

Б.В. Жилин

***Р*АСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
НАГРУЗОК И ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА РАННИХ
СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Б.В. Жилин

***Р*АСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
НАГРУЗОК И ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА
РАННИХ СТАДИЯХ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Челябинск
2011

Точность определения электрических нагрузок в решающей степени определяет объемы капитальных вложений на сооружение системы электроснабжения (СЭС) строящегося или реконструируемого предприятия. С определения параметров электропотребления (максимума нагрузки и расхода электроэнергии) начинается проектирование СЭС промышленного предприятия, намечаются источники электроэнергии, ориентировочно определяется стоимость сооружения электрохозяйства объекта. Ошибки при расчете электрических нагрузок (РЭН), более чем другие ошибки при проектировании СЭС, способны увеличить стоимость и сроки сооружения предприятия, "заморозить" в лишнем металле СЭС существенные капитальные вложения. И тому есть достаточно примеров.

Многообразие условий и особенностей РЭН, в соответствии с разными целями и уровнями СЭС, приводит к различным методам и подходам, используемым при определении величин расчетной нагрузки и расходов электроэнергии (ЭЭ). С другой стороны, нельзя сказать, что эта задача полностью решена при достаточно большом количестве работ, посвященных этому вопросу, при, казалось бы, достаточно строгих математических преобразованиях фундаментальных законов, на которых базируется большинство известных методов.

Принципиально задача определения допустимости применения различных проводников для протекания известного тока успешно и достаточно строго решена с использованием классических физических законов. Конкретная реализация решения не представляет трудностей при использовании современных средств вычислительной техники. В нормативных документах, справочной литературе представлены зависимости допустимого тока от факторов, характеризующих параметры проводника в уравнении энергетического баланса: материал, вид проводника, способ, вид и условия прокладки.

При изменяющемся во времени токе, температура проводника в любой момент времени может быть определена через тепловой эквивалент реального тока - это такой неизменный по величине ток, который вызывает тот же перегрев

проводника над окружающей средой, что и реально изменяющийся ток. Определение эквивалентного тока связано с временем осреднения $T_{оср}=3 \cdot T_0$. За указанное время при неизменном токе проводник достигает 95 % от установившейся температуры. С точки зрения выбора проводника нас интересует тепловой эквивалентный ток, соответствующий максимальной температуре нагрева проводника, так называемый "греющий максимум" или расчетный ток. Так как основная трудность РЭН состоит в определении активной мощности, то соответственно вводят понятие расчетная мощность P_p , связанной с расчетным током известным соотношением. При известном графике изменения тока (мощности) определение расчетного тока не представляет труда. Однако, определение расчетного тока для всего многообразия нагрузки, то есть разнообразных электроприемников и режимов их работы, которые встречаются в инженерной практике, представляет значительные трудности и получило название - расчет электрических нагрузок.

Так как цели и методы РЭН отличаются для разных уровней СЭС удобно использовать терминологию, предлагаемую в /1/, аналогичное выделение уровней используется в /2/. Выделяют шесть уровней СЭС:

- отдельный ЭП - 1УР,
- групповой щиток питания, распределительный пункт до 1 кВ (РП),
- шинопровод (ШП) - 2УР,
- распределительное устройство (РУ) низкого напряжения цеховой трансформаторной подстанции - 3УР,
- РУ высокого напряжения (6-10 кВ) - 4УР,
- РУ 6-10 кВ ГПП-ПГВ - 5УР,
- граница раздела с энергосистемой - 6УР.

В наиболее простом виде РЭН и выбор проводников были представлены в первых отечественных учебниках: в 1915 году вышел учебник В.В.Дмитриева "Электрическое распределение механической энергии на фабриках и заводах", в 1925 году - учебник С.А.Ринкевича "Электрическое распределение механической энергии". Наиболее простым и одним из первых методов РЭН для группы электроприемников (ЭП) пожалуй, следует считать метод коэффициента спроса - K_c , предложенный в 1891 году английским электротехником Р.Э.Б.Кромптоном:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст},$$

где $P_{уст}$ - установленная мощность электроприемников (в общем случае – сумма номинальных мощностей), кВт.

В нашей стране на практике этот метод начал применять с 1936 года Ю.Л.Мукошеев, с определением K_c по результатам обследования действующих

предприятий, а в 1940 году Ю.Л.Мукосеев для цехов малого и среднего машиностроения предложил метод удельной нагрузки на единицу площади.

Бурное развитие промышленности в 30-ые годы потребовало развития и повышения точности методов РЭН. Именно к этому периоду относятся работы, полностью или большей частью посвященные проблеме расчета нагрузок, Петрова И.И., Шафранского Б.Г., Лакса М.П., Либермана А.С. и ряда других ученых. Н.В.Копытов /3/ первый применил вероятностные методы при определении электрической нагрузки группы ЭП, работающих в повторнократковременном режиме, ввел понятие эффективного числа ЭП (1933 г.), используемого и до настоящего времени. В.П. Тихонов продолжил исследования для сетей, питающих электросварочную нагрузку. В 1937 году Д.С. Лившицем /4/ была предложена двухчленная формула для определения расчетной мощности, используемая в практике проектирования вплоть до пятидесятых годов. Известны работы С.М. Лифшица по определению коэффициента спроса для действующих предприятий. В этот период разработан метод парциальных максимумов /5/, предложенный Г.М.Каяловым (1937 г.).

Дальнейшее развитие методов РЭН (40 - 60-ые годы) шло в направлении внедрения теории вероятностей, математической статистики и широким обследованием различных групп ЭП на действующих предприятиях. Этот период связан с именами таких ученых, как Н.П.Афанасьев, С.Д.Волобринский, Б.В.Гнеденко, С.Е.Гродский, А.А.Денисов, Г.М.Каялов, Б.А.Князевский, В.С.Лившиц, С.М.Лифшиц, Б.С.Мешель, М.К.Харчев, и ряда других.

В конце 50-х годов проектные институты (в первую очередь "Тяжпромэлектропроект" и "Электропроект") проводили многочисленные обследования графиков нагрузки (в основном металлургических, металлообрабатывающих и машиностроительных предприятий), на основании которых были получены коэффициенты, характеризующие режимы работы потребителей. В 1957 году была создана специальная Комиссия по электрическим нагрузкам при секции электроснабжение НТО энергетической промышленности. Результатом работы, которой стали вышедшие в 1961 году "Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий" /6/, подготовленные совместно с ГПИ "Тяжпромэлектропроект". Это был первый опыт издания таких рекомендаций в мировой практике. В 1964 году Комиссия по электрическим нагрузкам выпустила "Методические указания по обследованию электрических нагрузок промышленных предприятий" /7/, в которых рекомендовались два метода: упорядоченных диаграмм (УД) Г.М.Каялова /8/ и статистический метод Б.С.Мешеля /9/. Затем было произведено уточнение ряда положений, численных значений, не затрагивающих основ, и в 1968 году ГПИ "Тяжпромэлектропроект" выпустил "Указания по определению электрических

нагрузок в промышленных установках" /10/. Основным методом РЭН рекомендовался метод УД, разработанный Г.М.Каяловым. До настоящего времени этот метод не претерпел серьезных изменений /11/. А, пожалуй, самой полной книгой посвященной такому подходу к РЭН остается /12/.

Дальнейшие исследования по определению расчетной нагрузки, то есть "греющего максимума" можно разделить на два основных направления: первое направление связано с уточнением ряда величин и соотношений для конкретных производств и групп ЭП, не затрагивающих основ метода УД, второе - связано с принципиальными усовершенствованиями метода УД, с разработкой новых методов. В рамках первого направления, анализируя причины завышения расчетных мощностей при применении метода УД, ряд авторов предлагал различные корректировки коэффициентов и других величин, составляющих метод. В рамках второго направления разрабатываются новые методы РЭН на тех же физических основах. Это методы, основанные на прямом решении уравнений теплового баланса проводника. Так, например, предлагается метод с использованием кривых допустимых параметров распределения нагрузочного тока, и метод квантилей электрической нагрузки, которые учитывают "адекватную термическую модель" выбираемого проводника, то есть реальное значение постоянной нагрева. К этой группе методов можно отнести также инерционный метод, а также метод с уточненным определением эквивалентного "греющего" тока отдельно для проводников, отдельно для трансформаторов. С другой стороны, для учета тепловых характеристик различных элементов СЭС при их выборе, предлагаются различные корректировки времени осреднения, вероятности не превышения расчетной нагрузки, отличные от принятого в методе УД.

Это также методы развивающие подход, использованный в статистическом методе. (Хотя, деление тут несколько условно, так как методы, упомянутые ранее, часто также опираются на вероятностное описание изменения нагрузки). Теоретические основы такого подхода исследованы в /13/. В ряде работ, используя статистический подход, уточняются различные константы, коэффициенты, предлагаются иные методы на этих принципах.

Названы эти методы - аналитическими, так как полностью формализуют РЭН, основываясь на классических законах физики и электротехники, на их аналитических преобразованиях. Следует отметить, что аналитические методы, кроме директивно рекомендованного метода УД, имеют в проектной практике ограниченное применение и в большей мере являются теоретическим развитием проблемы.

В последующий период появились задачи определения максимальной мощности группы электроприемников со значительно меньшим интервалом осреднения (минуты, секунды), т.е. определение пиковой нагрузки (и связанные с

этим, вопросы определения колебаний нагрузки). На этом этапе уточнение известных и разработка новых методов происходит с использованием моделирования нагрузки различными способами, в том числе с использованием аналого-физических комплексов, вероятностного суммирования графиков нагрузки и т.п. А решение задач расчета пиковой нагрузки потребовало привлечения теории случайных процессов, случайных импульсных потоков, теории массового обслуживания. Существенный вклад в эти исследования внесли Г.Я. Вагин, В.И.Гордеев, И.В. Жежеленко, Г.М. Каялов, Э.Г. Куренный, В.П. Степанов, Ю.А. Фокин и ряд других ученых.

Так как для применения в проектной практике рекомендуется и нашел широкое применение метод УД (последняя редакция /11/), то и наибольшее количество публикаций, посвящено этому методу, попыткам снизить погрешности метода, указанию конкретных случаев возникновения существенных погрешностей в РЭН, анализу причин этого явления. Рекомендуемый метод УД и аналогичные ему аналитические методы предполагают погрешность в определении расчетного тока (мощности) 10%. Известно, что погрешности вносимые методом УД можно разделить на методические и информационные. Методические погрешности объясняются рядом допущений, используемых в этом методе, которые в определенных условиях сказываются на конечном результате, что проявляется в большой ошибке.

Во-первых, в качестве расчетной мощности используется - средняя за $T_{\text{оср}}$, а не эффективная, которая пропорциональна потерям в проводнике.

