

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

**Рекомендации по применению тепловых насосов в системах
централизованного отопления и горячего водоснабжения
энергоэффективных жилых домов**

Эксперт по вопросам внедрения
тепловых насосов в системах
теплоснабжения и горячего
водоснабжения в жилом секторе

И.С.Жидович

Минск
декабрь 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Источники низкопотенциальной теплоты	4
3. Выбор тепловых насосов и требования к их применению	7
4. Параметры систем отопления и горячего водоснабжения	9
5. Выбор структуры источников теплоснабжения на основе тепловых насосов	10
6. Размещение тепловых насосов и устройств контура низкопотенциальной теплоты ..	11
7. Расчет эффективности применения тепловых насосов	13

1. Общие положения

1.1. Рекомендации предназначены для специалистов проектных организаций, выполняющих работы по проектированию систем централизованного отопления и горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов с применением тепловых насосов в качестве источников теплоснабжения.

1.2. Объектами применения настоящих рекомендаций являются энергоэффективные многоквартирные жилые дома, оборудованные системами утилизации теплоты вытяжного воздуха квартир, расположенные в жилых районах городов.

1.3. При выборе источников теплоснабжения энергоэффективных жилых домов следует рассматривать как альтернативные варианты применения тепловых насосов, как собственного источника теплоснабжения, работающих в структуре местной котельной или совместно с источниками централизованного теплоснабжения.

1.4. Применение тепловых насосов как единственного источника теплоснабжения следует рассматривать преимущественно для теплоснабжения жилых домов до трех этажей.

1.5. Работа тепловых насосов в структуре местного источника теплоснабжения с котлами на природном газе планируется для жилых домов, расположенных в районах, не обеспеченных централизованным теплоснабжением.

1.6. При расположении жилых домов в районах централизованного теплоснабжения или с ограничениями в присоединении к тепловой сети, рекомендуется рассматривать варианты применения тепловых насосов, работающих совместно.

1.7. Участие тепловых насосов в покрытии расчетных тепловых нагрузок жилых домов и параметры теплоносителей в их контурах определяются технико-экономическими расчетами.

1.8. Тип местных источников теплоснабжения (отдельностоящие, пристроенные, крышные), место размещения, структура и мощности теплогенерирующего оборудования определяются по результатам градостроительного обоснования их применения.

1.9. При размещении тепловых насосов в подвалах и на крышах жилых домов рекомендуется применять парокompрессионные электроприводные тепловые насосы преимущественно со спиральными компрессорами.

1.7. Для источников теплоснабжения с тепловыми насосами должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению уровней звукового давления в соответствии с требованием ТКП 45-2.04-154-20090. Защита от шума».

1.8. При установке тепловых насосов с электрическим приводом компрессоров необходимо соблюдать требования ТКП45-4.04-149-2009. Система электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования.

1.9. Баки-аккумуляторы для систем горячего водоснабжения у потребителя следует проектировать в соответствии с ТКП 45-4.01-52 и ТКП 45-4.02-182.

1.10. Источниками низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов являются местные природные источники теплоты и вторичные тепловые ресурсы жилого дома, котельных, промышленных и коммунальных предприятий.

2. Источники низкопотенциальной теплоты

2.1. Источниками низкопотенциальной теплоты (НПИТ) 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. Возможно использование теплоты, теряемой наружными ограждениями зданий, при условии, что наружные стены, полы и перекрытия выполняются с воздушными теплоизолированными каналами, по которым циркулирует воздух.

Вид используемых НПИТ определяется градостроительными условиями расположения проектируемых жилых домов, их архитектурно-планировочными и конструктивными параметрами.

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

Их величины определяются по выражениям:

$$Q_{\text{НПИТ}}^p = G_{ij} \cdot \Delta t_{ij} \cdot C_i \cdot R_{ij}; \quad (2.1)$$

$$Q_{\text{НПИТ}}^{\text{год}} = \sum_j Q_{ij}^p \cdot n_{ij}; \quad (2.2)$$

где G_{ij} - объем ТВЭР i -го вида в j -ый период года;

Δt_{ij} - средняя за j -ый период года глубина охлаждения потока ТВЭР i -го вида;

C_i - теплоемкость потока ТВЭР i -го вида;

R_{ij} - коэффициент, характеризующий доступность утилизации ТВЭР i -го вида в j -ый период года;

n_{ij} - продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР i -го вида в j -ый период года.

2.3. Использование теплоты **вытяжного воздуха** целесообразно рассматривать при оборудовании жилых зданий централизованной системой вытяжной вентиляции как единственного источника теплоты, так и при соответствующем обосновании в комбинации с другими видами НПИТ (сточные воды, дымовые газы, наружный воздух).

