напряжений и защитных проводников, либо отделены от них заземленным металлическим экраном (оболочкой), либо заключены в неметаллическую оболочку дополнительно к основной изоляции.

Вилки и розетки штепсельных соединителей в цепях СНН не должны допускать подключение к розеткам и вилкам других напряжений. Штепсельные розетки должны быть без защитного контакта.

При значениях СНН выше 25 В переменного или 60 В постоянного тока должна быть также выполнена защита от прямого прикосновения при помощи ограждений или оболочек или изоляции, соответствующей испытательному напряжению 500 В переменного тока в течение 1 мин.

При применении СНН в сочетании с электрическим разделением цепей открытые проводящие части не должны быть преднамеренно присоединены к заземлителю, защитным проводникам или открытым проводящим частям других цепей и к сторонним проводящим частям, кроме случая, когда соединение сторонних проводящих частей с электрооборудованием необходимо, а напряжение на этих частях не может превысить значение СНН.

СНН в сочетании с электрическим разделением цепей следует применять, когда при помощи СНН необходимо обеспечить защиту от поражения электрическим током при повреждении изоляции не только в цепи СНН, но и при повреждении изоляции в других цепях, например, в цепи, питающей источник.

При применении СНН в сочетании с автоматическим отключением пита-

ния один из выводов источника СНН и его корпус должны быть присоединены к защитному проводнику цепи, питающей источник.

В случаях, когда в электроустановке применено электрооборудование с наибольшим рабочим (функциональным) напряжением, не превышающим 50 В переменного или 120 В постоянного тока, такое напряжение может быть использовано в качестве меры защиты от прямого и косвенного прикосновения, если при этом соблюдены все предыдущие требования ПУЭ.

15.14. Технические требования к разделительным трансформаторам и безопасным разделительным трансформаторам

Разделительный трансформатор — это трансформатор, первичная обмотка которого электрически не связана с вторичными обмотками в целях исключения опасности, обусловленной возможностью случайного одновременного прикосновения к земле и токоведущим частям или нетокковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции.

Разделительные трансформаторы, применяются в тех случаях, когда правила безопасности требуют *электрического разделения цепей* для питания оборудования или определенных частей цепи (переносного инструмента, бытовых электроприёмников и др.).

Безопасные разделительные трансформаторы применяются для питания цепей низковольтного оборудования (переносных ламп, переносных инструментов, электрических звонков, игрушек, и т.д.) с *безопасным сверхнизким напряжением*.

Технические требования ГОСТ 30030-93 распространяются на стационарные и переносные однофазные или многофазные сухие (в том числе воздушные) разделительные и безопасные разделительные трансформаторы, вмонтированные или автономные, с номинальным первичным напряжением, не превышающим 1 кВ переменного тока и $1 \cdot \sqrt{2}$ кВ пульсирующего постоянного тока, номинальной частотой не выше 500 Гц и номинальной выходной мощностью, не превышающей:

- для разделительных трансформаторов:
 - 25 кВ · А для однофазных;
 - 40 кВ · А для многофазных;
- для безопасных разделительных трансформаторов:
 - 10 кВ · А для однофазных;
 - 16 кВ · А для многофазных.

Разделительные трансформаторы подразделяются на:

- *щитовые трансформаторы* — предназначенные для скрытого монтажа и установки в коробе;

- *присоединенные трансформаторы* — подразделяются на трансформаторы, *встроенные* в данное изделие и трансформаторы *специального назначения*, которые поставляются с электрическими бытовыми приборами или оборудованием специального назначения или входит в состав его комплекта.

Номинальная площадь поперечного сечения соединительных проводов должна быть не меньше приведенной в табл. 15.10:

Таблица 15.10. Номинальная площадь поперечного сечения питающих кабелей или соединительных шнуров

Первичный ток при номинальной выходной мощности, А	Номинальная площадь поперечного сечения, мм ²
До 6 включительно	0,75
Свыше 6 до 10 включительно	1
Свыше 10 до 16 включительно	1,5
Свыше 16 до 25 включительно	2,5
Свыше 25 до 32 включительно	4
Свыше 32 до 40 включительно	6
Свыше 40 до 63 включительно	10

Соединительные шнуры или гибкие кабели трансформаторов класса I должны иметь жилу с желто-зеленым покрытием, которая подсоединяется к заземляющему зажиму трансформатора и к заземляющему контакту штепсельной вилки, если таковая имеется.