Во-вторых, использование 30-минутного интервала осреднения $T_{\text{оср}}=3 \cdot T_0$ справедливо для проводов и кабельных линий сечением менее 25 мм^2 , для которых T_0 , близко к 10 минутам. Что соответствует 1УР - питание отдельного ЭП. Поэтому при выборе других сечений кабелей, других элементов с другой постоянной нагрева, необходимо применение формулы пересчета /10/, или по /11/ для шинопроводов и трансформаторов специальных кривых для определения коэффициента максимума

$$K_m = f(K_i, n_{\text{эф}}),$$

где K_i - коэффициент использования,

$n_{\text{эф}}$ - эффективное число ЭП.

(В /11/ вместо K_m вводится коэффициент расчетной нагрузки K_p , имеющий в данном случае, тот же физический смысл).

Кроме перечисленных источников методической погрешности следует указать, что при построении зависимости $K_m = f(K_i, n_{\text{эф}})$, предполагается, что коэффициент загрузки ЭП $K_z = 0,8$, что, как известно, является завышенным значением для большинства ЭП. Следующими источниками погрешности являются

допущения: о независимости режимов работы отдельных электроприемников, о том, что закон распределения электрической нагрузки соответствует распределению Гаусса. Во многих исследованиях показано для различных видов нагрузки, что это не так. И, наконец, принципиальная разница в подходе к определению расчетного тока на 1УР (расчетный ток - номинальный ток ЭП) и на 2УР (расчетный ток определяется методом УД) приводит к тому, что сечение кабеля, выбранное к отдельному ЭП может оказаться равным или даже больше, чем сечение кабеля, питающего всю группу ЭП.

Информационные погрешности неизбежны при применении метода УД, так как источником информации для метода служат параметры режимов работы аналогичных ЭП, приводов существующих производств. Сведения о последующих обследованиях предприятий по уточнению коэффициентов, используемых в методе, появляются достаточно редко и последние относятся к 70-80 годам. Известны примеры - в химической промышленности, металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности, в нефтедобывающей отрасли. Сами обследования не носят систематического характера. В тоже время, разброс коэффициентов, характеризующих режимы работы ЭП в аналогичных технологических процессах, может быть достаточно велик, растет число ЭП с не обследованными режимами работы.

Эти факты нашли отражение справочной литературе, где для некоторых видов ЭП, приводов различие в $K_{и}$ может быть в два и более раз (например, /2/). Но самое главное, что для современного крупного даже действующего предприятия получение информации о полном составе и режимах работы ЭП представляет принципиальные трудности (а тем более для проектируемого), о чем будет сказано ниже. Поэтому уточнением допущений, коэффициентов, входящих в метод УД, в методику выбора сечения проводника часто невозможно повысить точность определения расчетного тока и соответствующего ему сечения.

Практика применения метода УД показала, что он приводит к завышению расчетных токов и, соответственно, сечений проводников, мощности трансформаторов даже на низших уровнях СЭС, в сетях до 1 кВ. Публикации, посвященные этому вопросу, стали появляться с начала 70-х годов, а с начала 80-х практически в каждой публикации, посвященной расчету нагрузок, указывается на завышение расчетных мощностей, получаемых в методе УД, и как следствие, на низкие коэффициенты токовой загрузки элементов СЭС. Аналогичные проблемы рассматривались и в более ранних работах, например, в /14/. То есть, применение метода УД в целом не изменило положения, существовавшего до его принятия в качестве директивного.

Гарантированная точность метода УД (10%) получается при точно известных технологических режимах, известной технологической карте, строго циклическом

процессе и т.д., что позволяет, в конечном счете, получить график нагрузки группы ЭП. В тоже время, при известном графике нагрузки выбор проводника можно сделать более точно другими методами, вплоть до прямого решения уравнения энергетического баланса. Вследствие этого, в разных отраслях промышленности уже начиная с 80-х годов появились свои методики РЭН. То есть можно утверждать, что перестал существовать единый подход к расчету нагрузок.

Заметим, что для выбора сечения проводника по расчетной нагрузке нужна информация не только по режимам работы ЭП. Даже при известной марке провода, кабеля необходимо знание способа и условий их прокладки (то есть условий охлаждения) для всех участков трассы (длиной более 10 метров /15/), так как все эти факторы влияют на величину допустимого тока проводника, с которым сравнивается расчетный ток. Это является еще одним источником погрешности, вносимой неточной или неопределенной информацией.

Очертим область применения метода УД:

- сечение проводника к отдельному ЭП (1УР) выбирается, в общем случае, по его номинальной мощности и не требует применения специальных методов РЭН;

- сечение проводника к групповому щитку питания, распределительному пункту, шинопровода (2УР) выбираются с использованием метода УД при числе ЭП более трех /11/ и в случае незначительного количества ЭП; когда ЭП несколько десятков (что часто встречается для шинопроводов), могут использоваться эмпирические методы;

- количество ЭП, присоединенных к цеховой ТП, обычно более ста, и для выбора мощности трансформаторов, вводных низковольтных аппаратов наряду с методом УД также могут использоваться эмпирические методы;

- сечение проводника к цеховому трансформатору, параметры другого оборудования (4УР или 5УР) выбираются в проектной практике по мощности установленного трансформатора с учетом возможной перегрузки в форсированном режиме и часто сечение КЛ определяется проверкой на термическую стойкость токам к.з.

Таким образом, применение метода УД для общего случая сильно ограничено. Начиная с 3УР и выше от него необходимо отказаться. Исключения могут быть сделаны для высоковольтных ЭП, агрегатов. На 2УР требуется создание простой методики или использование известной, например, с использованием коэффициента спроса, с уточнением значений коэффициентов для современных условий. Заметим, что если определить сечение проводника, питающего 2УР просто по сумме нагрузок 2УР (даже без применения каких-либо понижающих коэффициентов: спроса, загрузки и т.п.), то после применения метода УД корректировка сечения обычно будет на одну, реже две ступени стандартных сечений. Изменение стоимости СЭС цеха при этом будет исчезающе мало.

Аналитические методы и, в частности, метод УД безусловно сыграли значительную положительную роль в общетеоретическом развитии направления, в практике проектирования СЭС. Однако на определенном этапе развития эти методы привели к недопустимым завышениям расчетных мощностей, к неоправданным перерасходам капитальных вложений в СЭС, особенно на высших уровнях СЭС.

Погрешности, к которым приводит применение метода УД на низших уровнях СЭС, тем более проявляются (накапливаются) на высших уровнях (выше 3УР) при использовании (суммировании) расчетных мощностей нижних уровней, как это рекомендуется. Заметим также, что, начиная с 3УР, 4УР и тем более на 5УР, 6УР, становится заметным влияние факторов, которые в принципе не могут быть учтены аналитическими методами: восстановление элементов СЭС после аварийного отключения, восстановление элементов СЭС после планового отключения электроприемников и технологического оборудования, а также факторы определяемые не технологией, а социальными факторами, погодными условиями. Поэтому, даже “идеально” верные результаты расчета электрических нагрузок нижних уровней, при переходе к верхним уровням 4УР-6УР приводят к существенным погрешностям. Практика проектирования показала существенное завышение расчетных мощностей на высших уровнях, что привело к необходимости использования при суммировании расчетных нагрузок более низких уровней различных понижающих коэффициентов: совмещения максимумов, интенсивности использования основного технологического оборудования, неравномерности потребления и производства, потерь номинального фонда времени /2,16/, коэффициент одновременности /11/ и ряда других. Также для снижения сечений проводников рекомендовалось на высших уровнях суммировать не расчетные нагрузки, а среднесменные /2/. Все эти уточнения не имеют строгого обоснования и для повсеместного применения требуют статистического подтверждения об устойчивости и значимости используемых коэффициентов.

В ряде работ подразумевается или прямо указывается (например, /17,18/), что применяя средства вычислительной техники можно на основе данных о всех ЭП, их режимах работы, определить расчетную нагрузку на любом уровне СЭС. Такой подход опирается на убеждение, что можно все учесть: все электроприемники, все режимы их работы, и т.д., характерный для “начального” периода развития СЭС. Применение таких методов для высших уровней СЭС невозможно даже для действующих предприятий, так как получение информации о всех ЭП, их режимах работы требует значительных затрат и эта информация будет устаревать до окончания ее полного получения.

В связи с этим, можно взглянуть на применение метода УД и других аналитических методов с более общих позиций. Современные СЭС крупных предприятий на определенном этапе стали принципиально другими. Это следствие того факта, что количество электроприемников в СЭС крупного предприятия достигает десятков тысяч, количество изделий и их составляющих, образующих электрическое хозяйство (включая электрические аппараты и машины) - миллиарда /1/. Здесь можно использовать аналогию, смысл которой глубже, чем внешнее сходство. Фундаментальные законы - общие для всех явлений окружающего мира, а на их основе существует множество прикладных. Часто бывает полезно "рассмотреть" в каком-либо явлении проявление фундаментальных свойств природы. Именно в этом смысле полезна приводимая ниже аналогия.

В статистической физике, изучающей поведение больших групп частиц (молекул, атомов), известен подход - так называемый Лапласовский детерминизм /19/. Согласно этому подходу определить показатели системы в целом (например, давление, температуру и т.п.), состоящей из большого числа частиц, можно решая дифференциальные уравнения механического движения. Для этого необходимо знать начальные условия для каждой частицы. Решение этих уравнений существенно зависит от начальных условий, получение информации о которых принципиально невозможно при большом числе частиц (из-за так называемого демона Максвелла). Именно на таком подходе основаны аналитические методы определения расчетной нагрузки.

В тоже время, состояние системы (макроскопическое состояние) спустя некоторое время, характеризуется набором постоянных, которые абсолютно не зависят от начальных условий каждой из частиц (микроскопических состояний). В системах при большом числе частиц проявляются качественно новые закономерности, не сводящиеся к механическим, которые называются статистическими /19/, изучение которых основывается на принципиально другом подходе. Аналогично, обобщенные показатели (здесь - это нагрузки 4УР-6УР), характеризующие крупную СЭС (макросостояние), нельзя определить просто суммой режимов отдельных ЭП (микросостояний), так как невозможно получить о них достоверную информацию на какой-либо момент времени. В тоже время, в статистической физике известно следующее положение /19/: данному макросостоянию может соответствовать значительное (практически бесконечное) количество микросостояний. Применительно к СЭС можно указать многообразие состояний, например на самом низшем уровне: ток потребляемый ЭД определяется технологическим режимом, коэффициентом мощности и КПД, зависящими от загрузки, срока службы ЭД, изменений напряжения и частоты, температуры окружающей среды и т.д. Количество технологических режимов также велико: так, например, такое крупное металлургическое предприятие как Челябинский

металлургический комбинат освоил выпуск /20/ более 1000 марок стали и сплавов, более 400 профила размеров проката. Существует также значительное количество режимов связанных с аварийными состояниями технологических элементов и элементов СЭС. Всевозможные сочетания указанных факторов могут соответствовать одинаковой величине нагрузки предприятия. Таким образом, следует искать путь определения показателей макросостояний СЭС независимо от микросостояний - режимов отдельных ЭП.

