

Программа развития ООН в Республике Беларусь
Глобальный экологический фонд
Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь



И.С.Жидович

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОВКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ФОНДА НА ПРИНЦИПАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ



Полноправные люди.
Устойчивые страны.

Минск

Минск, 2014 г.

В брошюре рассматриваются парокомпрессионные тепловые насосы как источники теплоснабжения для энергоэффективных многоквартирных домов. Представлен краткий анализ источников низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов. Отмечена перспективность использования теплоты наружного воздуха и сточных вод. В брошюре также изложены методы предпроектной оценки энергетической, экологической и экономической эффективности. Реферативно приведен пример выбора тепловых насосов в структуре источника теплоснабжения пилотного энергоэффективного жилого дома в г. Гродно.

Брошюра будет интересна специалистам строительной отрасли, экспертам в области энергоэффективных технологий, специалистам научно-исследовательских и проектных организаций Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Департамента по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь.



Данная публикация подготовлена и издана в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь», реализуемого Программой развития ООН и Департаментом по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь при финансовой поддержке Глобального экологического фонда.

В Республике Беларусь на теплоснабжение многоквартирного жилого фонда расходуется более 35 % суммарного потребления органического топлива. Одной из существующих альтернатив органическому топливу является использование местных и возобновляемых источников энергии с применением современного оборудования для их использования, в т. ч. тепловых насосов.

Тепловые насосы являются сегодня признанным энергоэффективным и экологически чистым теплогенерирующим оборудованием. В мире ежегодно вводятся в эксплуатацию около 2 млн. тепловых насосов разных типов и мощности. По прогнозу Международной электротехнической комиссии (МЭК) к 2020 году в развитых странах 75% теплоснабжения (коммунального и промышленного) будет осуществляться с помощью тепловых насосов. Особенно интенсивно применяются тепловые насосы в странах Западной Европы и Скандинавии (в Германии, Великобритании, Швейцарии, Австрии, Польше, Швеции, Норвегии). В последнее десятилетие реализуются пилотные проекты в России, Украине и Казахстане.

В настоящее время в различных регионах Республики Беларусь эксплуатируется только немногим более 300 парокомпрессионных тепловых насосов разных типов и модификаций. Их объектами теплоснабжения являются многоквартирные жилые дома (коттеджи), промышленные и коммунальные предприятия, которые сами являются источниками «бросовой» низкопотенциальной теплоты.

В многоквартирном жилом фонде Республики тепловые насосы пока не установлены, хотя специалистами республики уже давно определены границы технической возможности и целесообразности их применения, в частности, при разработке генеральных планов городов и проектов детального планирования, выполняемых УП «БелНИИПградостроительства» и ПИКУП «Минскградо». Основными причинами их не результативности были высокие тарифы на электроэнергию (как для электродкотлов), отсутствие средств у заинтересованных организаций и государственной поддержки.

В последние годы в Республике Беларусь принят ряд решений по повышению энергетической эффективности жилищного строительства и по тарифной политике, которые значительно повысили конкурентоспособность тепловых насосов как источников теплоснабжения нового многоквартирного жилого фонда. Способствуют этому и мировые тенденции технического совершенствования и экономического стимулирования, а также проведение в 2015 году в Минске 79-ой Генеральной ассамблеи МЭК.

Определяющими факторами, дающими основание рассматривать тепловые насосы в качестве источников теплоснабжения многоквартирных жилых домов, является их энергетическая и экологическая эффективность, когда тепловая энергия генерируется в местах ее потребления, а топливо для выработки электрической энергии сжигается вне жилых районов. Применение тепловых насосов переводит теплоснабжение на более высокий уровень централизации, который присущ системам электроснабжения.

Обязательными условиями эффективного применения тепловых насосов является наличие достаточных ресурсов низкопотенциальной теплоты и отсутствие ограничений в их присоединении к сети электроснабжения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Парокомпрессионные тепловые насосы конструктивно аналогичны давно известным холодильным машинам. Термодинамические различия только в интервале рабочих температур испарения и конденсации рабочих агентов.

Основные элементы парокомпрессионных тепловых насосов – компрессор, испаритель, конденсатор, терморегулировочный вентиль и микропроцессор, управляющий режимом работы тепловых насосов (рис.1).

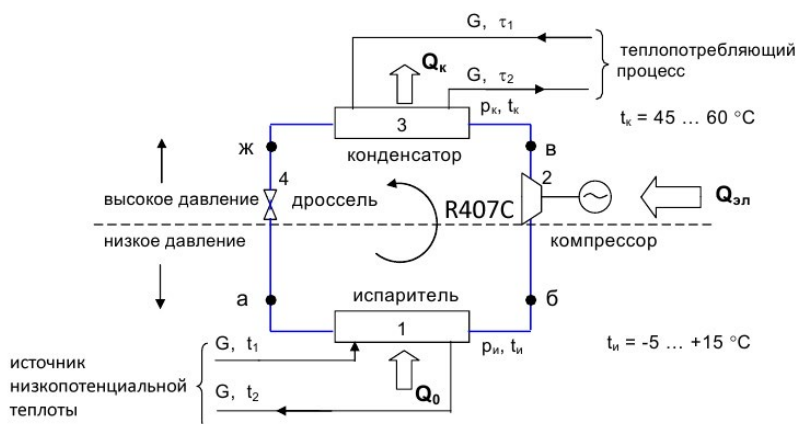


Рис. 1. Упрощенная схема парокомпрессионного теплового насоса

Соотношения между параметрами энергетических потоков, обозначенные на рис.1:

$$Q_k = Q_0 + Q_{эл}; \quad \varepsilon = Q_k / Q_{эл};$$

Из приведенных соотношений следует, что количество тепловой энергии, произведенной тепловым насосом Q_k , равно сумме количества теплоты, забираемой в испарителе от источника природной теплоты или вторичного энергетического ресурса Q_0 и теплового эквивалента электрической энергии, расходуемой на привод компрессора $Q_{эл}$. Отношение $Q_k / Q_{эл}$, есть коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты или коэффициент преобразования теплового насоса ε , который характеризует энергетическую эффективность его работы.

Значение ε зависит от температуры теплоносителя на входе в испаритель и температуры теплоносителя на выходе конденсатора. Эти зависимости в интервале расчетных температур приведены на рис. 2, из которых следует – чем меньше разность этих температур, тем больше значение $\varepsilon_{\text{расч.}}$, а следовательно, и выше энергетическая эффективность тепловых насосов.

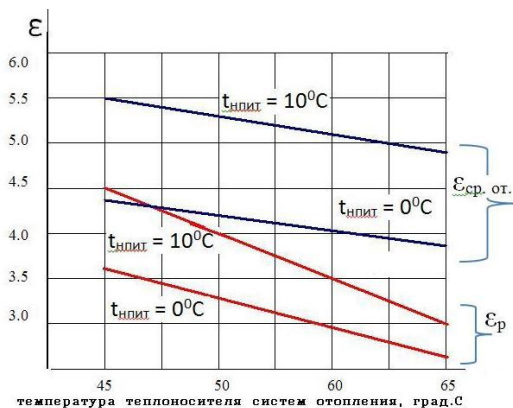


Рис. 2. Зависимость ε от значений температур теплоносителей на входе в испаритель и выходе из конденсатора

Значение коэффициента преобразования тепловых насосов при работе за отопительный период или год при изменяющихся температурах теплоносителей ($\varepsilon_{\text{ср.}}$) рассчитывается по выражению

$$\varepsilon_{\text{ср.}} = \sum \varepsilon_i \cdot Q_i / \sum Q_i,$$

где ε_i – коэффициент преобразования тепловых насосов в i -ый интервал работы теплового насоса; Q_i – количество теплоты, произведенной за i -ый интервал работы.