По степени защиты от поражения электрическим током трансформаторы подразделяются на классы I, II и III.

По отношению к действию тока КЗ трансформаторы классифицируются следующим образом:

- *стойкий к КЗ* — трансформатор, в котором превышение температуры не выходит из заданных пределов при перегрузке или КЗ и который остается работоспособным после снятия перегрузки;

- *условно стойкий к КЗ* — трансформатор, стойкость к КЗ которого обеспечивается встроенным защитным устройством, которое размыкает первичную или вторичную цепь или уменьшает в них ток при перегрузке или КЗ. Примерами защитных устройств являются плавкие предохранители, размыкающие устройства от перегрузок, тепловые предохранители, термоограничители, термовыключатели и терморезисторы и автоматически отключающиеся механические устройства;

- *безусловно стойкий к КЗ* — трансформатор, стойкий к КЗ, в котором при перегрузке или КЗ температура не превышает заданных пределов без защитного устройства и который продолжает функционировать после снятия перегрузки или КЗ;

- *безопасный* — трансформатор, который в результате ненормальной эксплуатации не функционирует, но не представляет никакой опасности для пользователя и окружения;

- *не стойкий к КЗ* — трансформатор, который необходимо защищать от превышения температуры при помощи защитного устройства, находящегося вне трансформатора.

В зависимости от возможности перемещения трансформаторы подразделяются на:

- стационарные;
- переносные;
- ручные.

Разделительные трансформаторы могут выполняться со вторичной обмоткой, имеющей несколько ответвлений или с несколькими вторичными обмотками.

В этом случае указывают:

- номинальное вторичное напряжение для каждого ответвления или обмотки;
- номинальную мощность каждого ответвления или обмотки, если они неодинаковы в этих обмотках или ответвлениях.

Доступные металлические части трансформаторов класса I, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции, должны быть постоянно и надежно подсоединены к зажиму защитного заземления, расположенному внутри трансформатора.

Трансформаторы класса II не должны содержать никаких устройств для заземления.

Список литературы

1. **Аппараты** распредустройств низкого напряжения: Справочник 4.1. Автоматические выключатели до и свыше 630 А. М.: Патент, 1992. Вып. 1 и 2.
2. **Быстрицкий Г.Ф.** Основы энергетики. М.: Инфа-М, 2005.
3. **Быстрицкий Г.Ф.** Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. М.: Академия, 2003.
4. **Быстрицкий Г.Ф.** Когенерационные установки промышленных предприятий // Электрика. 2006. № 6.
5. **Быстрицкий Г.Ф.** Теплосиловое оборудование промышленных предприятий (Справочные материалы). М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2007.
6. **Быстрицкий Г.Ф.** Общая энергетика. М.: Академия, 2005.
7. **Быстрицкий Г.Ф.** Установки автономного и резервного электроснабжения // Промышленная энергетика. 2008. № 2.
8. **Выключатели** автоматические типов ВА53-43, ВА55-43, ВА56-43: Каталог // Информэлектро. 1998.
9. **Выключатели** автоматические серии «Электрон»: Каталог // Информэлектро. 1998.
10. **Выключатели** автоматические серии АЗ700: Каталог // Информэлектро. 1991.
11. **Выключатели** автоматические серии АЕ 20 и АЕ20М (модернизированные): Каталог // Информэлектро. 1997.
12. **Выключатели** автоматические типов ВА51-25 и ВА51Г-25: Каталог // Информэлектро. 1998.
13. **Григорьев В.В., Киреева Э.А.** Справочные материалы по электрооборудованию систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 2002.
14. **Григорьев В.В., Киреева Э.А., Миронов В.А., Чохонелидзе А.Н.** Электроснабжение и электрооборудование цехов. М.: Энергоиздат, 2003.
15. **ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89).** Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997.
16. **ГОСТ 13109-97.** Нормы качества электрической энергии в системах

электроснабжения общего назначения / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: Изд-во стандартов, 1999.