В этих условиях целесообразно использование, так называемых, эмпирических методов. Это и простейшие известные методы:

-коэффициента спроса;

-удельной мощности (плотности) максимальной нагрузки на единицу площади;

-удельного расхода ЭЭ на единицу вида продукции w_i , кВтч/ед.:

$$W_i = w_i * V_i,$$

где W_i – расход ЭЭ на производство i -го вида продукции, кВтч,

V_i – объем производства вида продукции в единицах принятой системы учета, ед.; числа часов использования максимума - T_m , час/год(мес.,сут.):

$$P_m = W/T_m,$$

где W - электропотребление структурного подразделения предприятия, либо предприятия в целом за соответствующий период – год, месяц, сутки, кВтч.

Для решения задачи РЭН в современных условиях, перечисленные методы должны использоваться совместно с мало используемыми пока в электроэнергетике статистическими методами: кластерный анализ, распознавание образов, методы, основанные на ценологическом подходе. Первой попыткой создания метода, основанного на таких принципах является комплексный метод (КМ) /1/ Б.И.Кудрина.

Эмпирические методы также требуют исходных данных, получаемых на основе обследования действующих предприятий. Но объем такой информации значительно меньше, а ее сбор, по сравнению с информацией о режимах работы отдельных ЭП (используемый в методе УД и в других аналитических методах), значительно проще и дешевле. Так как обследуются сразу большие группы ЭП (потребители ЭЭ), то, во-первых, практически не требуется специальной измерительной, регистрирующей аппаратуры, а источником информации служат показания приборов коммерческого и технического учета предприятия, обязательная отчетность предприятия; во-вторых, чем большая группа ЭП обследуется, тем более стабильно их поведение во времени.

Эмпирические методы не требуют и не учитывают полную информацию о составе ЭП на более низких уровнях, что считалось их недостатком по сравнению с аналитическими методами, то есть предполагают расчет нагрузок не "снизу-вверх", а наоборот "сверху - вниз". Определяемые такими методами нагрузки на высших уровнях СЭС по аналогичным производствам в принципе не могут значительно отличаться от фактических, что возможно при применении метода УД. Так как в методе УД, завышенные расчетные мощности складываются, а эмпирические методы корректируют нагрузку на каждом последующем уровне. При этом заметим, что, например, определение удельных расходов электроэнергии, должно соответствовать целям определения расчетной нагрузки. Так как выделяют удельные расходы агрегатные, цеховые, производственные и общезаводские, то определять нагрузку, основываясь на удельных расходах, можно только на соответствующем уровне: агрегат, цех, производство, завод. В общем случае, невозможно из удельных расходов низшего уровня получить удельные расходы более высокого уровня.

Самым ярким признанием этого факта служит последняя редакция указаний /11/, где в пункте 1.5 сказано: "Для проверки результатов расчетов по настоящим Указаниям и оценки нагрузки в целом по цеху или предприятию можно использовать показатели электропотребления на единицу продукции или на 1 м² площади цеха".

Существует одно принципиальное отличие задач, возникающих на высших уровнях СЭС. Первая задача, которую мы рассматривали до этого - это определение расчетной нагрузки конкретного присоединения, уровня СЭС и, в том числе, предприятия в целом. Но существенна для принятия проектного решения на разных стадиях и задача определения параметров электропотребления.

В работах проф. Кудрина Б.И. электропотребление и максимум нагрузки предприятия, рассматривается не только с точки зрения классической электротехники (нахождение тока, протекающего по проводнику, аппарату), а как ресурс, который должен быть обеспечен в целом на высших уровнях системы электроснабжения. Использование такого подхода позволяет ставить и более широкую задачу: выбор типовых основных схемных решений СЭС, выбор электрооборудования на высших уровнях, минуя этап определения расчетных токов конкретных присоединений (и других этапов: расчет токов короткого замыкания, потерь напряжения и т.д.), определение основных показателей всего электрохозяйства предприятия.

Необходимо указать, что в последние годы появляется значительное количество работ, связанных с определением параметров электропотребления, не опирающихся на информацию о каждом электроприемнике. Заметим, что в такой постановке задача определения параметров электропотребления близка к задаче

долгосрочного прогнозирования. В тоже время признать эту задачу окончательно решенной не представляется возможным, с учетом всего многообразия условий и подходов к проблеме.

Кроме всего сказанного, применение аналитических методов РЭН на ранних стадиях проектирования и реконструкции промышленного предприятия принципиально невозможно, так как на момент принятия проектного решения информация о полном перечне ЭП просто отсутствует. Это связано с организацией и технологией проектирования, в связи с чем рассмотрим основные положения организации и технологии проектирования промышленных предприятий, касающиеся стадийности проектирования.

Начиная с 1982 года, разрабатывались отраслевые и региональные схемы развития, в которые входили и вопросы электроэнергетики: ожидаемое расширение существующих предприятий, строительство новых, с указанием основных электрических показателей, сооружение объектов электроэнергетики. Техно-экономическое обоснование (ТЭО) строительства начали делать с 1985 года, после соответствующего Постановления Совета Министров. Указанное Постановление требовало, чтобы решение о проектировании крупных предприятий принималось на основании технико-экономических обоснований строительства, по более мелким предприятиям – на основании технико-экономических расчетов (ТЭР). Порядок разработки ТЭО и его состав был единый для вновь сооружаемых предприятий и реконструкции существующих, и оно опиралось на схемы развития отраслей и регионов. ТЭО и ТЭР являлись предпроектными стадиями, так как по результатам их рассмотрения принималось решение о начале проектирования объекта, о составлении технического задания на проект. ТЭО также определяло порядок разработки проектно-сметной документации: в две стадии (технический проект и рабочий проект) или в одну стадию (рабочий проект).

В связи с вхождением России в последнее десятилетие в мировую экономику стала актуальной задача принятия нашей промышленностью стандартов, соответствующих общепринятым в индустриально развитых странах. В настоящее время международным стандартом качества является серия стандартов ISO 9000, которая поддерживается приблизительно в 120 странах мира. Эти стандарты определяют, в том числе, организацию и технологию проектирования. В соответствии с требованиями стандарта серии ISO 9000 Госстроем России было подготовлено методическое руководство /21/, которое содержит "...рекомендуемые в качестве официально признанных положения по организации и технологии проектирования...". Следует заметить, что проектные организации сейчас находятся, и будут находиться в дальнейшем, в условиях жесткой конкуренции как внутри страны, и тем более на международном рынке проектных услуг. Поэтому разработка и принятие такого документа /21/, безусловно, создает

возможности для конкурентно- способности проектных организаций. В руководстве /21/ кроме развития рекомендаций международных стандартов качества серии ISO 9000, также соблюдены требования СНиП 11-01-95 “Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений”, СНиП 11-101-95 “Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснования инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений”, а также ряда рекомендаций организационно-методических документов.

Рассмотрим более подробно руководство /21/, с точки зрения этапов проектирования и принятия решений по СЭС. В соответствии с /21/ предлагается следующая организация проектирования в инвестиционном процессе:

Первый этап. Определение целей инвестирования, номенклатуры проектируемой к выпуску продукции (услуг), назначения и мощности объекта строительства, места размещения объекта инвестиций. В необходимых случаях используют материалы схем развития и размещения отраслей.

Второй этап. Инвестор с учетом принятых на предыдущем этапе решений разрабатывает Ходатайство (Декларацию) о намерениях инвестирования. Местная администрация рассматривает указанные материалы и принимает решение о возможности сооружения объекта инвестиций. При положительном решении предлагаются варианты размещения объекта, выдаются предварительные технические условия на присоединение объекта к инженерным сетям и коммуникациям.

Третий этап. Инвестор разрабатывает Обоснования инвестиций в строительство. Материалы Обоснования инвестиций подготавливаются на основании полученной информации и результатов предпроектных проработок.

Четвертый этап. Разрабатывается проектная документация для строительства в составе Технико-экономического обоснования (Проекта, утверждаемой части Рабочего проекта) строительства. Производится согласование, экспертиза и утверждение проектной документации.

Пятый этап. Разрабатывается Рабочая документация для строительства.

Шестой этап. Реализация инвестиционного проекта – возведение (строительство, комплектация, монтаж) объекта.

Седьмой этап. Эксплуатация объекта. Проектное сопровождение объекта должно решать задачи разработки проектов капитального ремонта, технического перевооружения, реконструкции.

Восьмой этап. Подготовка проекта ликвидации, утилизации, перепрофилирования объекта. Либо подготовка проекта строительства на этой площадке нового предприятия. В этом случае организация проектирования начинается с первого этапа.

В соответствии с указанным порядком проектного обеспечения строительства этапы с первого по третий инвестиционного процесса относятся к предпроектным работам, этапы четвертый и пятый составляют собственно проектирование.

Заметим, что определение основных параметров электропотребления требуется, начиная с первого этапа: выбор места размещения объекта производится с учетом принципиального решения вопроса об источниках электроэнергии (строительство или расширение электростанций, ЛЭП, системных или крупных районных подстанций), что требует определения параметров электропотребления объекта в целом, то есть на 6УР. На втором этапе, когда формулируются предварительные технические условия (ТУ) на присоединения объекта к инженерным сетям, требуется решение вопросов о количестве и мощности ГПП/ПГВ предприятия, соответственно количество питающих объект ЛЭП и т.д., другими словами “разбивка” параметров электропотребления по основным производствам, то есть по 5УР. На третьем этапе, когда выполняются Обоснования инвестиций в строительство, при определении объема инвестиций, в том числе учитываются затраты на сооружения СЭС, которые в свою очередь зависят от решения вопросов по 6УР и 5УР на предыдущих этапах.

Удобно показать соответствие этапов проектирования и определения параметров электропотребления по уровням СЭС в виде табл. 1 (Исключены этапы сооружения и далее)

Таблица 1.

	1УР	2УР	3УР	4УР	5УР	6УР
Наименование этапа	ЭП	РП до 1 кВ	РУ ТП цеха	РУ 6-10 кВ	РУ ГПП-ПГВ	Граница раздела с ЭС
1 этап. Определение места размещения объекта.	0	0	0	0	0	1
2 этап. ТУ на присоединение объекта к инженерным сетям	0	0	0	0	1	1
3 этап. Обоснования инвестиций в строительство	0	0	0	0	1	1
4 этап. Разрабатывается проектная документация в составе ТЭО, Проекта	0	0	0	0	1	1

	1УР	2УР	3УР	4УР	5УР	6УР
5 этап. Разрабатывается Рабочая документация	1	1			1	0

Таким образом, и раньше (с появлением предпроектных стадий) и сейчас при проектировании промышленных предприятий, возникают проблемы определения параметров электропотребления (расчетных нагрузок в том числе) на предпроектных стадиях. Применить в этих условиях директивно утвержденную методику /11/ РЭН и аналогичные ей аналитические методы, невозможно. Их применение возможно только на стадии разработки рабочей документации, когда известен конкретный состав электроприемников, то есть для принятия проектных решений на 1УР, 2УР и уточнения решения по 3УР. Фактически, к этому моменту времени проектные решения, начиная с 3УР и выше, уже приняты. На этапе технического проекта (Проекта) проектные решения, начиная с 3УР и выше, приходится принимать, не имея точной информации о перечне электроприемников, а доступно только описание технологического процесса с известной организационной структурой производства (цеха, отделения, участки, и т.д.). На более ранних стадиях информации для принятия решения по 6УР-4УР еще меньше - укрупненное описание технологического процесса, объемы выпуска продукции.