При определении $\varepsilon_{\text{ср.}}$ надо учитывать, что выработка теплоты для покрытия отопительной нагрузки осуществляется по графику качественного регулирования, т.е. со снижением температуры теплоносителя при снижении нагрузки. Именно значение $\varepsilon_{\text{ср.}}$ следует применять при оценке энергетических показателей теплоснабжения от тепловых насосов.

На рис.2 также показаны результаты расчетов $\varepsilon_{\text{ср.от.}}$ при работе теплового насоса автономно только на отопительную нагрузку в расчетных условиях ($t_{\text{нар.}} = \text{минус } 24^\circ\text{C}$, $t_{\text{внутр.}} = \text{плюс } 18^\circ\text{C}$).

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В настоящее время тепловые насосы достаточно широко представлены на белорусском рынке. Это продукция зарубежных фирм из Австрии (OCHSNER), Германии (GEA, VIESSMANN, DANFOSS), Италии (TERMOCOLD, CLIVET), Молдавии (ALTAL), Польши (GEJZER), США (CARRIER), Швеции (IVT, NIBE, OCTOPUS), Японии (DAIKIN, MITSUBISHI) и др. Некоторые из фирм имеют своих представителей в Республике Беларусь. Среди отечественных производителей известны только тепловые насосы УП «ГЕОТЕРМАТЕКС» (Минск).

Как правило, тепловые насосы группируются по виду и параметрам источника низкопотенциальной теплоты, значениям рабочих температур теплоносителей и тепловой мощности.

Сегодня нет технических ограничений на применение тепловых насосов, как по типу и мощности, так и виду используемого источника низкопотенциальной теплоты (НПИТ). Их выбор для теплоснабжения жилых домов обосновывается технико-экономическими расчетами в зависимости от величины тепловых нагрузок зданий, условий их размещения и доступности НПИТ.

Для отдельных многоквартирных домов предпочтительно применение компактных (шкафного типа) тепловых насосов, которые не занимают в доме много площади и имеют низкие шумовые характеристики. Это тепловые насосы типа «рассол-вода», «вода-вода» и «воздух-вода» тепловой мощностью до 100 кВт с электрическим приводом спиральных компрессоров (фото 1, 2 и 3). Они могут работать как автономно, так и совместно с другими теплоисточниками (топочные, местные котельные, источники централизованного теплоснабжения).



Фото 1. Тепловой насос «вода-вода»
тепловой мощностью 45 кВт
в топочной на твердом топливе



Фото 2. Тепловые насосы
«гликоль-вода» тепловой мощностью
по 70 кВт, установленные в контейнере



Фото 3. Испарительные блоки тепловых
насосов «воздух-рассол» тепловой мощностью
60 кВт (3x20 кВт), установленные на крыше
многоквартирного жилого дома



Фото 4. Тепловой насос «вода-вода»
тепловой мощностью 200 кВт

Для теплоснабжения групп многоэтажных жилых домов (жилых модулей) может быть обосновано применение электроприводных тепловых насосов мощностью от 150 кВт и более преимущественно с винтовыми компрессорами (фото 4).

В таблице 1 приведены общие сведения о тепловых насосах компактного исполнения.

Таблица 1. Общие сведения о тепловых насосах

Типы тепловых насосов	Виды НПИТ	Диапазон рабочих температур теплоносителей, °С		Тепловая мощность, кВт	Рабочие агенты (см. табл.2)
		потока низкопотенциальной теплоты	на выходе конденсаторов		
«Воздух–вода»	Вытяжной воздух, наружный воздух, дымовые газы	До минус 25	До плюс 65	До 150 кВт	R410A, R407C, R290 (пропан), R744(CO2)
«Рассол–вода»	Грунт, сточные воды, вода поверхностных источников	До минус 5	-“-	До 650 кВт	R410A, R407C, R134a, R744(CO2)
«Вода–вода»	Подземные воды, обратная вода	До плюс 20	-“-	До 1500 кВт	R134a

Энергетические показатели тепловых насосов во многом зависят от термодинамических и теплофизических свойств их рабочих агентов, которые непосредственно влияют на эксплуатационные и конструктивные характеристики.

В таблице 2 приведены основные параметры рабочих агентов, которыми заправляются сегодня тепловые насосы.

Таблица 2. Основные свойства рабочих агентов тепловых насосов

Виды рабочих агентов	Нормальная температура кипения, °С	Критическая температура, °С	Критическое давление, МПа	Озоно-разрушающий потенциал (ODP)	Потенциал глобального потепления (GWP)	Горючесть
R410A (50%R-32+50%R-125)	Минус 51	72,5	4,93	0	1720	Не горюч
R407C (23%R-32+25%R-125 +52%R134a)	Минус 44	87,3	4,63	0	1520	-“-
R134a	Минус 26	101,0	4,06	0	1200	-“-
R290 (пропан)	Минус 42	97,0	4,27	0	3	Горюч
R744 (CO2)	Минус 78,5	31,0	7,383	0	1	Не горюч

Для сравнительной оценки тепловых насосов типа «вода-вода» и «рас-сол-вода» как источников теплоснабжения в таблице 3 приведены техни-ческие характеристики некоторых из них.

Таблица 3. Основные технические характеристики парокомпрессионных тепловых насосов

Показатели	Температура теплоносителя на выходе конденсаторов, °C	Температура теплоносителя на входе в испарители, °C					
		0	10	0	10	0	10
		Модель 60 кВт		Модель 120 кВт		Модель 250 кВт	
Тепловая мощность, кВт	45	55,8	71,8	101,0	131,0	252,0	330,8
	мощность, кВт	54,0	69,0	98,0	123,0	246,0	327,5
	65	52,4	65,7	...	118,0*	243,0	326,2
Количество теплоты, отбираемой в испарителях, кВт	45	40,6	56,0	71,9	101,3	185,0	254,0
	55	36,1	50,1	61,5	86,5	156,0	235,0
	65	31,6	43,5	...	77,7*	138,0	219,7
Мощность компрессоров, кВт	45	40,6	56,0	71,9	101,3	185,0	254,0
	55	36,1	50,1	61,5	86,5	156,0	235,0
	65	31,6	43,5	...	77,7*	138,0	219,7
Коэффициент трансформации теплоты	45	3,7	4,5	3,5	4,4	3,9	4,3
	55	3,0	3,7	2,7	3,4	2,7	3,5
	65	2,5	3,0		2,9*	2,3	3,1
Тип и количество компрессоров		Спиральные, 2 ед.		Спиральные, 2 ед.		Винтовой, 1 ед.	
Количество и тип хладагента, кг		2x2,4 (R410A)		...(R410A)		47 (R134a)	
Звуковое давление, dB(A)		51		60		68	
Габариты (ширина x глубина x высота), м		0,6 x 0,625 x 1,625		1,96 x 0,95 x 1,62		1,72 x 3,38 x 1,28	
Вес, кг		350		1040		2500	

После решения ряда организационных вопросов надо рассчитывать и на масштабное применение тепловых насосов типа «воздух-вода» для покрытия нагрузок горячего водоснабжения в структуре бивалентных источников теплоснабжения многоквартирных жилых домов.