17. **Деев Л.В., Балахничев Н.А.** Котельные установки и их обслуживание. М.: Высшая школа, 1990.

18. **Каталог** изделий ОАО «ПО Элтехника». СПб., 2008.

19. **Каталог** ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод», 2008.

20. **Каталог** ОАО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод», 2008.

21. **Каталог** ЗАО «Завод Москабель», 2008.

22. **Каталог** РК «Таврида электрик», 2008.

23. **Каталог** ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока», 2008.

24. **Комплектные** трансформаторные подстанции типа КТП-400: Каталог // Информэлектро. 1993.

25. **Киреева Э.А., Юнес Т., Айюби М.** Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. М.: Энергоатомиздат, 1998.

26. **Киреева Э.А.** Рациональное использование электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2000.

27. **Киреева Э.А.** Повышение надежности, экономичности и безопасности систем цехового электроснабжения. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2002.

28. **Киреева Э.А.** Справочные материалы по электрооборудованию. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2004.

29. **Контакты** и магнитные пускатели: Справочник. М.: Информэлектро, 1994.

30. **Кривченко Г.И.** Гидравлические машины. М.: Энергия, 1978.

31. **Кузнецов Ю.В., Кузнецов М.Ю.** Сжатый воздух. — 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: УрОРАН, 2008.

32. **Кудрин Б.И.** Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1995.

33. **Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.** Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 1989.

34. **Подстанции** трансформаторные комплектные мощностью от 630 до 2500 кВ·А, напряжением 6—10 кВ: Каталог // Информэлектро. 1995.

35. **Правила** устройства электроустановок. — 7-е изд. М.: НЦ Энас, 2002.

36. **Промышленная** теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. Кн. 3 и 4 / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. — 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1991.

37. **Приборы** и средства диагностики электрооборудования и измерений в системах электроснабжения: Справочное пособие / В.И. Григорьев, Э.А. Киреева, В.А. Миронов и др. М.: Колос, 2006.

38. **Ристхейн Э.М.** Электроснабжение промышленных установок. М.: Энергоатомиздат, 1991.

39. **Справочная** книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1996.
40. **Справочник** по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. Электроснабжение / Под ред. А.А. Федорова. М.: Энергоатомиздат, 1986.
41. **Старкова Л.Е., Орлов В.В.** Проектирование цехового электроснабжения: Учеб. пособие. — 2-е изд. испр. и доп. Вологда: ВОГТУ, 2001.
42. **Смирнов А.Д., Антипов К.М.** Справочная книга энергетика. — 5-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987.
43. **Справочная** книга электрика / Под ред. В.И. Григорьева. М.: Колос, 2004.
44. **Справочник** энергетика / Под ред. А.Н. Чохонелидзе. М.: Колос, 2006.
45. **Справочник** промышленного оборудования. М.: ЗАО «Вентиляция, водоснабжение, теплоснабжение», 2005.
46. **Теплотехнический** справочник. Т. 1 / Под общ. ред. В.И. Юренева, П.Д. Лебедева М.: Энергия, 1976.
47. **Трансформатор** напряжения типа НАМИТ-10-2 УХЛ2: Каталог ОАО «Самарский трансформатор», 2006.
48. **Черкасский В.М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергоатомиздат, 1984.
49. **Электроснабжение** и электрооборудование цехов / В.И. Григорьев, Э.А. Киреева, В.А. Миронов и др. М.: Энергоиздат, 2003.
50. **Конюхова Е.А.** Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Академия, 2007.
51. **Новейшие** технологии в мире кабелей: Каталог компании «АББ Москабель», 2005.
52. **Долин П.А.** Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
53. **Монахов А.Ф.** Защитные меры электробезопасности в электроустановках. М.: ЗАО «Энергосервис», 2006.
54. **Душкин Н.Д., Монаков В.К., Старшинов В.А.** УЗО-устройства защитного отключения: Учебно-справочное пособие. М: ЗАО «Энергосервис», 2003.
55. **Правила** устройства электроустановок (7-е изд.). Разделы 1; 6; 7. М.: ЗАО «Энергосервис», 2006.
56. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
57. **ГОСТ 12.1.038-82(2001)** ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
58. **ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001.** Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током.