На ранних стадиях проектирования (предпроектных стадиях) осуществляется принятие наиболее ответственных проектных решений, которые в значительной степени определяют объем проектирования и стоимость электрической части проектируемого объекта, решают вопрос о целесообразности сооружения объекта. Однако, определение параметров электропотребления, необходимых для принятия проектных решений на указанных стадиях, до последнего времени являлось неформализованной процедурой, и принимались часто на интуитивном уровне, с учетом невозможности применения директивных методов РЭН.

Рассмотрим один из возможных путей решения этой проблемы. Причем, ограничим область исследования и создания конструктивных методов, реализующих принцип расчета "сверху-вниз", использованием информации, получаемой из отчетности предприятий, то есть не проводя специальных обследований. Другими словами рассмотрим методы и процедуры переработки исходной информации для решения проектных задач для принятия проектных решений по СЭС на предпроектных этапах, определим объем и качество необходимой исходной информации, получение которой возможно из эксплуатационной отчетности предприятий.

Для реализации указанного принципа определение параметров электропотребления возможно с использованием указанных выше эмпирических методов. Однако между ними есть существенное различие. Наиболее объективными и ежегодно поставляемыми в органы подведомственные Государственному комитету Российской Федерации по статистике (раньше – в соответствующие министерства) является информация об удельных расходах. Это связано с их универсальностью: они используются не только для использования в задачах проектирования в отличие от коэффициента спроса, удельной максимальной нагрузки.

В качестве объекта исследования рассмотрим здесь банк данных (БД) "Черметэлектро" /22/, в котором собрана информация по всем предприятиям черной металлургии за 21 год. Выбор обусловлен тем, что черная металлургия является одной из самых энергоемких отраслей промышленности, и, безусловно, тем, что БД издан. Что позволяет использовать статистические данные, которые легко проверяются, а результаты сравнимы с другими работами. Заметим, что по известным причинам пополнение БД было прекращено в 1990 году, и с тех пор публикации на эту тему носят разрозненный характер (например /23/).

Можно указать на различную достоверность параметров электропотребления, получаемых из отчетности предприятия. Наиболее достоверным показателем является общее электропотребление предприятия - W , кВтч, так как фиксируется фактическое значение по счетчикам коммерческого учета. Не менее "надежное" значение V_i , т - объема выпускаемой i -той продукции, который также жестко связан с коммерческими расчетами и входит в разнообразные формы отчетности.

Существующая на конкретном предприятии система учета ЭЭ приводит к достоверному удельному общезаводскому (общепроизводственному) расходу ЭЭ w_i , кВтч/т в БД, на i -тый вид продукции. При известных планируемых объемах выпуска продукции проектируемого производства знание достоверных удельных расходов позволяет определить расходы ЭЭ на производство. Поэтому решение задачи определения параметров электропотребления начнем с определения достоверных значений удельных расходов ЭЭ на ранних стадиях проектирования.

Так как в литературе термины "электропотребление" и "расход электроэнергии" применяются взаимозаменяемо, в данной работе предлагается следующий подход к их использованию: "электропотребление" - это количество ЭЭ, потребленное структурными подразделениями предприятия, в том числе предприятием в целом, то есть потребителями электроэнергии, а "расход электроэнергии" - это количество ЭЭ, израсходованное на выпуск одного или нескольких видов продукции, на передел продукции, на технологическую операцию.

Проблемы определения расходов ЭЭ на производство основных видов продукции не существовало бы, если удельные расходы на один и тот же вид продукции на разных предприятиях были бы близки друг к другу, то есть имели бы незначительный разброс. Тогда можно сразу определить годовое электропотребление проектируемого предприятия на производство основных видов продукции:

$$W_{го} = \sum_{i=1}^N w_{icp} \cdot V_i \quad (1)$$

где w_{icp} - средний удельный расход ЭЭ на выпуск i -й продукции, по предприятиям отрасли, кВтч/т; V_i - объемы выпускаемой продукции, известные из технического задания на строительство предприятия, т; N - количество основных видов продукции, шт.

Так как структура предприятий, номенклатура выпускаемой продукции, условия функционирования существенно различны, то и величины удельных расходов на выпуск одинаковых видов продукции на разных предприятиях отличаются существенно. В результате, приходим к положению впервые сформулированному проф. Кудриным Б.И.: удельные расходы ЭЭ по одинаковым агрегатам на разных предприятиях близки друг к другу, а удельные расходы по заводу, производству, цеху на разных предприятиях, могут отличаться значительно. Указанное положение все больше находит понимание в среде ученых и практиков /24,258/. Так анализ БД предприятий черной металлургии /22/ показал, что удельные общезаводские расходы на разных предприятиях за разные годы могут значительно отличаться: агломерат - в 14,1 раза; чугун - в 36; электросталь - в 1,9; кокс - в 7,5; конвертерная сталь - в 17; мартеновская сталь - в 10,1; метизы - в 112; огнеупоры - в 17,5; окатыши - в 2,5; прокат - в 3,5; руда железная товарная - в 20,7; руда марганцевая - в 8,5; трубы стальные - в 25,5 раза. При большом разбросе значений для разных предприятий, использование (1) для определения $W_{го}$ для вновь сооружаемого предприятия приведет к существенным погрешностям при известных (планируемых) видах и объемах выпуска продукции

Причем динамика изменения удельных расходов для разных предприятий может быть прямо противоположена, что противоречит устоявшимся представлением об уменьшении удельных расходов во времени. Анализ также показал, что законы распределения удельных расходов отличаются от нормального (гауссова) распределения, как это часто предполагается. Более того, как показал анализ, не существует единого распределения, которое корректно

описывало бы удельные расходы для всех видов продукции. В отличие от устоявшихся представлений, как правило, не наблюдается уменьшение удельных расходов с увеличением объемов производства. Невозможно также полиномами высоких порядков описать статистическую зависимость: $w_i = f_i(V_i)$, $i=1, \dots, N$, так как эти зависимости представляют собой, большей частью, неоднородное “облако”, что исключает вообще их описание полиномами даже высоких порядков. Таким образом, традиционный подход в использовании удельных расходов ЭЭ существующих предприятий (через средние, нормативные значения, с использованием зависимостей) неприменим для определения удельных расходов проектируемых предприятий.

Для определения достоверных удельных расходов ЭЭ проектируемых предприятий, предлагается использовать метод идентификации по удельным расходам, основные положения которого изложены в /25,343/. Этот метод основывается на гипотезе о близости удельных расходов ЭЭ при близости номенклатуры и объемов производства. То есть на гипотезе о существовании зависимости между удельными расходами ЭЭ и объемами выпуска всех видов продукции предприятия. Развивая этот подход, будем утверждать, что существующие разбросы удельных расходов w_{ij} на производство i -го вида продукции ($i=1 \dots N$) можно уменьшить, рассматривая не все M предприятий отрасли ($j=1, \dots, M$), выпускающие i -й вид продукции, а только те которые имеют близкие номенклатуру и объемы выпускаемой продукции.

Выделение близких, в указанном смысле предприятий, т.е. разбиение на однородные классы, называется процедурой классификации, или классы называют кластерами и, соответственно, кластер-процедура. Известны и другие термины: таксоны и таксономия. Объекты, принадлежащие указанным подмножествам, обладают одинаковой совокупностью свойств, признаков и требуется определить список таких объектов по подмножествам. Для поставленной задачи искать кластеры следует в координатах объемов выпускаемой продукции разных видов (размерность пространства - N), положение точки, отображающей в этом пространстве j -е предприятие за какой-либо год, определяется значениями координат - объемами выпускаемой продукции V_{ij} . Таким образом, выделение в кластеры групп предприятий происходит по схожести номенклатуры выпускаемой продукции, и близости объемов производства.

В работе использовалась агломеративная иерархическая кластер-процедура: это пошаговый алгоритм, при котором на каждом шаге происходит объединение множества объектов в непересекающиеся кластеры, при этом каждое последующее объединение относится к кластерам, полученным на предыдущем шаге. Поэтому

необходима формулировка формального критерия, минимизация (максимизация) которого приводит к остановке агломеративной иерархической кластер-процедуры. Предлагаемые в литературе критерии не позволяют достичь главной цели – уменьшения разбросов удельных расходов внутри кластера. Поэтому особенностью применения кластер-процедуры в данном случае является формулировка критерия близости объектов внутри кластера, основанного не на традиционной функции признаков, а на использовании “внешних” признаков, то есть тех, которые не использовались при выделении кластеров. Кроме этого, в соответствии с поставленной задачей, не предусматривается достижение функционалом экстремального значения, а накладывается условие выполнения требований для всех кластеров. В предложенной постановке задачи нас интересует такое разделение, которое ведет к группировке в кластеры предприятий с близкими удельными расходами w_{ij} на один и тот же i -й вид продукции на разных предприятиях. В данном случае используется относительный разброс удельных расходов:

$$\Delta w_{ih} = (w_{ih \max} - w_{ih \min}) / w_{ih \min}, \quad (2)$$

$$\Delta w_{ih} < \Delta w_{\text{пред}}, \quad i=1, \dots, N, \quad h=1, \dots, K \quad (3)$$

где $w_{ih \max}$, $w_{ih \min}$ – максимальный и минимальный удельные расходы ЭЭ на i -тый вид продукции для объектов, принадлежащих кластеру h , кВтч/т, $\Delta w_{\text{пред}}$ – предельный относительный разброс удельных расходов. Заметим, что условие (2) является более “жестким”, чем традиционное ограничение на среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_w = ((w_{ih} - w_{ih \text{cp}})^2 / N)^{0.5},$$

где $w_{ih \text{cp}}$ – среднее значение удельного расхода на i -ый вид продукции в кластере h . При выполнении (3) всегда $\sigma_w < \Delta w_{\text{пред}}$. Если ввести ограничение $\sigma_w < \sigma_w \text{ пред}$, то $\Delta w_{\text{пред}} > \sigma_w \text{ пред}$. Исключение составляет частный случай, когда $w_{ih} = w_{ih \min} \cup w_{ih} = w_{ih \max}$.

Таким образом, выделять кластеры будем по схожей номенклатуре и объемам производства различных видов продукции. А оставлять будем те кластеры, в которых разброс удельных расходов ЭЭ на выпуск каждого из видов продукции будет менее заданной величины. Другими словами, распознавать (идентифицировать) объект будем по близким удельным расходам.

Перед применением аппарата кластерного анализа, исходный БД был преобразован для уменьшения размерности задачи. Во-первых, анализировались временные ряды удельных расходов и объемов производства всех предприятий отрасли: выделялись участки, соответствующие незначительным изменениям

объемов и удельных расходов по каждому виду продукции, и такой участок представлялся в признаковом пространстве как один объект. Другая процедура подготовки данных – это нормировка объемов производства. Алгоритм кластеризации с указанными параметрами был реализован для объектов, представленных в БД /26/. Остановка процедуры кластеризации производилась при достижении внутрикластерных разбросов 15 %.