Не апробированы в Республике, но требуют внимания технические возможности тепловых насосов «вода-вода» на основе двигателей внутреннего сгорания с газовым приводом компрессоров, размещаемые в коммунальных зонах жилых районов. Основное их отличие от тепловых насосов с электрическим приводом – в использовании теплоты газового двигателя и дымовых газов.

ИСТОЧНИКИ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ (НПИТ)

Источниками низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов могут быть: вытяжной воздух; наружный воздух; грунт; сточные воды; подземные и поверхностные воды; дымовые газы собственной крышной котельной на природном газе; вторичные тепловые потоки промышленных предприятий и объектов коммунального хозяйства (ТВЭР); теплоноситель существующей сети теплоснабжения района от ТЭЦ.

Ресурсы НПИТ районов расположения жилых зданий классифицируются на расчетные, используемые без ущерба для окружающей среды в течение часа ($Q_{\text{нпит}}^p$), и располагаемые – используемые за год ($Q_{\text{нпит}}^{\text{год}}$).

Их величины определяются по выражениям:

$$Q_{\text{нпит}}^p = G_{ij} \cdot \Delta t_{ij} \cdot C_i \cdot R_{ij}; \quad Q_{\text{нпит}}^{\text{год}} = \sum_j Q_{ij}^p \cdot n_{ij};$$

где G_{ij} объем НПИТ или ТВЭР i -го вида в j -ый период года; Δt_{ij} средняя за j -ый период года глубина охлаждения потока НПИТ и ТВЭР i -го вида; C_i теплоемкость потока НПИТ и ТВЭР i -го вида; R_{ij} коэффициент, характеризующий доступность утилизации НПИТ и ТВЭР i -го вида в j -ый период года; n_{ij} продолжительность использования расчетного теплового потенциала НПИТ и ТВЭР i -го вида в j -ый период года.

Вид возможных к использованию НПИТ или ТВЭР определяется градостроительными условиями расположения проектируемых жилых домов, их архитектурно-планировочными и конструктивными параметрами.

Вытяжной воздух является эффективным и доступным для использования в качестве НПИТ в системах теплоснабжения отдельных жилых зданий. Температура вытяжного воздуха стабильна в течение отопительного периода и составляет в среднем около 18 °С. Объемы удаляемого воздуха зависят от назначения и площади вентилируемых помещений.

При оборудовании жилых домов централизованной системой вентиляции вытяжной воздух может рассматриваться как единственный источник низкопотенциальной теплоты, так и (при соответствующем обосновании) в комбинации с другими (сточные воды, дымовые газы, наружный воздух).

Наружный воздух является самым доступным НПИТ неограниченного объема. Эффективность его использования в Республике определяется особенностями климата. Так, для условий г. Гродно по данным многолетних наблюдений при расчетной для отопления температуре наружного воздуха равной минус 22 °С продолжительность стояния температуры ниже минус 15 °С составляет только около 2 % от продолжительности отопительного периода, а ниже минус 10 °С – около 7 %. Одновременно, средняя суточная амплитуда температуры воздуха (разность между суточным максимумом и минимумом температуры) составляет в самый холодный месяц (январь) 6,3 °С, а за отопительный период (ноябрь-апрель) 4,5...9,4 °С.,

Учитывая технические возможности современных тепловых насосов, все выше сказанное дает основание рассматривать наружный воздух как перспективный НПИТ, особенно при ограниченных ресурсах НПИТ других видов.

Грунт верхних слоев земли, так же как и наружный воздух, представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости. Эффективность использования теплоты грунта определяется, главным образом, температурным режимом грунта в годовом цикле и зависит от его состава, влажности, температуры воздуха и др. Температура грунта в зимний период на глубине 0,8 м составляет от 1...3 °С, а на глубине 1,5 м – 2...7 °С.

Технически возможны системы отбора теплоты грунта с применением теплообменников из пластиковых труб разного диаметра: горизонтального исполнения (змейки, петли и др.), укладываемые с заглублением на 1,5-2,0 м в грунт, и вертикального (зонды) – в скважины разной глубины или в опоры фундаментов зданий.

В условиях дефицита свободной от застройки территории применение горизонтальных теплообменников имеет ограничения, поэтому отбор теплоты от грунта возможен только с применением различных конструкций вертикальных теплообменников. Для оценочных расчетов принимается значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда равным 45 Вт.

Сточные воды очень перспективный, но пока мало используемый для теплоснабжения источник низкопотенциальной теплоты, что обусловлено их биологической и коррозионной агрессивностью, неравномерным режимом потока в канализационной сети.

Объемы и температура бытовых сточных вод зависят от уровня инженерного благоустройства, привычек жителей и температуры водопроводной воды. На выпусках домов их температура изменяется в интервале от 15 °С до 35 °С при среднем суточном значении 24 °С.

Проблемы утилизации частично решаются при использовании теплоты только «серых» сточных вод (от ванн, умывальников и кухонь), что возможно при создании в жилых домах двухтрубных систем отведения сточных вод: «серых» и от туалетов.

Компактные установки утилизации теплоты сточных вод, включающие герметичные резервуары-усреднители потока, могут размещаться в подвалах домов.

В настоящее время нет технических ограничений и на использование теплового потенциала городских сточных вод (хозяйственно-бытовых и производственных) для создания на основе тепловых насосов местных источников теплоснабжения, интегрируемых в действующие системы теплоснабжения планировочных районов.

На фото 5 и 6 показано оборудование для отбора теплоты городских сточных вод.



Фото 5. Монтаж теплообменника-утилизатора теплоты сточных вод в канализационном колодце



Фото 6. Конструкции теплообменников, размещаемых в канализационных коллекторах

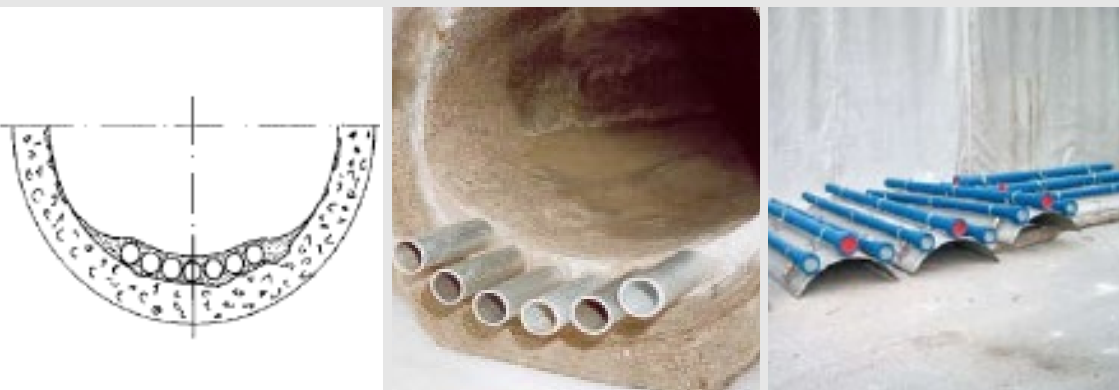


Фото 6. Конструкции теплообменников, размещаемых в канализационных коллекторах

Как известно, тепловой баланс водных экосистем более совершенный, когда температура сточных вод равна температуре водопроводной воды, забираемой для водоснабжения из подземных источников. Однако при низкой температуре сточных вод ухудшаются процессы их биологической очистки. Поэтому минимальная температура сточных вод, до которой допустимо их понижение в теплообменниках-утилизаторах, должна быть не ниже температуры, при которой температура смешенных сточных вод при их поступлении на очистные сооружения будет не ниже установленных регламентами.