59. **ГОСТ 12.1.030-81 (2001) ССБТ.** Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

60. **ГОСТ Р 50571.3-94** (ГОСТ 30331.3-95). Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.

61. **ГОСТ Р 50807-95** (МЭК 755-83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током.

62. **ГОСТ Р 51326.1-99** (МЭК 61008-1-96). Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

63. **ГОСТ Р 51327.1-99** (МЭК 61009-1-96). Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

64. **ГОСТ Р 50 669-94.** Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли и бытового обслуживания населения. Технические требования.

65. **ГОСТ Р 51326.2.2-99** (МЭК 61008-2-2-90). Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков.

66. **ГОСТ Р 51327.2.1-99** (МЭК 61009-2-1-91). Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков.

67. **ГОСТ 30030-93** (МЭК 742-83). Трансформаторы разделительные и безопасные разделительные трансформаторы.

Оглавление

Предисловие	3
Важнейшие единицы теплотехнических и электрических величин	5
 РАЗДЕЛ I. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	9
Глава 1. Топливо и его сжигание	9
1.1. Элементарный состав твердого, газообразного и жидкого топлива	9
1.2. Расчеты горения топлива	16
Глава 2. Котельные установки	20
2.1. Общие сведения	20
2.2. Паровые котлы предприятий	22
2.3. Водогрейные котлы	30
2.4. Тепловой баланс котельного агрегата	45
2.5. Тепловые потери котла	50
2.6. Определение коэффициента избытка воздуха в топке котла	51
2.7. Коэффициент полезного действия и расход топлива	53
2.8. Естественная тяга котельных агрегатов	54
Глава 3. Центробежные насосы и вентиляторы	58
3.1. Общие сведения	58
3.2. Подобие центробежных машин. Формулы пропорциональности.....	62
3.3. Регулирование подачи (расхода) центробежных насосов и вентиляторов ...	65
3.4. Определение мощности приводного двигателя центробежного насоса	70
3.5. Сводные графики полей (зон) рабочих характеристик нагнетателей	70
3.6. Кавитация и высота всасывания центробежных насосов	75
3.7. Потери напора в нагнетательном трубопроводе	79
3.8. Основные характеристики центробежных насосов типов АК, АЦКМ (фирм «Линас» и «EBARA»).....	81
3.9. Насосы для перекачивания воды и пароконденсата (ЗАО «Гидромаш-Холдинг»)	87
3.10. Насосы для перекачивания нефти и нефтепродуктов.....	93
3.11. Насосы для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод.....	94
3.12. Насосы для перекачивания высокообразивных гидросмесей	96
3.13. Насосы для перекачивания морской воды	98
3.14. Насосы центробежные химические (ОАО «Насосный завод», г. Екатеринбург)	99