В дальнейшем предполагалось использовать процедуру распознавания образов, то есть отнесения нового объекта (проектируемого предприятия) к одному из существующих кластеров. При этом удельные расходы принимались равными среднему по кластеру. Это полностью дискретная модель определения удельных расходов. Однако для повышения точности в определении удельных расходов использовалась несколько модифицированная процедура кластеризации, связанная с построением дискретно-непрерывных моделей. (Известен аналогичный подход к определению параметров электропотребления /23/). С этой целью для кластеров с числом объектов более двух поставим в соответствие разбиению на кластеры множество функций

$$w_{ih}=f_{ih}(V_{ih}), \quad i=1,\dots,N, \quad h=1,\dots,K \quad (4)$$

Анализ показал, что внутри кластеров функции $w_{ih}=f_{ih}(V_{ih})$ хорошо описываются двухконстантными функциями. Структура этого этапа такова: на каждом шаге кластеризации для объектов, составляющих кластер, определяются простейшие функциональные зависимости. При этом условием, определяющим остановку процесса кластеризации является не достижение разбросами величины 15%, а отклонение фактических значений удельных расходов от расходов, получаемых по функциональным зависимостям, не более 10%. В результате применения указанного подхода удалось снизить погрешность определения удельных расходов, и увеличить количество кластеров с большим числом объектов.

По расчетам проделанным по БД можно указать: максимальное количество объектов в кластере 20, около 30% кластеров содержат по одному объекту. Проанализируем полученные результаты. Рассмотрим два предельных случая кластеризации. Если бы разброс удельных расходов для всей совокупности объектов был бы в допустимых пределах, то процедура кластеризации привела бы к выделению одного кластера, и можно было использовать средние значения. Другой случай, если бы все кластеры содержали по одному объекту, другими словами, в кластерах с числом объектов более одного разброс удельных расходов был бы велик. Этот факт указывал бы на ошибочность исходного предположения, и на ненужность кластеризации предприятий при указанных условиях. Поэтому полученные результаты следует признать положительными.

Существуют кластеры, в которые выделяется одно предприятие за разные годы функционирования. Это указывает на то, что при изменении объемов

производства удельные расходы существенно не изменялись. С другой стороны, существуют разные кластеры, в которые выделялось одно предприятие в разные периоды существования, что указывает на существенное изменение удельных расходов при изменении объемов производства (обычно это связано с реконструкцией на предприятии).

Таким образом, результаты кластеризации предприятий черной металлургии подтверждают первоначальную гипотезу о близости удельных расходов ЭЭ при близкой номенклатуре и объемах производства. Это дает возможность использовать информацию об объектах аналогах, то есть подтверждает целесообразность создания БД.

На этапе использования БД для получения параметров электропотребления вновь сооружаемого или реконструируемого предприятия следует использовать методы другой группы: классификация с обучением. Методы этой группы позволяют отнести новый, распознаваемый объект, не вошедший в исходную совокупность - обучающую выборку, к одному из ранее выделенных классов, кластеров. Другое название этой группы методов - методы распознавания образов. Эти методы основываются на гипотезе, согласно которой объекты, обучающей выборки и распознаваемые объекты относятся к одной генеральной совокупности, и все свойства присущие генеральной совокупности могут быть оценены на основе исследования обучающей выборки. Известны различные методы распознавания образов: использующие непараметрическое правило распознавания, локальные методы, основанные на степени взаимной близости объектов внутри кластера и расстоянии между кластерами. В соответствии с поставленной целью для отыскания взаиморасположения нового объекта (проектируемого предприятия) и ранее выделенных кластеров использовались те же условия и процедуры, что и при выделении кластеров.

Были проведены расчеты для ряда металлургических предприятий за последние годы функционирования, не вошедшие в исходную БД, которые показали, что возможно выделение двух случаев при распознавании нового объекта. В первом - распознаваемый объект попадает во внутрь существующего кластера, то есть

$$V_{hi \min} < V_{yi} < V_{hi \max} \quad i=1, \dots, N \quad (4)$$

где V_{yi} - значение объемов производства i -го вида продукции распознаваемого объекта y ; $V_{hi \min}$, $V_{hi \max}$ минимальное и максимальное значение объемов производства i -го вида продукции объектов, принадлежащих кластеру h . В этом случае удельные расходы определяются следующим образом: при числе объектов в кластере более трех - по функциональной зависимости, найденной ранее для этого кластера; при двух объектах в кластере - по средней величине. Если проектируемое предприятие попадает достаточно близко

(экспертно взята величина близости признаков 10%) к кластеру с одним объектом, то есть так, что в (4) $V_{hi\ min}=0,9*V_{hi}$ и $V_{hi\ max}=1,1*V_{hi}$, тогда удельные расходы - можно принять равными объекту-аналогу в кластере.

Во втором случае объект попадает в межкластерное пространство, то есть объемы производства проектируемого предприятия существенно отличаются от объектов аналогов. В этом случае требуется применение еще одного метода. Особенность использованного критерия остановки процесса кластеризации, заключается в том, что для этого используются внешние признаки, не относящиеся к признаковому пространству. По этой причине, во-первых, наблюдаются случаи, когда в один кластер попадают объекты с большими расстоянием между ними, чем расстояния между некоторыми объектами, относящимся к разным кластерам. Во-вторых, для отнесения распознаваемого объекта к выделенному ранее кластеру, имеют существенное значение его отношение со всеми объектами кластера. Так как отличие в значении внешнего параметра (удельный расход ЭЭ), не коррелировано с расстоянием между распознаваемым объектом и объектом кластера. То есть невозможно указать какой из объектов кластера будет иметь наиболее близкий внешний параметр.

В этих условиях для отнесения нового объекта к одному из ранее выделенных кластеров, более предпочтительным является использование аппарата решающих правил, которые при использовании метрических мер сходства характеризуются решающими функциями. Геометрическая интерпретация задачи сводится к выделению в пространстве признаков областей принадлежности объектов к ранее выделенным кластерам. Или в более узкой постановке задачи – к построению разделяющей поверхности между двумя ближайшими к распознаваемому объекту кластерами.

Однако, в силу вышеприведенных причин, построение решающих функций необходимо производить неоднократно, а для всех сочетаний объектов двух рассматриваемых кластеров. Если во всех случаях распознаваемый объект попадает в область, относящейся к одному из кластеров, то удельный расход ЭЭ для нового объекта определяется по соответствующему кластеру. Может возникнуть ситуация, когда распознаваемый объект при переборе всех объектов двух ближайших кластеров, относится в ряде случаев к одному кластеру, а в других случаях - к другому или принадлежит разделяющей поверхности. Тогда для принятия решения о величинах удельных расходов необходимо привлечение дополнительных факторов, не вошедших в распознаваемое пространство. Требуется выявление близости показателей по этим факторам проектируемого предприятия к объектам в выделенных кластерах. Для объектов черной металлургии в качестве таких факторов выступают, параметры сырья, технологии, общепроизводственных расходов ЭЭ, среднегодовой температуры и т.д., то есть

признаки, отражающие локальные условия производства. Внесение же таких факторов в исходное признаковое пространство с самого начала не добавляет точности, а будет способствовать “зашумлению” результатов.

Для проверки адекватности предлагаемых моделей рассматривались существующие предприятия за последние годы функционирования, которые не вошли в исходную БД, подвергнутые кластеризации. На предприятиях черной металлургии в начале произошел существенный спад производства (в период 1992-1995 г.г.), а затем начался подъем, сопровождаемый многочисленными реконструкциями, приводящих к существенному изменению структуры производств, объемов выпускаемой продукции. В табл.2 показан один из таких примеров.

Таблица 2.

Продукция	Объемы производства V, тыс.т.				Уд.расходы ЭЭ w, кВтч/т	
	Новый объект Кузнецки й МК 1996г.	Существующий кластер			Анало г	Новы й объект
		О.Хали- ловски й 1973 г	О.Хали- ловски й 1976 г	О.Хали- ловски й 1980 г		
Агломерат	3483	3404	3409	3211	110,7	107,7
Чугун	2084	2199	3367	3462	8,4	8,2
Эл.сталь	591,7	7	9	8	698,2	676
Кокс	1216,3	3024	3084	3071	52	50,5
Конв.сталь	0	0	0	0	0	0
Март.сталь	2489	3318	3658	3712	9,6	10,4
Метизы	0	0	0	0	0	0
Огнеупоры	0	150	153	74	0	0
Окатыши	0	0	0	0	0	0
Прокат	2452	2738	2791	2960	70,1	68
Руда. железная	0	502	500	210	0	0
Руда марганц.	0	0	0	0	0	0
Трубы	0	0	0	0	0	0

Можно видеть, что удельные расходы, определяемые по аналогу, очень близки к фактическим удельным расходам предприятия. Анализ остальных результатов показал, что применение указанного алгоритма позволяет определить удельные расходы новых объектов в основном с декларированной точностью 10% при попадании нового объекта внутрь существующего кластера, и с точностью 20% при попадании нового объекта в межкластерное пространство.

Содержащаяся в БД информация по основным видам продукции не позволяет непосредственно определить полное электропотребление предприятия, так как отсутствует информация по всем видам продукции, всем подразделениям

объектов-аналогов. Количество видов продукции, выпускаемое крупным металлургическим предприятием, может быть несколько сотен наименований. Например, Челябинский металлургический комбинат за 55 лет существования освоил производства более 1000 марок сталей и сплавов, более 4000 профилеразмеров проката. Это же отличает и объекты химической и других видов промышленности. Сбор, систематизация такого количества информации под углом зрения электриков представляет трудности. Использование такой информации также затруднено, так как объемы выпуска и номенклатура "мелких" видов продукции изменяется ежегодно, в отличие от основных видов продукции, существенное изменение в объемах выпуска которых, связано с крупными реконструкциями на предприятии. Так, например, для предприятий черной металлургии, представленных в БД, сумма расходов ЭЭ на производство (основных) видов продукции составляет от общего электропотребления предприятия от 40% до 100%.

Это вызвало необходимость разработки специального метода /32/. Общий подход к решению проблемы основывается на ценологических представлениях. Структура ценоза имеет определенные закономерности в соотношении крупного и мелкого, часто встречающегося и уникального. Учет этих закономерностей позволяет использовать максимум имеющейся информации о структуре системы, невостребованной другими методами.