Экспериментальные исследования показали, что в условиях Республики Беларусь даже в самые холодные периоды года температура сточных вод на входе сооружений биологической очистки и очищенных сточных вод равна в среднем 10-15 °С. Поэтому очень перспективно использование теплоты биологически очищенных сточных вод, особенно при их подаче в города на не питьевые нужды и для создания условно замкнутых систем водного хозяйства городов. Такое решение имеет и экологическое обоснование по критерию теплового загрязнения поверхностных вод, т.к. температура сточных вод в местах сброса в водоток зимой не должна превышать температуру водотока более чем на 5 °С.

Подземные воды характеризуются относительно постоянным тепловым потенциалом. Их температура зависит от глубины залегания, расстояния от поверхностных водотоков и др. Например, температура грунтовых вод

на глубине 10-15 м колеблется в пределах от 6 °С до 11 °С, на глубинах около 100 м температура подземных вод выше 10 °С.

Эффективность использования теплоты грунтовых вод повышается, если одновременно обеспечивается водопонижение территории.

Поверхностные (речные и озерные) воды являются исключительно местными источниками низкопотенциальной теплоты. При их использовании следует учитывать сезонную изменчивость объемов, чистоты и температурных режимов, а принятые решения должны подтверждаться расчетами их термического режима, учитывающего экологические ограничения. Отбор теплоты может осуществляться или непосредственно в испарителях тепловых насосов, или через промежуточный контур с теплообменниками специальных конструкций.

Общие условия использования некоторых видов НПИТ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Условия использования некоторых видов НПИТ

Вид НПИТ	Располагаемый тепловой потенциал	Температура теплоносителя на входе в испарители, °С		Способ отбора низкопотенциальной теплоты
		исходного	охлажденного	
Вытяжной воздух	Ограниченный	18...22	По расчету	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем
Наружный (атмосферный) воздух	Неограниченный	-30...+35	Не нормируется	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем
Грунт	Неограниченный	6...12	Не нормируется	С промежуточным теплоносителем в контуре испарителей
Сточные воды	Ограниченный	15...30	8...15	С промежуточным теплоносителем или непосредственно в испарителях тепловых насосов
Подземные и поверхностные воды	Ограниченный	4...25	1...8	Непосредственно в испарителях тепловых насосов или с промежуточным теплоносителем

ПАРАМЕТРЫ ВНУТРИДОМОВЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Традиционно при проектировании внутридомовых систем отопления и горячего водоснабжения расчётной является¹ для систем отопления с радиаторами и обычными конвекторами температура до 95 °С, с управляемыми конвекторами – до 60 °С и со встроенными в ограждающие конструкции нагревательными элементами – до 35 °С. Температура горячей водой в точках водоразбора² принимается не ниже 50 °С.

Указанные параметры теплоносителей узаконены много лет назад, когда вопросы экономии энергии в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения не являлись приоритетными. Фактически в последние годы температура в эксплуатируемых системах отопления ниже расчетной без заметного ухудшения уровня комфортности в помещениях, а в домашнем хозяйстве более 97 % горячей воды потребляется с температурой до 45 °С (результаты анкетирования жителей г. Минска).

Поэтому при проектировании энергоэффективных жилых домов, имеющих большую аккумулирующую способность, реально снижения расчетных температур теплоносителей для систем отопления до 80 °С, а для систем горячего водоснабжения – до 45 °С. При необходимости можно предусматривать догрев воды, которая используется для мытья посуды до нормативных 50 °С.

На рис. 3 приведены температурные графики систем отопления с параметрами 80 / 60 °С, 65 / 45 °С, 60 / 40 °С и 55 / 35 °С, на которых нанесены границы технической возможности их покрытия тепловыми насосами. Как видно, при графиках 65 / 45 °С, 60 / 40 °С и 55 / 35 °С тепловые насосы могут рассматриваться как единственный источник теплоснабжения (см. табл. 3).

1 СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»

2 ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий»

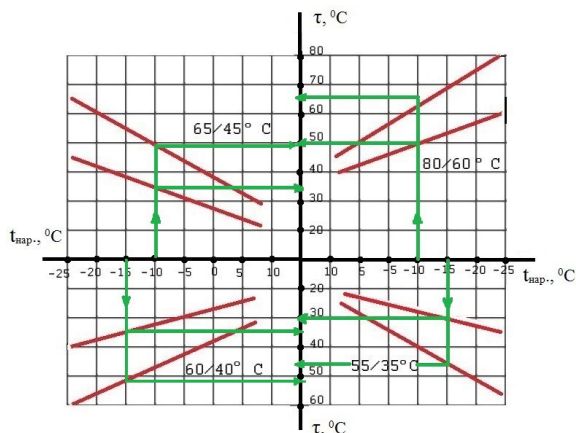


Рис. 3. Температурные графики систем отопления от тепловых насосов

Оценить важность обоснования температурных графиков можно по их влиянию на экономичность работы тепловых насосов, которые можно проследить из анализа зависимостей ранее приведенных на рис. 2. Из рис. 2 следует, что для температурного графика 55 / 35 °C значение $\epsilon_{\text{ср.отопит.}}$ на 5,5...7,0 % больше, чем для графика 65 / 45 °C, а соответственно меньше расход электрической энергии на работу тепловых насосов.

В целом, при выборе температурного графика необходимо учитывать повышение экономичности работы тепловых насосов при понижении расчетных температур теплоносителей и минусы, связанные с необходимостью увеличения поверхности отопительных приборов и установки местных электроводонагревателей в системах горячего водоснабжения. Такое технико-экономическое обоснование является обязательным условием при выборе источников теплоснабжения энергоэффективных жилых домов с применением тепловых насосов.

ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Теоретические и прикладные разработки показывают, что тепловые насосы для теплоснабжения многоквартирных жилых домов эффективно применять как автономно, так и совместно с другими теплоисточниками: крупными источниками системы централизованного теплоснабжения

(ТЭЦ, РК), местными котельными на органическом топливе (МК) и гелио-установками (ГУ).

Типологическая модель системы теплоснабжения многоквартирных жилых домов или жилой застройки на основе тепловых насосов с указанием вида и направлений энергетических потоков приведена на рис. 4.