3.15. Насосы химические герметичные типа ЦГ, БЭН и ТЭ (ЗАО «Вентиляция, водоснабжение, теплоснабжение», далее «ВВТ»)	100
3.16. Насосы химические типов Х, ХО и АХ (ЗАО «ВВТ»)	105
3.17. Вентиляторы.	108
Глава 4. Центробежные, поршневые и винтовые компрессоры	118
4.1. Центробежные компрессоры	118
4.2. Поршневые компрессоры	124
4.2.1. Устройство и работа поршневого компрессора.	124
4.2.2. Характеристики поршневого компрессора и регулирование подачи.	126
4.2.3. Многоступенчатые компрессоры	128
4.3. Винтовые компрессоры	135
Глава 5. Теплообменное оборудование.	145
5.1. Общие сведения	145
5.2. Виды и классификация теплообменных аппаратов.	146
5.3. Конструкции теплообменных аппаратов поверхностного типа	150
5.4. Расчеты теплообменных аппаратов поверхностного типа.	160
5.5. Воздушно-отопительное оборудование	168
Глава 6. Автономные электрогенераторные установки	180
6.1. Блочные паровые турбоагрегаты (мини-ТЭЦ)	180
6.2. Газотурбинные электрические станции (ГТЭС)	185
6.3. Газопоршневые электрические станции	190
6.4. Дизельные электрические станции.	193
6.5. Бензиновые и дизельные электрические станции малой мощности от 1,5 до 140 кВт (220 и 380 В)	213
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	221
Глава 7. Электрооборудование напряжением до 1 кВ.	221
7.1. Автоматические воздушные выключатели.	221
7.1.1. Общие технические сведения по автоматическим выключателям	221
7.1.2. Автоматические выключатели серии ВА 59 (ОАО «Позитрон»).	230
7.1.3. Автоматические выключатели серии ВА07.	231
7.1.4. Модернизированные автоматические выключатели серий ВА57, D-мах	232
7.2. Контактры и пускатели	238
7.2.1. Общие технические сведения по контакторам и пускателям	238
7.2.2. Контактры электромагнитные серий КМ, КНЕУ, КНИ	244
7.2.3. Контактры и пускатели электромагнитные серий КЭ, ПМ12К, ПМ12-125, ПМЕ-200, ПМА-3000 (ОАО «Кашинский завод электроаппаратуры»).	246
7.2.4. Контактры вакуумные серий КВ2, КВ1.	253
7.2.5. Контактры вакуумные серии КВ1,14 (ФГУП ПО «Север»)	255
7.2.6. Контактры вакуумные серии LSM/TEL (ООО «РК Таврида Электрик»)	256
7.2.7. Вакуумные контакторы серии КВТп (ОАО «Позитрон»)	258
7.2.8. Контактры постоянного и переменного тока серий МК, КПВ, КТПВ, КТ, КТП (ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»)	259
7.2.9. Пускатели постоянного тока серий ПМЛ, ПМЛ-7000 (ОАО НПО «ЭТАЛ»)	267
7.2.10. Контактры электромагнитные серий КТ(КТП)7000, КТ(КТП)6000.	268

7.2.11. Низковольтные контакторы серий КТМ, КТ, МКТМ (ОАО «Электрокомплекс», г. Минусинск)	272
7.3. Низковольтные комплектные устройства серии ЩО70 (Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры)	272
7.4. Шкафы, щиты, распределительные устройства, ящики, рубильники, щитки	273
7.4.1. Общие сведения по низковольтному электрооборудованию	273
7.4.2. Щитки гаражные «Гарант» (ОАО «Московское Электрооборудование и Лифты»), щиты вводно-распределительные	280
7.4.3. Панели распределительных щитов серий ЩО70, ЩО91, пункты распределительные (160 Электромеханический завод)	281
7.5. Низковольтные комплектные устройства на базе микропроцессорных блоков	283
7.5.1. Собственные нужды.	283
7.5.2. Щиты больничные распределительные (завод электрощитового оборудования «ТПЭ — Тяжпромэлектро»)	286
7.5.3. Низковольтные комплектные устройства «Нева» (ОАО «ПО «Элтехника»)	287
7.5.4. Низковольтные комплектные устройства «Ассоль» (ЗАО «Электронмаш»)	288
Глава 8. Коммутационное оборудование напряжением выше 1 кВ	289
8.1. Выключатели	289
8.1.1. Общие технические сведения по выключателям.	289
8.1.2. Выключатели вакуумные высоковольтные 10(6) кВ серии ВВп-1-10 (ОАО «Позитрон»)	300
8.1.3. Вакуумные выключатели ВВТЭ-М-10, ВБПС-10, ВВЭ-М-10, ВБПВ-10, ВБЧ-СП-10, ВБЧ-СЭ-10, ВБСК-10 (ОАО «Электрокомплекс», г. Минусинск)	301
8.2. Разъединители	302
8.2.1. Общие технические сведения по разъединителям	302
8.2.2. Вакуумные разъединители (ФГУП ПО «Север»)	310
Глава 9. Трансформаторы	312
9.1. Общие технические сведения по трансформаторам	312
9.2. Сухие трансформаторы	330
9.2.1. Сухие трансформаторы с открытыми обмотками (ООО «Электрофизика»)	330
9.2.2. Сухие трансформаторы трехфазные серий ТС, ТСЗ, ТСКС (ООО «Энергетическая компания «ЭНКО»)	331
9.2.3. Трехфазные сухие трансформаторы с литой изоляцией («НТТ-«ЭЛЕКТРО»)	333
9.2.4. Сухие трансформаторы СТР с литой изоляцией на 6, 10, 15, 20 кВ (производитель — итальянская компания «IMEFY SPA», поставщик — ООО «Росполь-Электро»)	334
9.2.5. Сухие трансформаторы с литой изоляцией серий ТС, ТСЗ, ТСЗП мощностью от 25 до 2500 кВ·А на напряжение до 35 кВ (компания «РосЭнергоТранс»)	335
9.3. Масляные трансформаторы нового поколения	336
9.3.1. Масляные трансформаторы	336