Традиционный подход предполагает, что структура системы является следствием реализации тех целей, для которых она создавалась. Так как цели выбирает и реализует проектировщик, то существует полное "здорового смысла" убеждение, что структура систем также в полной мере определяется ее создателем. Система – это и есть множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство. Однако необходимо разделить здесь технические системы на два больших класса. Первые – это детерминированные системы, где каждый элемент жестко связан с другими, и выполнение функций системы возможно только при наличии таких строгих связей между заданными элементами (это изделия, механизмы, машины, агрегаты и т.п.). К таким системам в полной мере относятся рассуждения приведенные выше. Но существует и другой класс систем. Хотя они и созданы проектировщиком для вполне определенной цели, но в полной мере описать, создать полную модель структуры такой системы, особенно после начала ее функционирования, невозможно. (Эта трудность принципиальная, и не исчезает с развитием средств вычислительной техники и т.п.). Поэтому функционирование таких систем также невозможно детально описать, нельзя назвать все параметры, однозначно и полностью ее определяющие. Можно лишь конвенционно выделить группу параметров для решения конкретной задачи. Любые два объекта с даже полностью совпадающими значениями выделенной группы параметров могут сколь угодно значительно отличаться по другим: на предприятиях с одинаковым объемом продукции удельные расходы отличаются в десятки раз; СЭС разных предприятий, имеющие одинаковые параметры электропотребления, могут значительно отличаться по своей структуре и т.д. То есть, объекты проявляют системные свойства, не определяемые суммой свойств отдельных элементов. Элементы такой системы также связаны друг с другом, но это связь другого рода: система может функционировать и при отсутствии части элементов, связей, что может

“компенсироваться” появлением новых элементов и связей между ними. Можно указать, что в таких системах присутствуют явления самоорганизации. Безусловно, проектирование таких систем, задачи при этом возникающие, принципиально отличны от проектирования изделий, машин, агрегатов и т.д.. В частности, подход к определению параметров электропотребления, опирающийся на полный перечень электроприемников, режимов их работы (аналитические методы), не разделяет проектирования объектов, проявляющих системные свойства, и объекты с детерминированными связями (изделие, машина, агрегат и т.д.)

Многочисленными исследованиями выявлено, что разнообразие структуры, характерное для ценозов, наблюдается в системах различной природы: в биологии, в социологии, в лингвистике, в теории передачи информации, в библиометрии, в экономике, в физике, в геофизике, в развитии науки и др. Известны различные способы описания указанного разнообразия, которые в разных областях знания носят названия законов: Ципфа (первый – для частых событий и второй – для редких событий), Парето, Уиллиса, Юла, Бенфорда, Лотки, Фишера, известны работы Мандельброта в этой области. Во всех случаях для описания структуры системы используется гипербола (степенная функция), отсюда название – гиперболические распределения или Н-распределения. Например, ранговое распределение по параметру, которое используется для описания структуры ранжированных расходов ЭЭ, имеет следующий вид:

$$W_r = W_1 / r^{\beta}, \quad r=1, \dots, S \quad (5)$$

где W_r – расход ЭЭ на производство r -го вида продукции; W_1 и β – константы распределения; S – общее количество видов, r – ранг расхода ЭЭ.

За рубежом сейчас широко применяют законы Ципфа для моделирования частот обращения к сайтам и серверам Интернета. С 1997 года выходит электронный журнал «Cybermetrics» (International Journal of Scientometrics, Informetrics and Bibliometrics), посвященный изучению количественного анализа науки, информации, библиометрии, в том числе в Интернете. Ярким примером разнообразия применения ценологического подхода у нас в стране служат специализированные конференции, которые публикуются в серии сборников «Ценологические исследования». Ценологический подход применительно к объектам электроэнергетики, да и в технике вообще, впервые начал применять профессор Б.И.Кудрин еще в 70-х годах, а наиболее законченный вид этого подхода в ранних работах представлен в [27].

Разработка методов решения поставленной задачи - определения параметров электропотребления на ранних стадиях проектирования, потребовала решения ряда теоретических вопросов, значимых при изучении систем ценологического типа любой природы. В частности, выявление закономерностей формирования структуры, характеризующих разнообразие в системах различной природы вызвало необходимость создания математической модели механизма

формирования структуры систем ценологического типа - ценозов. Указанная модель позволила не только разработать некоторый практический подход к вопросам анализа и прогнозирования структуры систем ценологического типа, но и формализовать многие понятия, используемые при описании, обосновать некоторые декларируемые свойства ценозов.

Предложенная математическая модель приводит к структуре близкой к эмпирически получаемым H -распределениям при решении задачи оптимизации с ограничениями. В качестве уравнений ограничений выступают (в зависимости от используемого описания) ограничения по ресурсу и численности элементов (особей), составляющих ценоз. Уравнения ограничений отражают конкуренцию между разными видами за ресурс, "предоставленный" ценозу в целом. В качестве целевой функции используется понятие энтропии, как меры разнообразия видов по численности или требуемому ресурсу. Показано, что разнообразие структуры ценоза стремится к гиперболической зависимости, в соответствии с максимизацией энтропии в условиях ограниченного ресурса. Другими словами целевая функция определяет, что структура системы соответствует гиперболе, а ограничения по ресурсу, численности определяют константы этой гиперболы. Гипербола, получаемая таким способом, однозначно характеризуется ограничениями ресурса, предоставленного ценозу, и получила название "идеальной". Можно указать несколько способов получения «идеальной» гиперболы /28/, основанных на таком подходе, в зависимости от используемых ограничений. В частности, если использовать ограничение на величину разнообразия начальных рангов /29/, то для определения констант «идеальной» гиперболы по эмпирическим данным можно отказаться от применения метода наименьших квадратов (МНК).

Использование "идеальной" гиперболы позволяет, например, оценить области применения H -распределения и гауссова (нормального) распределения, доказать, что H -распределение имеет максимальное значение энтропии из всех двухконстантных функций.

Проверка адекватности предлагаемых моделей "идеальной" гиперболы, а значит и исходных положений, выполнялась для различных примеров. Анализировалась возможность применения предлагаемых моделей для описания структурного разнообразия электроэнергетических систем, систем электроснабжения как с непрерывным параметром – электропотребление, расходы ЭЭ, так и частоты встречаемости, количество электрооборудования. Исключения соответствуют системам не ценологического типа. Это следует рассматривать, как допустимость использования предложенной модели. В частности, структура расходов ЭЭ на основные виды продукции крупных металлургических предприятий хорошо согласуется с "идеальной" гиперболой. Например, на рис.1

показаны ранжированные расходы ЭЭ за 1990 г. Череповецкого и Нижнетагильского металлургических комбинатов и соответствующие им «идеальные» гиперболы.

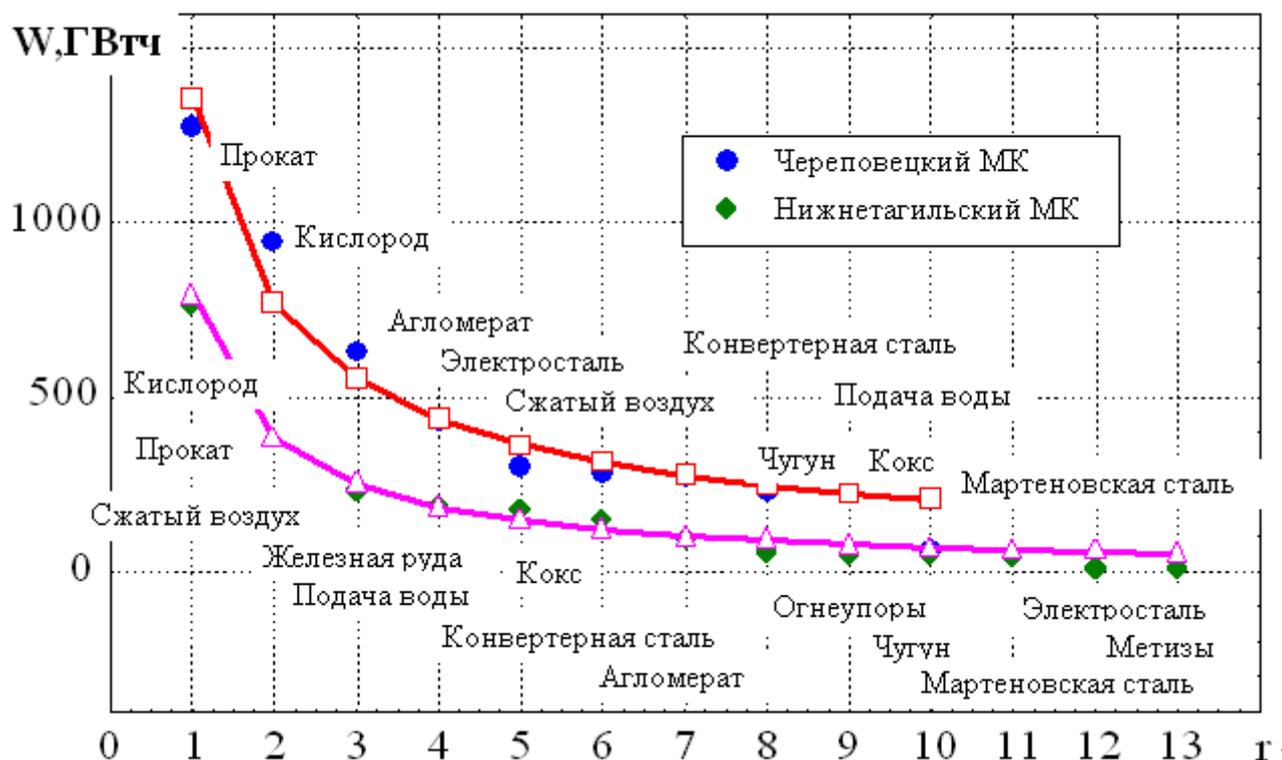


Рис.1. Ранжированные расходы ЭЭ на основные виды продукции Череповецкого МК и Нижнетагильского МК (1990 г.) и соответствующие кривые Н-распределения.

Нестрогое объяснение выполнения таких закономерностей именно для параметров электропотребления возможно и в такой форме. Н-распределение относится к устойчивым негауссовым распределениям. Устойчивость распределения означает, что сумма случайных величин с фиксированным законом распределения имеет тот же закон распределения. Расходы ЭЭ определяются объемами выпускаемой продукции и удельными расходами ЭЭ. Объемы выпуска продукции определяются множеством факторов: ситуацией на рынке сбыта, наличием финансовых, сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, социальными и политическими факторами. Аналогичные рассуждения можно привести и для удельных расходов. Учитывая общность Н-распределения для структур систем-ценозов любой природы, следует признать, что сумма Н-распределений определяемых каждым из перечисленных (и не перечисленных) факторов, приводит к итоговому Н-распределению для расходов ЭЭ. Заметим, что Н-распределение – это статистический закон, то есть он тем лучше выполняется,

чем большее количество элементов содержит система, чем большее количество факторов влияет на формирование ее структуры.

Хорошая адекватность предложенной модели позволила разработать метод структурообразующих рангов, который позволяет решить поставленную выше задачу: определить электропотребление всего предприятия, имея только информацию о расходах ЭЭ на основные виды продукции. Сущность метода заключается в том, чтобы через полученные соотношения вычислять недоступные для других способов определения параметры, характеризующие разнообразие в системе-ценозе, и на этой основе прогнозировать структуру системы и по известной структуре определять ограничения, соответствующие данной системе.