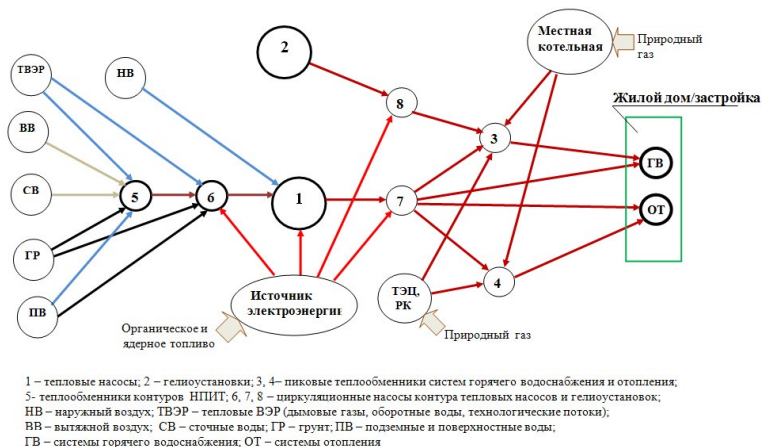


Рис.4. Типологическая модель системы теплоснабжения на основе тепловых насосов

Формируемые альтернативные варианты теплоснабжения основываются на первичной оценке наличия ресурсов НПИТ, особенностях застройки района, возможностях развития инженерной инфраструктуры. Анализ практики градостроительного проектирования позволяет систематизировать возможные решения по размещению новых жилых домов по базовым исходным условиям:

- отдельно стоящие при уплотнении сложившихся жилых районах с ограниченными возможностями присоединения к существующей сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ или районных котельных – версия А;
- отдельно стоящие при отсутствии возможности присоединения к существующей сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ или районных котельных – версия Б;
- группа новых жилых домов (жилой модуль) на условно свободных территориях жилых районов с ограниченными возможностями присоединения к сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ или районных котельных – версия В;

- группа новых жилых домов (жилой модуль) при отсутствии возможности присоединения к сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ или районных котельных – версия Г.

Во всех версиях принимается, что районы планируемого расположения новых энергоэффективных многоквартирных жилых домов имеют технические возможности присоединения к городским сетям водоснабжения и канализации, электроснабжения и газоснабжения, а сами жилые дома оборудуются системами рекуперации теплоты уходящего воздуха.

На основании обобщения зарубежного и отечественного опыта проектирования систем теплоснабжения с тепловыми насосами для названных версий размещения жилых домов могут рассматриваться источники их теплоснабжения (см. рис.4), характеристика которых приведена в таблице 5.

Таблица 5. Характеристика источников теплоснабжения энергоэффективных жилых домов для базовых версий их размещения

Наименование версии	Наименование теплоисточников									
	Тепловые насосы				Системы централизованного теплоснабжения			Местные котельные		
	Вид НПИТ*	Участие в покрытии, %		Место размещения	Участие в покрытии, %		Место размещения	Участие в покрытии, %		Место размещения
		Q _{расч}	Q _{год}		Q _{расч}	Q _{год}		Q _{расч}	Q _{год}	
Версия А	Грунт, сточные воды	60..70	90..95	Теп. узел ж/домов	30..40	5..10	Теп. узел ж/домов	-	-	-
Версия Б**	Грунт, сточные воды	60..70	70..75	Теп. узел ж/домов	-	-	-	30..40	5..10	Встроенная, пристроенная
	Дым. газы, наружный воздух	30..40	45..55	На крыше ж/дома	-	-	-	60..70	45..55	На крыше ж/дома

* при расположении жилых домов на территориях с высоким уровнем стояния грунтовых вод или около поверхностных водотоков НПИТ могут быть подземные и поверхностные воды

** в версии Б 20 % годового потребления теплоты покрывается гелиоустановками

Версия Б**	наружный воздух, сточные воды	100	100	На крыше и в тепл. узлах ж/домов	-	-	-	-	-	-
Версия В	Грунт, сточные воды, тепловые ВЭР	60..70	90..95	Теп. узел ж/домов, пристроенные, ЦТП	30..40	5..10	Теп. узел ж/домов, ЦТП	-	-	-
Версия Г	Грунт, сточные воды, тепловые ВЭР	50..60	85..90	В инженерном отдельно стоящем блоке	-	-	-	40..50	10..15	В инженерном отдельно стоящем блоке

Как следует из таблицы 5, во всех версиях размещения жилых домов (частично исключая версию Б) для поддержания расчетных параметров теплоносителей предусматривается работа тепловых насосов в бивалентном режиме с теплоисточниками на органическом топливе. Тепловые насосы для максимального использования тепловой мощности, большей управляемости и экономичности соединяются в каскад. В структуру источников теплоснабжения, как правило, включаются теплообменники-доводчики и баки-аккумуляторы горячей воды.

Для версий А и Б тепловые насосы должны размещаться преимущественно на свободных площадях жилых домов. Их габариты и шумовые характеристики должны допускать размещение в подвалах, желательно в помещениях, стыкуемых с тепловым узлом жилых домов.

Для версий Б и Г на источниках теплоснабжения предпочтительно устанавливать не менее двух тепловых насосов или один тепловой насос с несколькими компрессорами.

Для версии В при отсутствии ограничений на использование НПИТ предоставляется возможность передачи избытков тепловой энергии, генерируемой тепловыми насосами, в районную сеть централизованного теплоснабжения на основе котельных.

Для версий В и Г применение тепловых насосов, которые используют тепло очищенных сточных вод, поверхностных и подземных вод, стимули-

рует организацию двухтрубных систем водоснабжения жилых домов, что в целом повышает экономичность создания условно замкнутых систем водного хозяйства городов, что в условиях Республики дело времени.

Важно также, что для версий В и Г тепловые насосы и местные котельные при отсутствии планировочных и экологических ограничений можно объединять в единый инженерный блок с другими технологически стыкуемыми сооружениями инженерной инфраструктуры района (ЦТП, ТП, КНС). Должны быть обеспечены и эстетические требования застройки.

Приведенные в табл. 5 данные определены при наличии ресурсов НПИТ больше или равных тепловой нагрузке жилых домов (Q^p , кВт) и годового теплопотребления ($Q_{\text{год}}$, Гкал): $Q^p_{\text{нпит}} \geq Q^p$ и $Q^{\text{год}}_{\text{нпит}} \geq Q^{\text{год}}_{\text{дома}}$. При ограниченных ресурсах НПИТ тепловая мощность ($Q_{\text{рtn}}$), потребляемая мощность компрессоров (P_{tn} , кВт) и теплопроизводительность ($Q^{\text{год}}_{\text{tn}}$) тепловых насосов, а также их годовой расход электрической энергии (Δ , МВт ч) на выработку теплоты определяются из соотношений:

$$\begin{aligned} Q^p_{\text{tn}} &= 1,45 \cdot Q^p_{\text{нпит}}; & Q^{\text{год}}_{\text{tn}} &= 1,33 \cdot Q^{\text{год}}_{\text{нпит}} \\ P_{\text{tn}} &= Q^p_{\text{tn}} - Q^p_{\text{нпит}}; & \Delta_{\text{tn}} &= 1,163 (Q^{\text{год}}_{\text{tn}} - Q^{\text{год}}_{\text{нпит}}). \end{aligned}$$

В целом, применение источников теплоснабжения на основе тепловых насосов в районах, где тепловые сети отсутствуют или ограничена их пропускная способность, позволяет энергоуправлениям и застройщикам избежать технологических, экономических и организационных проблем развития систем централизованного теплоснабжения или сооружения местного источника теплоснабжения на органическом топливе.