Глава 10. Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции	339
10.1. Общие технические сведения по комплектным трансформаторным подстанциям	339
10.2. Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции разных производителей	344
10.2.1. Комплектные распределительные устройства внутренней установки 6—10 кВ серий К-125, К-126, К-128, К-129 (ОАО «Мосэлектротит»)	344
10.2.2. Комплектные распределительные устройства и камеры сборные одностороннего обслуживания серий КМП-Н, КМП-С, КМ1, КРУ2-10, КСО-202, КСО-292, КСО-2029У (Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры)	347
10.2.3. Комплектные распределительные устройства и трансформаторные подстанции, сборные камеры серий КНВ-10, КСО-202В, КСО-202ВМ, КСО-306, КСО-306ШВВ, БМКТП (ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»)	352
10.2.4. Комплектные распределительные устройства на 20 кВ серии К-26(27)М-АЭ (НПФ «Альянс-Электро»)	358
10.2.5. Комплектные трансформаторные подстанции и распределительные устройства серий КТП 35/0,4, КТПНУ, КТПБ35, КТПНБ, КТПП, КТПСН, К-02-3МК, КСО-299, КСО-398, КСО-399, ВМ-4-35, К-02-3, К-02-4, КРУН-АСВЛ (Чебоксарский завод силового электрооборудования «Электросила»)	358
10.2.6. Комплектные трансформаторные 35/6(10) и распределительные подстанции, камеры сборные, пункты секционирования воздушных линий серий КРУ-АТ, КРН-АТ, КСО 298АТ-М, КСО 393АТ-В (ПКФ «Автоматика»)	376
10.2.7. Камеры сборные КСО-366, КСО-298 (160 Электромеханический завод)	382
10.2.8. Оборудование для распределительных и трансформаторных подстанций серий КСО-298 (-395, -298MSI, -2УМЗ, -395), НКТПН (ОАО «Московское Электрооборудование и Лифты»)	383
10.2.9. КРУ, КСО, шкафы и выкатные элементы (ОАО Мосэлектротит»)	387
Глава 11. Измерительные трансформаторы тока и напряжения	389
11.1. Общие технические сведения по измерительным трансформаторам тока	389
11.2. Общие технические сведения по измерительным трансформаторам напряжения	407
11.3. Обобщенные сведения по измерительным трансформаторам тока и напряжения (ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока»)	412
11.4. Современные измерительные трансформаторы напряжения	414
11.4.1. Незаземляемые, заземляемые, антирезонансные ТН (ОАО «СЗТТ»)	414
11.4.2. Трехфазные антирезонансные группы литых трансформаторов напряжения НАЛИ-СЭЩ-6(10) (ООО «Русский трансформатор») ..	426
11.5. Современные измерительные трансформаторы тока	427
11.5.1. Шинные, опорные, проходные, встроенные, нулевой последовательности, специальные ТТ; замена ТТ (ОАО «СЗТТ») ..	427
11.5.2. Трансформаторы тока серии ТТИ	458