2.4. **Наружный воздух** является самым распространенным и доступным НПИТ. Наружный воздух целесообразно использовать тепловыми насосами для круглогодичного горячего водоснабжения и отопления жилых домов в начале и окончании отопительного периода года.

Эффективность использования ограничена значительной амплитудой колебания температуры в течение суток, отопительного периода и года.

2.5. **Грунт** имеет высокую термическую устойчивость, которая повышается с глубиной. В среднем для условий республики годовая амплитуда температуры грунта на глубине 0,8 м около 5...10⁰С, глубине 1,5 м – 2...7⁰С.

Эффективность использования теплоты грунта зависит, главным образом, от его температурного режима в годовом цикле, состава, влажности и температуры воздуха.

2.6. В работах стратегического планирования и стадии технико-экономического обоснования можно принимать теплофизические параметры грунта по данным из

таблицы 2.1. На стадии строительного проекта в расчетах необходимо использовать данные о теплофизических параметрах грунта из местных пилотных скважин.

Таблица 2.1

Теплофизические параметры грунта

Тип грунта	Средний удельный вес, кг/м ³	Коэффициент теплоотдачи грунта, Вт/м	
		сухого	влажного
Торф		0,113	0,46
Глина	2710÷2760	0,138	0,879
Песчаная глина	2690÷2730	0,188	1,34
Мелкий песок	2700÷2740	0,193	1,633
Крупный песок	2680÷2720	0,197	1,717

2.7. Технически возможны системы отбора теплоты грунта с применением теплообменников из пластиковых труб разного диаметра: горизонтального исполнения с заглублением в грунт до 1,6 м (змейки, петли и др.) и вертикального – проложенного в целевых скважинах разной глубины (зонды) или в опорах фундаментов зданий.

В среднем для отбора 100 кВт теплоты для прокладки горизонтальных теплообменников требуется участок площадью около 2000 м², для вертикальных – до 20 скважин глубиной около 100 м с расстоянием между ними около 10 м.

2.8. **Подземные воды** являются НПИТ с относительно постоянным тепловым потенциалом. Их температура во многом зависит от местных условий и определяется глубиной залегания, расстоянием от поверхностных водотоков и др.

Эффективность использования теплоты грунтовых вод для теплоснабжения с применением тепловых насосов повышается, если одновременно обеспечивается водопонижение территории.

2.9. Данные о температуре, расходах и составе подземных вод должны быть уточнены в рамках гидрогеологического исследования площадки размещения проектируемого жилого дома или района. Например, в районе Бреста температура подземных вод на глубине 25 м составляет 8,7⁰С, глубине 50 м – 9,0⁰С, глубине 100 м – 9,5⁰С, глубине 125 м – 10,0⁰С.

2.10. **Поверхностные (речные и озерные) воды** являются исключительно местными источниками низкопотенциальной теплоты. При их использовании следует учитывать сезонную изменчивость объемов, чистоты и температурных режимов.

2.11. Отбор теплоты поверхностных вод принципиально возможен по двум схемам: забором воды и подачей по трубопроводу в теплообменник «вода-теплоноситель контура испарителя теплового насоса» или с применением погруженного теплообменника. В первой схеме охлажденная на 1,5..3⁰С вода возвращается в поток. В отопительный период температура поверхностных вод в придонном слое водотоков составляет около 4⁰С.

Решения об использовании теплоты воды непроточных водоемов должны подтверждаться расчетами их термического режима, учитывающие экологические ограничения.

2.12. В расчетах систем утилизации **теплоты сточных вод** следует учитывать, что сточные воды представляют собой полидисперсную жидкость с органическими и минеральными включениями.

2.13. Объемы и температура бытовых сточных вод зависит от уровня инженерного благоустройства жилого дома, температуры водопроводной воды, конструктивного исполнения и режимов работы внутридомовой канализационной сети. На выпусках зданий их температура изменяется в интервале от 15⁰С до 35⁰С при среднем суточном значении 24⁰С. Их поступление в наружную канализационную сеть неравномерно в течение суток и года. График отведения соответствует (с некоторым запозданием) графику водопотребления с характерными утренними и вечерними пиками и ночными провалами.

2.14. Допускается использование теплоты хозяйственно-бытовых и городских сточных вод в канализационной сети до уровня температур водопроводной воды, если при этом температура сточных вод, поступающей на сооружения биологической очистки будет не ниже установленных регламентами биологической очистки на местных очистных сооружениях.

2.15. Проблемы утилизации, обусловленной загрязненностью и биологической агрессивностью бытовых сточных вод, 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.

2.16. Минимальная температура охлажденных сточных вод рассчитывается с учетом возможного снижения транспортирующей способности потока и изменения режимов биологической очистки.

2.17. Параметры сточных вод после биологической очистки определяются требованиями приемника их использования или отведения в водоток.