Структурная схема источника теплоснабжения энергоэффективного жилого дома в г. Гродно, размещаемого в новом жилом районе по версии А, приведена на рис.9.

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В отсутствии общепризнанной методики эффективность применения тепловых насосов в сравнении с другими источниками теплоснабжения определяется по трем критериям: энергетическому, экологическому и экономическому.

Энергетическая эффективность рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива. За основу этих расчетов принимаются данные о средних значениях удельных расходов топлива на выработку электрической и тепловой энергии в энергосистеме и других местных энергоисточниках. Динамика их изменения на источниках белорусской энергосистемы за период 2005-2013 гг. показана на рис. 5.

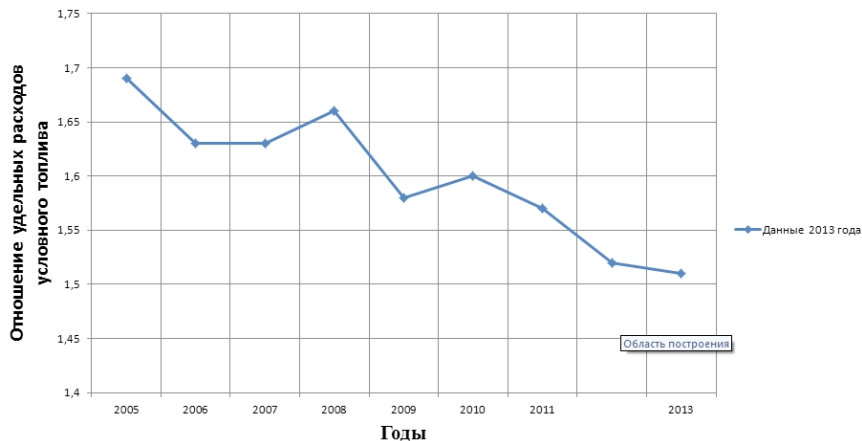


Рис. 5. Удельные расходы топлива на выработку электрической и тепловой энергии на источниках энергосистемы за период 2005-2014 гг.

При предпроектной оценке системная эффективность применения тепловых насосов в сравнении с альтернативным теплогенерирующим оборудованием рассчитывается по величине ожидаемой экономии первичного топлива (ΔB , %) с учетом потерь энергии во всех звеньях энергетической цепи, определяемой по выражению

$$B = [1 - (\eta_{\text{ТИ}} \cdot \eta_{\text{ТС}} / \eta_{\text{ЭИ}} \cdot \eta_{\text{ЭС}} \cdot \epsilon_{\text{ср}})] \cdot 100,$$

где $\eta_{\text{ТИ}}$ КПД источника теплоснабжения на органическом топливе; $\eta_{\text{ТС}}$ – КПД тепловой сети; $\eta_{\text{ЭИ}}$ КПД источника электрической энергии; $\eta_{\text{ЭС}}$ КПД передачи и трансформации электрической энергии; $\epsilon_{\text{ср}}$ среднегодовой/среднеотопительный коэффициент преобразования теплового насоса.

Графическая зависимость ΔB от значений $\epsilon_{\text{ср}}$ и $\eta_{\text{ТИ}}$ при $\eta_{\text{ЭИ}} = 0,4$, $\eta_{\text{ЭС}} = 0,9$, $\eta_{\text{ТС}} = 0,92$ приведена на рис.6.

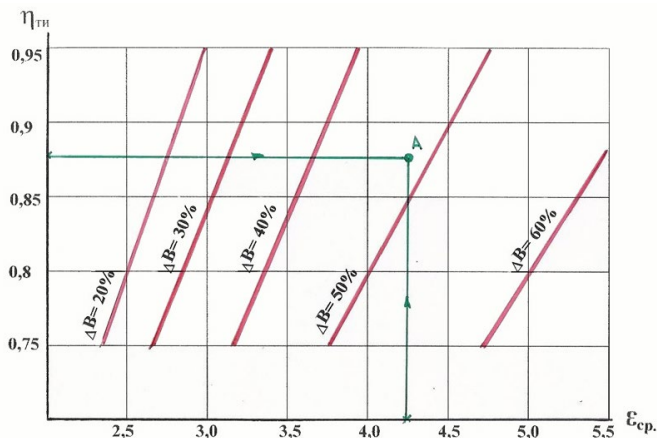


Рис. 6. Зависимость ΔB от значений $\epsilon_{ср.}$

Из графика на рис.6 видно, как влияет значение результирующего параметра работы тепловых насосов $\epsilon_{ср.}$ на энергетическую эффективность их применения (см. также рис. 2).

При работе тепловых насосов с $\epsilon_{ср} = 4,2$ как альтернатива замещаемому теплоисточнику с $\eta_{тп} = 0,87$ обеспечивается экономия около 48 % первичного топлива или около 65 кг у.т. на 1 Гкал произведенной тепловой энергии.

Экологическая эффективность применения тепловых насосов выражается в их возможности сокращать при работе одновременно физическое и химическое загрязнение окружающей среды. Важно также, что топливо на выработку электрической энергии, потребляемой тепловыми насосами, сжигается вне территорий населенных мест, а при многоцелевом использовании теплоты очищенных сточных вод или подземных вод – сокращение расходов воды питьевого качества.

Основным показателем их экологической эффективности является сокращение объемов выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами, объемы которых пропорциональны объемам сокращения первичного топлива (ΔB), т.е. при экономии первичного топлива, равной 40 %, сокращаются на 40 % и объемы выбросов.

При этом основным для экономической оценки экологической эффективности является учет выбросов оксида углерода как антропогенного парникового газа, которые составляют около 1700 кг при сжигании природного газа объемом 1 т у.т.

Из известных способов экономической оценки сокращения выбросов с дымовыми газами для практического применения можно рассматривать плату по действующим ставкам налога на выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду (экологический налог) и механизм торговли квотами.

Если учитывать системную эффективность применения тепловых насосов и как элемента природопользования, то стратегически более приемлема оценка с учетом величины платы от продаж квот или их передачи по схеме «зеленых» инвестиций. Для предпроектных расчетов можно принять плату от продаж квоты равной 50 евро за тонну углекислого газа³.

Таким образом при применении тепловых насосов с $\varepsilon_{cp} = 4,2$ вместо теплоисточника на органическом топливе с $\eta_{ти} = 0,87$ экономический эффект от сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами составит около 3,3 евро на 1 Гкал произведенной тепловой энергии.

Экономическая оценка эффективности выполняется по приведенным затратам, величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат, сроку окупаемости единовременных капитальных вложений и доходности.

С помощью *метода приведенных затрат* соизмерение значений экономических показателей для теплоснабжения от тепловых насосов и альтернативных теплоисточников осуществляется выражением

$$З_a = П_6 K_a + И_a,$$

где $З_i$ величина приведенных затрат на сооружение i -го источника теплоснабжения; $П_6$ средний банковский процент; K_i суммарные капитальные вложения на сооружение i -го источника теплоснабжения; $И_i$ ежегодные эксплуатационные расходы i -го источника теплоснабжения.