Для этого предлагается использовать обнаруженные закономерности структурного разнообразия ценозов в следующей форме:

1. Определяются (годовые) расходы ЭЭ на выпуск основных видов продукции, то есть той части потребителей предприятия, для которых возможно получение информации тем или иным способом. Применительно к БД /22/ - это известные расходы ЭЭ на 16 основных видов продукции отрасли. Из них – на предприятии выпускается S_0 видов (обычно $S_0=3\dots 11$ видов).

2. Определяется разнообразие фактических расходов ЭЭ на основные виды продукции по величине энтропии. Затем определяются константы «идеальной» гиперболы, которая имеет то же значение энтропии начальных рангов.

3. По известным константам «идеальной» гиперболы и по заданному параметру S – общее количество видов продукции на предприятии, определяем сумму расходов ЭЭ в относительных единицах для S_0 видов продукции. Зная эту величину в именованных единицах, определяем значение ограничения по ресурсу для ценоза в целом, то есть, определяем общее электропотребление предприятия (модельное).

Таким образом, для определения электропотребления должна быть известна еще одна константа - S . Следует заметить, что S , в такой постановке задачи, зависит не только от фактического количества видов продукции, которое изменяется для разных предприятий. На параметр S оказывают влияние отклонения в структуре расходов ЭЭ от гиперболического распределения. Во-первых, такие отклонения могут быть вызваны нестабильным состоянием ценоза (реконструкции на предприятии, существенное изменение объемов производства и т.п.). Во-вторых, искажения структуры проявляются при включении в начальные ранги не только самых больших расходов ЭЭ, из-за недостатка информации.. В-третьих, известно, что такие отклонения теоретически предсказывались и наблюдаются в ценозах различной природы в форме волнообразных кривых, накладывающихся на гиперболу: в /30/ отмечается, что накладываются функции,

медленно меняющиеся в смысле Карамата, и это является следствием предельной теоремы Гнеденко-Деблина для негауссовых распределений. Очевидно, что формальное описание влияния этих факторов отсутствует. Заметим, что влияние всех перечисленных факторов, вызывающих отклонения от гиперболы в общей структуре, проявляется тем сильнее, чем меньше информации мы имеем о структуре начальных рангов (мало S_0). Поэтому удовлетворительные результаты преобладают для предприятий, которые в БД представлены с $S_0 > 4$.

В случае проектирования нового предприятия указать на предпроектных стадиях реальное общее количество видов продукции S проектируемого предприятия – затруднительно. Учитывая тот факт, что параметр S в данном методе рассматривается как константа структуры, а не как реальное количество видов, определить эту величину на этапе проектирования экспертно – невозможно.

Для использования существующей информации, содержащейся в БД, для проектирования были произведены следующие исследования. Для предприятий, приведенных в БД /22/, после однозначного определения параметров "идеальной" гиперболы, параметр S определялся из условия минимизации ошибки за все годы эксплуатации фактического и модельного (получаемого по модели "идеальной" гиперболы) суммарного электропотребления. При этом фиксировались параметры, характеризующие разнообразие расходов ЭЭ на основные виды продукции. Заметим, что эти параметры известны из разнообразия расходов ЭЭ на основные виды продукции, то есть до принятия проектного решения по вновь сооружаемому предприятию, до определения величины S . Была выдвинута гипотеза о том, что должна существовать связь параметров разнообразия между собой. Дело в том, что для формализации принятия проектных решений, опирающихся в данном методе на величину S , необходимо получение регрессионного уравнения, связывающего S с параметрами разнообразия начальных рангов.

Такая связь была обнаружена на примере предприятий черной металлургии, отраженных в БД /22/: получено уравнение регрессии, адекватно описывающее такую связь. Для каждого предприятия за каждый год функционирования по описанному выше методу определялись константы гиперболы, по полученному уравнению регрессии определялась величина S . В алгоритм, приведенный выше, вносится одно изменение: в п.3 используется S не заданное, а определенное по уравнению регрессии.

Для проверки адекватности метода структурообразующих рангов по указанному алгоритму были выполнены расчеты для всех предприятий черной металлургии, представленные в БД /22/ (1970-1990 г.г.), а для ряда предприятий – включая последние годы функционирования, которые не использовались при

получении регрессионного уравнения для S . На рис.2 и рис.3 показан пример для Нижнетагильского металлургического комбината. Заметим, что за рассматриваемый период на предприятии существенно изменялись объемы производства и расходы ЭЭ на разные виды продукции (рис.2). Можно видеть, что метод структурообразующих рангов показывает удовлетворительную точность определения электропотребления предприятия (рис.3) даже в тот период, который не вошел в получение регрессионного уравнения.

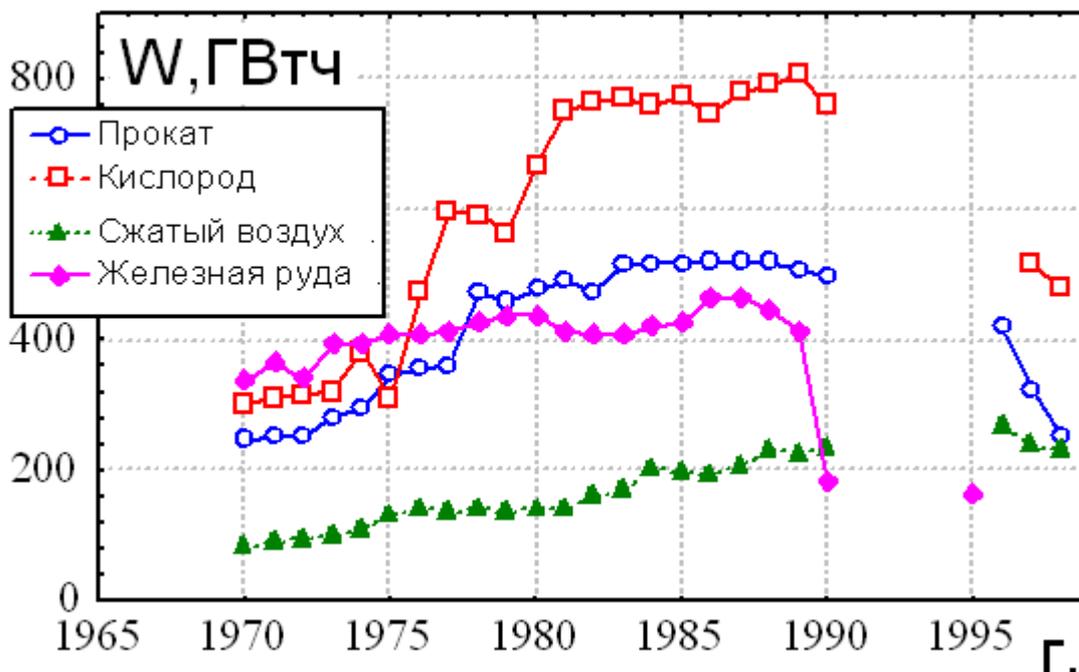


Рис. 2. Максимальные расходы ЭЭ Нижнетагильского МК.

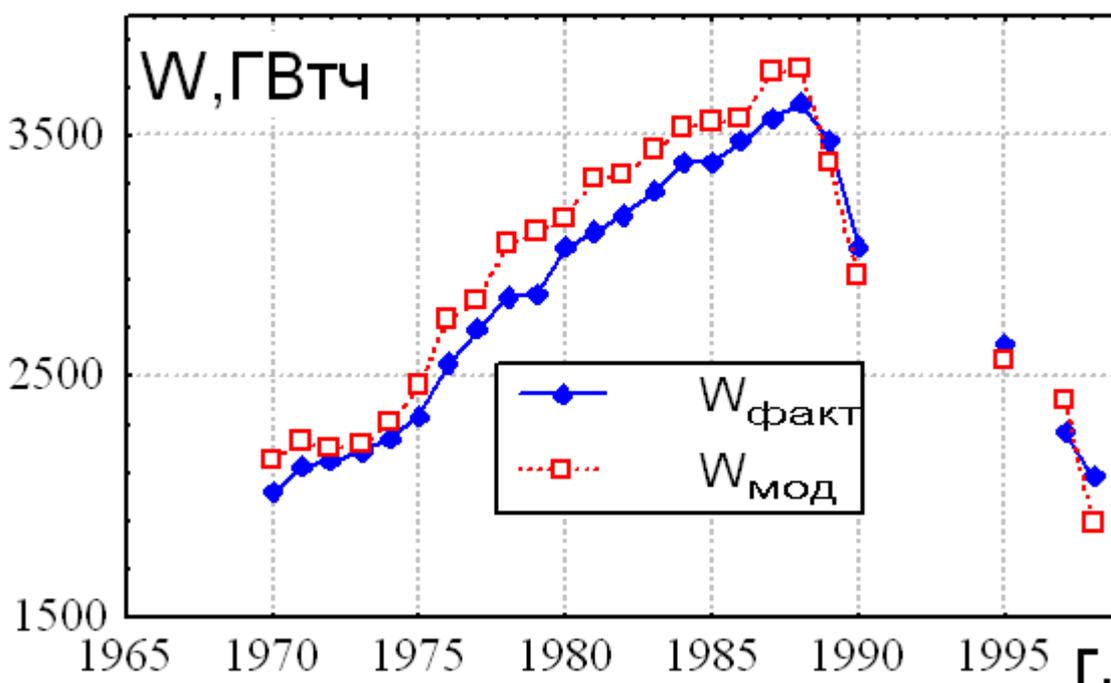


Рис. 3. Результаты моделирования электропотребления Нижнетагильского МК

Проверка указанного метода на объектах из /22/ показала, что для абсолютного большинства предприятий можно получить удовлетворительную точность определения суммарного электропотребления. Исключения составляют либо предприятия, информация о структуре расходов ЭЭ которых недостаточна, то есть предприятия, для которых в БД указано малое количество начальных рангов ($S_0=1\dots4$). Либо предприятия, у которых обнаружены существенные ошибки в исходных данных.

Таким образом, метод структурообразующих рангов позволяет определять электропотребление многономенклатурного предприятия на ранних стадиях проектирования с достаточной точностью при минимуме информации о структуре предприятия. Кроме этого, данный метод может быть использован при долгосрочном прогнозировании электропотребления, связанным с реконструкцией предприятий. Другими словами, внесение в модель формирования структуры ценозов ограничений, и полученных на этой основе конкретных численных соотношений, позволяет прогнозировать параметры ценоза, то есть определять параметры структурного разнообразия ценоза по минимуму исходной информации, снижать неопределенность в информации при принятии проектных решений на ранних стадиях проектирования. Общим условием для применения моделей является соответствие рассматриваемой системы - системе ценологического типа.

Другим важным параметром электропотребления, требующим определения, в том числе и на предпроектных стадиях, является максимум нагрузки. Для принятия проектного решения на ранних стадиях проектирования необходимо знание R_m , по которому определяется не только пропускная способность элементов внешнего электроснабжения предприятия, но и решаются более общие вопросы об источниках ЭЭ для предприятия: строительство, реконструкция электростанции или районной подстанции, строительство ЛЭП, определяются условия присоединения предприятия к энергосистеме. Рассмотрим определение проектного максимума нагрузки R_m /31/ на основе известного (определенного ранее) электропотребления предприятия W_r , проанализируем возможность использования информации БД /22/.