Глава 12. Конденсаторы и конденсаторные установки	460
12.1. Конденсаторы серий КМ, КС, КСО, КСК	460
12.2. Конденсаторные установки серий УКЛН, УКЛ(П), УКЛ(ПН), УКБН, УК, УКЛ(П)НТ, УКМ, УКЛ	463
12.3. Конденсаторы КПС, комплектные конденсаторные установки УМКФ71, УК, шкафы ШК-85 (ОАО «Электроинтер», г. Серпухов)	464
12.4. Установки конденсаторные высокого и низкого напряжения, конденсаторы электротермические (ОАО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод»)	467
Глава 13. Кабели и воздушные линии	473
13.1. Кабели и провода	473
13.2. Современные кабели с высокими техническими характеристиками (ОАО «Севкабель»)	499
13.3. Самонесущие изолированные провода, силовые кабели ВВГ, ВБбШв, шнуры осветительные (НП «Подольскабель»)	505
13.4. Силовые кабели для стационарной прокладки (ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод)	507
13.5. Кабели и провода теплостойкие монтажные (Энергопром, г. Москва) ...	510
13.6. Силовые кабели с изоляцией из СПЭ, самонесущие изолированные провода (ОАО «Камкабель», г. Пермь)	511
13.7. Силовые кабели, не распространяющие горение, безгалогенные, с изоляцией из СПЭ (ОАО «Завод Саранскабель»)	516
Глава 14. Осветительные устройства	519
14.1. Общие технические характеристики ламп накаливания, люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления, светильников, импульсных зажигающих устройств	519
14.2. Светотехнические характеристики светильников	536
14.3. Светильники различного назначения (ОАО Лидский завод электроизделий)	537
14.4. Современная светотехническая продукция российских производителей ..	542
Глава 15. Общие сведения по электробезопасности	548
15.1. Действие тока на организм человека	548
15.2. Способы снижения тока, проходящего через человека	550
15.3. Классификация электроприемников по способу защиты от поражения электрическим током	551
15.4. Классификация помещений по условиям поражения электрическим током	552
15.5. Классификация проводящих частей электроустановок и видов прикосновения к частям, находящимся под напряжением	553
15.6. Перечень мер защиты при прямом и косвенном прикосновении	554
15.7. Классификация систем заземления электроустановок напряжением до 1 кВ и их применение	555
15.8. Защитное заземление. Заземление в сетях с глухозаземленной и изолированной нейтралью	558
15.9. Защитное зануление	560
15.9.1. Принцип действия	560
15.9.2. Требования к выполнению защитного зануления	562
15.10. Основная и дополнительная система уравнивания потенциалов	564

15.11. Устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток. Принцип действия УЗО.....	566
15.12. Защитное электрическое разделение цепей. Принцип действия и используемое оборудование	573
15.13. Сверхнизкое (малое) напряжение	577
15.14. Технические требования к разделительным трансформаторам и безопасным разделительным трансформаторам.....	579
Список литературы	582

ISBN 978594275574-4



Справочное издание

Быстрицкий Геннадий Федорович,
Киреева Эльвира Александровна

**Справочная книга по энергетическому оборудованию
предприятий и общественных зданий**

Редакторы: Л.Л. Жданова, Н.В. Ольшанская
Компьютерная верстка и художественное
оформление В.В. Дёмкин

Подписано в печать с оригинал-макета 20.10.11.
Формат 70×100/16. Бумага офсетная № 1.
Усл. печ. л. 48,1. Уч.-изд. л. 48,4. Тираж 1000 экз.
Заказ

ООО «Издательство Машиностроение»
107076, Москва, Стромьинский пер., 4
www.mashin.ru

Отпечатано в ГУП ППП «Типография «Наука» РАН.
129099, Москва, Шубинский пер., 6.