Оптимальный вариант выбирается по меньшей величине приведенных затрат на теплоснабжение от i -го источника теплоснабжения.

Укрупненно затраты на приобретение тепловых насосов ($K_{тн}$) различных типов и тепловой мощности ($Q_{тн}$) можно определять по зависимостям, приведенным на рис. 7.

³ Для США и ЕС расходы на снижение эмиссии тонны углекислого газа определены в 150...300 долл., в Японии – 300...10000 долл., в России – 10...25 долл.

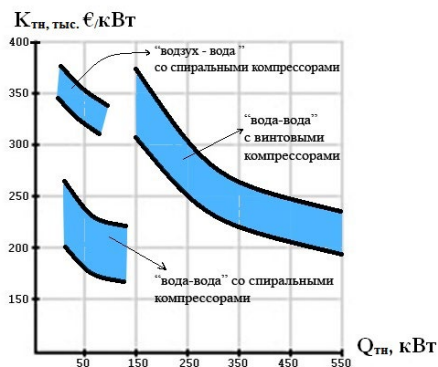


Рис.7. Зависимость объемов капитальных вложений на приобретение тепловых насосов от их типа и тепловой мощности

Затраты на устройство контуров отбора низкопотенциальной теплоты определяются видом НПИТ и местными условиями его использования. Например, затраты на устройство использования теплоты грунта на основе вертикальных теплообменников зависят от типа грунтов и составляют в среднем 25...30 €/м глубины зонда.

Величина ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение при применении тепловых насосов ($I_{тн}$) рассчитывается как сумма расходов на оплату за электрическую энергию ($I_{энерг}$), амортизационных отчислений (I_a), текущий ремонт ($I_{тек.ремонт}$) и обслуживание ($I_{обслуж.}$).

В расчетах $I_{энерг}$ используются данные о годовых расходах электрической и тепловой энергии, значения стоимости энергоресурсов, расходуемых для выработки тепловой энергии (электрической и тепловой энергии, топлива).

Для определения значений I_a могут применяться средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт теплоисточников, учитывающие срок службы основного оборудования, например $p_{рен.} = 4 \%$; $p_{кап.ремонт} = 4 \%$. Тепловые насосы как технологически совершенное оборудование имеют высокую конструктивную надежность, что обеспечивает их долговечность. Например, срок эксплуатации тепловых насосов с винтовыми компрессорами более 25 лет.

Значения $I_{\text{тек.ремонт}}$ определяются в % от амортизационных отчислений, которые учитывают нормативные технические требования и местные особенности эксплуатации теплоисточников, например $p_{\text{тек.ремонт}} = 10 \%$.

При определении расходов на обслуживание $I_{\text{обслуж.}}$ (включая сервисное производителей оборудования) необходимо учитывать, что все источники теплоснабжения на основе тепловых насосов работают в автоматизированном режиме и требуется только их периодическое обслуживание. Текущее контролирование параметров работы может быть поручено специалистам по обслуживанию сети отопления и электроснабжения жилых домов.

На предварительных стадиях рассмотрения экономической эффективности может быть применен метод экспресс-оценки. На рис. 8 приведены зависимости, позволяющие определить, при каких значениях тарифа на электрическую энергию, потребляемую тепловыми насосами с коэффициентом преобразования ϵ , и стоимости 1 тонны условного топлива (т у.т.), расходуемого на производство тепловой энергии альтернативными теплоисточниками с коэффициентом полезного действия $\eta_{\text{ти}}$, экономично применение тепловых насосов.

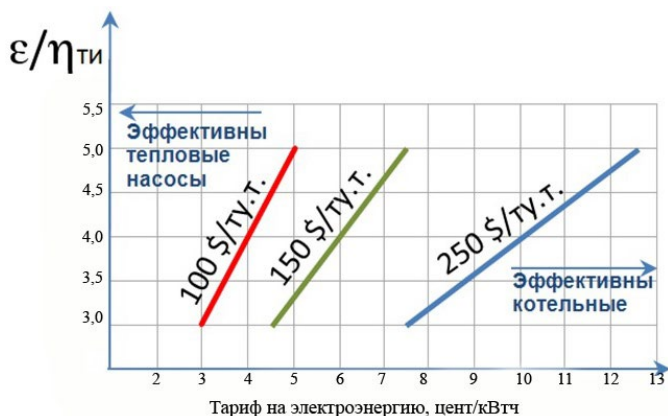


Рис. 8. Влияние тарифа на электрическую

энергию и стоимости топлива на эффективность применения тепловых насосов

Во всех приведенных подходах к определению эффективности применения тепловых насосов экономические показатели рассчитываются системно с учетом комплекса единовременных и текущих расходов, включая затраты на частичное изменение дворовых и внутридомовых инженерных

систем, в которые интегрируются тепловые насосы, а также ожидаемого экологического эффекта.

Экономические показатели тепловых насосов, устанавливаемых в районах централизованного теплоснабжения на основе котельных, повышаются при передаче в тепловую сеть избытков тепловой энергии, генерируемой тепловыми насосами в переходные и летний периоды года. Одновременно они обеспечивают резервирование теплоснабжения в периоды выполнения работ по профилактике тепловой сети.

При принятии решения о применении тепловых насосов следует также учитывать и другие стратегические преимущества источников теплоснабжения на их основе:

- экономическую устойчивость, так как обеспечивается меньшая зависимость от изменений цен на отдельные виды энергоресурсов и учитывается эффект диверсификации источников производства электрической энергии (когенерационные установки, АЭС);
- социальный фактор, стимулирующий экономию энергии в других сферах деятельности.

Применение тепловых насосов для теплоснабжения пилотного энергоэффективного жилого дома в г. Гродно

Проектируемый УП «ИНСТИТУТ ГРОДНОГРАЖДАНПРОЕКТ» энергоэффективный 120 квартирный 10-ти этажный жилой дом расположен на юго-восточном склоне площадки, осваиваемой под перспективную жилую застройку, по ул. Дзержинского в г. Гродно.

Инженерные условия района характеризуются следующими показателями:

- насыпной грунт мощностью от 1,0 до 2,4 м, ниже залегают супеси, суглинки пылеватые, пески разного гранулированного состава;
- грунтовые воды обнаружены на глубине 2,4...4,4 м. Возможно повышение уровня грунтовых вод на 1,0 м;
- в 25...30 м от жилого дома проходит канализационный коллектор d500, по которому отводится более 200 л/сек производственных и коммунально-бытовых сточных вод с температурой зимой 12...17 °С, летом – 17...22 °С;
- тепловая сеть системы централизованного теплоснабжения от ТЭЦ на расстоянии 100 м от пилотного дома;

- в 30 м от южного торца жилого дома проектируется ТП 10 / 0,4 кВ с трансформаторами 2 x 1000 кВА.

По данным проектной организации, расчетная нагрузка отопления при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{р.вн.}} = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 110 кВт и расчетная мощность системы горячего водоснабжения в отопительный период – 67,8 кВт, в не-отопительный период – 42 кВт. Тепловая нагрузка на нагрев приточного воздуха принята равной нулю, т.к. планируется за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха.