В БД представлен наибольший зимний максимум нагрузки R_{mn} , взятый из отчетности предприятий (и через эту величину определяются другие показатели, например, T_m – годовое число часов использования максимума нагрузки). Этим вносится определенная погрешность использования БД при проектировании, так как более близким по смыслу к проектному максимуму является абсолютный максимум нагрузки R_{ma} . Но этот параметр специально не фиксируется в

отчетности. О его величине можно сказать следующее: в общем случае значения этих максимумов равны друг другу. Исключение составляет круг предприятий, на которых постоянно или только в режимные дни, проводятся мероприятия по регулированию максимума нагрузки. То есть производится либо перенос максимума электропотребления предприятия с часов прохождения максимума энергосистемы, или простое ограничение электропотребления в такие дни. В результате для таких предприятий может оказаться $P_{ма} > P_{му}$ и может оказаться $T_{м} > 8760$ часов, что наблюдается в БД. Однако простое введение информации о $P_{ма}$ в отчетность не увеличит точности, так как это не коммерческий параметр, не контролируется сторонними организациями и может субъективно корректироваться. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы с использованием системы отчетности предприятий, представленной в БД, то есть по $P_{мн}$, определить проектные максимумы $P_{м}$ для принятия решений на ранних стадиях проектирования по известной величине электропотребления.

Это можно сделать, если удастся получить регрессионное уравнение вида $P_{м} = f(W_{г})$ или $T_{м} = f(W_{г})$ (при учете, что $P_{м} = W_{г} / T_{м}$) с исключением случаев несоответствия отчетности, представленной в БД, проектным целям. Заметим, что если зависимость $P_{мн} = f(W_{г})$ будет линейна, то она не “искажена” мероприятиями регулирования максимума нагрузки, то $P_{м} = P_{ма} = P_{мн}$ и этой величиной можно пользоваться в проектных целях.

Для решения этой задачи из БД были взяты следующие данные $W_{г}$, $P_{м}$, и $T_{м}$ всех предприятий отрасли черной металлургии за 10 лет работы, и сформирована единая выборка. Однако перечисленные выше факторы и прямые ошибки в данных, не позволили сразу получить адекватные регрессионные уравнения.

С учетом сказанного выше из дальнейшего рассмотрения были исключены данные для случаев, когда $T_{м} > 8100$ ч/год. Так же были выведены из рассмотрения данные с $P_{м} < 5$ МВт, и с $T_{м} < 1000$ ч/год, то есть, исключены малые предприятия, на которых соотношение $P_{м}$ и $W_{г}$ неустойчиво. А также были исключены явные ошибки, которые проявлялись в том, что произведение $P_{м}$ на $T_{м}$ значительно (более пяти процентов) отличалось от $W_{г}$, также представленного в БД. И последняя проверка связана со следующими соотношениями:

$$K_c = P_{м} / (P_{уст.дв} + P_{уст.т}); P_{уст.дв} = P_{ср} \times N_{дв},$$

где $P_{уст.дв}$ – установленная мощность двигателей, $P_{уст.т}$ – установленная мощность недвигательной (технологической) нагрузки. В принятых обозначениях должно соблюдаться следующее соотношение:

$$P_m - K_c \times P_{cp} \times N_{dv} = K_c \times P_{уст.т}$$

Так как БД отсутствует информация о $P_{уст.т}$, то данные из БД полагались ошибочными при невыполнении следующего соотношения:

$$P_m - K_c \times P_{cp} \times N_{dv} > 0$$

Анализ БД показал, что зависимость $T_m = f(W_r)$ некорректно описывается полиномами вплоть до пятого порядка, то есть, не наблюдается тенденции, а данные представляют собой гомогенное “облако”. Поэтому для дальнейшего рассмотрения была выбрана модель $P_m = f(W_r)$. Линейное регрессионное уравнение, полученное по всей указанной выборке, показало среднюю погрешность 16,4 % (максимальная погрешность 26,8 %). Использование нелинейного уравнения регрессии не приводит к существенному снижению погрешности. Таким образом, получение единого уравнения регрессии для всего диапазона изменения W_r в выборке не позволило обеспечить приемлемую точность в определении P_m .

По этой причине вся выборка была отсортирована по увеличению максимальной мощности, что позволило выделить характерные участки по P_m , или, другими словами, выделить группы предприятий с характерной величиной P_m . Таких участков получилось четыре. Для каждого из участков определялись коэффициенты линейной и нелинейной регрессии.

Во всех случаях разброс фактических значений не превышал 8%. Предпочтительно использование линейных моделей, так как во всех случаях они имеют погрешность практически равную с нелинейными. С другой стороны, то, что линейные зависимости $P_m = f(W_r)$ получаются адекватными, является косвенным доказательством правомерности использования данных БД по максимальной мощности для проектирования. Таким образом, определены процедуры проверки исходных данных, которые позволили выявить связь между электропотреблением и максимумом нагрузки $P_{мн}$, приведенным в БД.

Проверка адекватности производилась для ряда предприятий за последние годы функционирования, которые не использовались при построении регрессионных уравнений для P_m . Анализ результатов показал, что ошибка в определении P_m во всех случаях не превысила 6%.

Выводы

Таким образом, на примере черной металлургии показан комплекс методов и процедур переработки исходной информации, полученной из эксплуатационной

отчетности предприятий, которые позволяют определять основные параметры электропотребления предприятия, имея минимум информации, который характерен для ранних этапов проектирования. Указанные методы опираются на единственно возможный, на этих этапах проектирования, принцип расчета - «сверху-вниз». При этом обязательно использование информации об объектах аналогов, объектах отрасли. Переработка такой информации требует использования: известных традиционных статистических методов – регрессионный анализ; известных, но нетрадиционных для электроэнергетики методов – кластерный анализ, распознавание образов; так и новых методов, основанных на ценологическом подходе к анализу структуры систем.

Литература

1. Кудрин Б.И. Основы комплексного метода расчета электрических нагрузок. - Промышленная энергетика. 1986. N 11. с. 23 - 27.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
3. Копытов Н.В. Определение коэффициента одновременности для приводов с повторно-кратковременной нагрузкой. - Вестник электропромышленности. 1933, N9, с.15-21.
4. Лившиц Д.С. Расчетные нагрузки электросетей. - Электричество, 1949, N 12.

5. Каялов Г.М. Определение максимума нагрузки группы произвольных электроприемников. - Электричество, 1937, N 9-10.
6. Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 27 с.
7. Методические указания по обследованию электрических нагрузок промышленных предприятий. – М.: БТИ Оргрэс, 1964. – 27 с.
8. Каялов Г.М. Основы анализа нагрузок и расчета электрических сетей промышленных предприятий. - Электричество, 1951, N 4, с. 28-37.
9. Мешель Б.С. Применение математической статистики для определения электрических нагрузок промышленных предприятий. Киевское правление НТОЭП и Энергосбыт Киевэнерго. Киев. 1958.
10. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. / Инструктивные указания по проектированию электрических установок. М.: Энергия, 1968. N 6. с. 3-17.
11. Инструктивные и информационные материалы по проектированию электротехнических промышленных установок. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. - М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. 1992, N 7-8.
12. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобрынский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн, Б.С. Мешель Л.: Энергия, 1971. 264 с.
13. Гнеденко Б.В. Теоретико-вероятностные основы статистического метода расчета электрических нагрузок промышленных предприятий. - Изв. вузов. Электромеханика, 1961, N1, с. 90-99
14. Сербиновский Г.В., Селиверстов Б.Ф. К вопросу о коэффициентах спроса в промышленности. - Промышленная энергетика, 1947, N 5 , с. 6-7.*
15. Правила устройства электроустановок./ Минэнерго СССР.- М.: Энергоатомиздат, 1985, 640 с.
16. Тюханов Ю.М., Усихин В.Н. Метод расчета электрических нагрузок с учетом технологических факторов. - Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. / Тяжпромэлектропроект. М.: Энергоатомиздат, 1985, N2.
17. Жежеленко И.В., Степанов В.П. Основные положения и принципы комплексного подхода к определению расчетных характеристик графиков электрических нагрузок. - Промышленная энергетика, 1988, N 4, с. 38-41.
18. Баренбаум Ю.М. Комплексный метод автоматизированного расчета на ЭВМ режимов проектируемых систем электроснабжения с использованием результатов обследования нагрузок действующих электроприемников автоматическим многоканальным регистратором. Инструктивные указания по

проектированию электротехнических промышленных установок/Тяжпромэлектропроект.- М., 1978. – N3, с.30-31.

19. Степухович А.Д., Улицкий В.А. Лекции по статистической физике. Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1978. 149 с.

20. Топорищев И.Г. Челябинскому металлургическому комбинату 55 лет. – Сталь, 1998, N3, с. 1-4.

21. Технологические правила проектирования объектов строительства. Методическое руководство. М.: ГП ЦНС Госстрой России, 1998 г., 128 с.

22. Авдеев В.А., Кудрин Б.И., Якимов А.Е. Информационный банк "Черметэлектро". М.: Электрика, 1995, 400 с.

23. Олейников В.К., Никифоров Г.В. Анализ и управление электропотреблением на металлургических предприятиях. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – 219 с.

24. Никифоров Г.В., Заславец Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях: Монография. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 283 с.

25. Жилин Б.В. Методика применения комплексного расчета нагрузок. - Промышленная энергетика, 1995, N9, с.17-20.

26. Жилин Б.В., Бортниченко А.В. Классификация предприятий черной металлургии. - Промышленная энергетика, N1, 1997 г. с 25-26.

27. Кудрин Б.И. Введение в технетику. 2-е изд. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та. 1993. - 552 с.

28. Жилин Б.В. Ценологические ограничения на управление структурой системы. Техническая реальность в XXI веке. Материалы IV Конференции по философии техники и технетики. (Омск, 20-22 января, 1999 г.). Вып.8. «Ценологические исследования». - М.: Центр системных исследований, 1999. - 256 с.

29. Жилин Б.В. Использование метода идентификации разнообразия для определения параметров электропотребления предприятия в условиях неполноты информации. Энергосбережение, электроснабжение, электрооборудование. Известия Тульского гос.ун-та. 1997.С.19-23

30. Материалы дискуссии. Онтология и гносеология технической реальности. Вып.5. "Ценологические исследования". Ред. И сост. Б.Кудрин. – М.: Центр системных исследований, 1998, 238-250 с.

31. Жилин Б.В. Использование банка данных "Черметэлектро" в качестве информационного обеспечения для оценки эффективности электрохозяйства предприятия. - Промышленная энергетика, 2000, N3, с. 34-37.

32. Жилин Б.В. Определение электропотребления предприятия в условиях неполноты информации с использованием ценологических свойств систем // Энергетика... (Изв. высших учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - 1998. - № 5. - с. 51-56.