Источниками низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов могут быть грунт и сточные воды. Причем, отбор теплоты от грунта возможен только вертикальными теплообменниками (зондами) на скважинном поле, располагаемом на расстоянии около 10 м от северного торца пилотного жилого дома и теплообменниками, конструктивно залитых в сваи фундамента. Использование теплоты сточных вод не имеет технических ограничений.

С учетом приведенной оценки планировочных и инженерных условий альтернативными источниками теплоснабжения жилого дома можно рассматривать тепловые насосы и систему централизованного теплоснабжения района от ТЭЦ. Критериями выбора решения, рекомендуемого для проектирования, приняты максимум энергетической эффективности и минимум ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение.

Системный анализ ситуации, включающий температурные режимы наружного воздуха, значения энергетических и экономических показателей выработки тепловой энергии на ТЭЦ и тепловыми насосами и др. показал, что принятым критериям удовлетворяют варианты, в которых тепловые насосы рассчитываются на совместную работу с ТЭЦ. В структуре таких источников теплоснабжения планируется покрывать от ТЭЦ только пики отопительной нагрузки, которые равны 33 кВт при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (30 % от расчетной), а при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 20 кВт (около 18 % расчетной). В тепловом балансе на периоды с температурой ниже минус 10 $^{\circ}\text{C}$ приходится около 8 % всего потребления на отопление, а с температурой ниже 15 $^{\circ}\text{C}$ – только около 3 %.

Из рис. 2 следует, что энергетическая эффективность тепловых насосов повышается при снижении температуры теплоносителей, поступающих в систему отопления от тепловых насосов. Поэтому, для возможности системного анализа эффективности эксплуатации тепловых насосов в диа-

пазоне рабочих температур теплоносителей на выходе конденсаторов от 30 °С до 65 °С целесообразно применить пилотную систему отопления жилого дома с графиком 60 / 40 °С. Для такого графика при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температура теплоносителя в подающем трубопроводе около 52 °С, а при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – 47 °С.

В итоге для проектирования предложен вариант пилотного источника теплоснабжения, в котором тепловые насосы используют теплоту сточных вод городского коллектора и грунта от фундаментных свай и рассчитаны на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха минус 10 °С и выше и на нагрев до 45 °С воды для горячего водоснабжения жилого дома. Расчетная температура теплоносителей при $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$: на входе в испарители – 7 °С, на выходе конденсаторов – 47 °С. При температуре наружного воздуха ниже минус 10 °С температура теплоносителя системы отопления повышается по отопительному графику 60 / 40 °С за счет теплоты сетевой воды от ТЭЦ.

Структурная схема пилотного источника теплоснабжения жилого дома с указанием направлений тепловых потоков приведена на рис. 9.

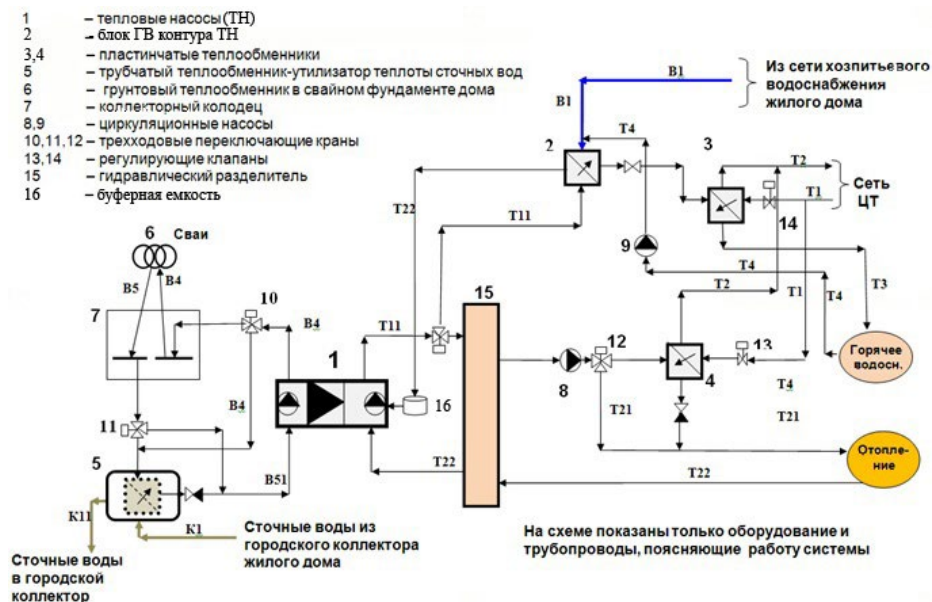


Рис. 9. Структурная схема пилотного источника теплоснабжения энергоэффективного жилого дома

Результаты расчетов технико-экономической эффективности отопления и горячего водоснабжения жилого дома от собственного пилотного источника на основе тепловых насосов, использующих теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора, и теплоснабжения по сети централизованного теплоснабжения только от ТЭЦ приведены в таблице 6.

Таблица 6. Сравнение источников теплоснабжения жилого дома по принятым критериям эффективности

Наименование источников теплоснабжения	Q год, Гкал	Расход первичного топлива, туг./год	Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год
Пилотный источник теплоснабжения (тепловые насосы + ТЭЦ)	623,4	55,2*	33,6***
ТЭЦ	623,4	105,0**	31,7****

Из табл.6 очевидна энергетическая эффективность применения пилотного источника теплоснабжения на основе тепловых насосов и практически одинаковые эксплуатационные расходы на теплоснабжение при действующих соотношениях стоимости 1 МВтч и 1 Гкал, потребляемой населением.

Можно рассчитывать, что при ожидаемом снижении тарифов на электрическую энергию, учитывающих энергетическую и экологическую эффективность применения тепловых насосов, эксплуатационные расходы на теплоснабжение будут снижаться. Предпосылками такого положения являются и возможности тепловых насосов, как потребителя-регулятора графика электрической нагрузки энергосистемы при вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС.

- * удельный расход топлива на выработку 1 кВтч (2013 год – 254,9 кг у.т.);
- ** удельный расход топлива на выработку 1 Гкал (2013 год – 168,4 кг у.т.);
- *** тариф на электроэнергию из энергосистемы, обеспечивающий полное возмещение экономических обоснованных затрат энергосистемы - 97,6 долл. США;
- **** тариф на тепловую энергию из городской тепловой сети (себестоимость) - 42,0 долл. США (2013 г.).

Проект Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» ставит своей целью снижение потребления энергии при строительстве и эксплуатации жилых зданий и соответствующее сокращение выбросов парниковых газов.

Основное внимание в проекте уделяется разработке и обеспечению эффективного внедрения новых методов проектирования жилых зданий и строительных норм, проектированию и строительству трех демонстрационных многоэтажных жилых зданий массовых серий, решению вопросов, связанных с сертификацией зданий по уровню энергоэффективности.

Национальным исполняющим агентством является Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь. Основными партнерами проекта выступают Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, ОАО МАПИД, УП «Институт Гродногражданпроект», Могилевский облисполком.

Сайт проекта: www.effbuild.by