2.18. Общие условия использования некоторых видов НПИТ приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Условия использования некоторых видов НПИТ

Вид НПИТ	Располагаемый тепловой потенциал	Температура, °С		Схема 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	От плюс 35 ⁰ С до минус 30 ⁰ С	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

2.19. Расчетный тепловой потенциал НПИТ должен быть не менее 65% теплопроизводительности тепловых насосов.

Во всех случаях, чем стабильнее в течение суток тепловой поток низкопотенциальной теплоты и выше его температура, тем эффективнее применение тепловых насосов.

3. Выбор тепловых насосов и требования к их применению

3.1. Тип и количество тепловых насосов, их мощность зависит от структуры тепловой нагрузки жилого здания, типа и параметров систем отопления и горячего водоснабжения, параметров НПИТ.

3.2. Рекомендуется применение электроприводных тепловых насосов типа «рассол-вода», «вода-вода» и «воздух-вода», не требующих больших помещений для размещения и имеющих низкие шумовые характеристики. Это агрегатированные тепловые насосы, преимущественно со спиральными компрессорами теплопроизводительностью до 100 кВт, которые могут работать как автономно, так и совместно с другим теплогенерирующим оборудованием.

3.3. Общие сведения об электроприводных тепловых насосах со спиральными и винтовыми компрессорами, рекомендуемые для применения в качестве источников теплоснабжения многоквартирных жилых домов, приведены в таблице 3.1, а в таблице 3.2 – основные параметры их рабочих агентов.

Таблица 3.1

Общие сведения о тепловых насосах

Типы тепловых насосов	Виды используемых НПИТ	Диапазон рабочих температур теплоносителей, °С		Теплопроизводительность, кВт	Место размещения
		НПИТ	на выходе конденсаторов		
«Воздух-вода»	Вытяжной воздух, наружный воздух, дымовые газы	До минус 25	До плюс 65	До 150 кВт	Отдельно стоящие, пристроенные и на крышах
«Рассол-вода»	Грунт, сточные воды, поверхностных источников	До минус 5	“-“	до 650 кВт	Отдельно стоящие, пристроенные, встроенные (до 100 кВт)
«Вода-вода»	Подземные воды, обратная вода	До плюс 20	“-“	до 1000 кВт	Отдельно стоящие, пристроенные, встроенные (до 100 кВт)

Таблица 3.2

Основные параметры рабочих агентов

Виды рабочих агентов	Потенциал GWP	Критическая точка, °С	Температура кипения, °С
R410A	1720	72	Минус 51
R407C	1520	87	Минус 44
R134a	1200	101	Минус 26
R290 (пропан)	3	97	Минус 42

3.4. Расчеты по выбору количества и единичной мощности тепловых насосов следует выполнять только по данным, подтвержденным заводами-изготовителями тепловых насосов или их представителями в Республике Беларусь.

3.5. Тепловые насосы целесообразно применять для работы в бивалентном режиме и их тепловую мощность рассчитывать на покрытие от 60% до 75 % расчетной отопительной нагрузки, определяемой с учетом возможного увеличения тепловой нагрузки на отопление в первый год эксплуатации жилых домов.

3.6. При укрупненных расчетах теплопроизводительность тепловых насосов в системах утилизации ТВЭР ($Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}$, кВт и $Q_{\text{ТН}}^{\text{год}}$, Гкал) при покрытии ими тепловых нагрузок различных видов определяется из соотношений:

- отопительной нагрузки

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (3.1) \quad Q_{\text{ТН}}^{\text{год}} = 1,33 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{год}} \quad (3.2)$$

- нагрузки горячего водоснабжения

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (3.3) \quad Q_{\text{ТН}}^{\text{год}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{год}} \quad (3.4)$$

- при передаче теплоты в системы централизованного теплоснабжения

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (3.5) \quad Q_{\text{ТН}}^{\text{год}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{год}} \quad (3.6)$$

3.7. Потребляемая мощность компрессора теплового насоса ($P_{\text{ТН}}$, кВт) и годовой расход электрической энергии ($\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\text{год}}$, МВт·ч) на выработку теплоты $Q_{\text{ТН}}^{\text{год}}$ определяются соотношениями:

$$P_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ВЭР}}^{\text{P}}; \quad (3.7) \quad \mathcal{E}_{\text{ТН}} = 1,163 (Q_{\text{ТН}}^{\text{год}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{год}}). \quad (3.8)$$

3.8. Для максимального использования теплопроизводительности тепловых насосов, большую управляемость и экономичность работы рекомендуется их включение по каскадной схеме.

Как правило, рекомендуется параллельная схема соединения контуров испарителей и конденсаторов тепловых насосов в каскаде.

3.9. Тепловая мощность каскада регулируется путем включения/отключения ступеней входящих в него тепловых насосов. Управляет процессом автоматика ведущего (головного) теплового насоса по датчику температуры наружного воздуха или температуры внутри показательного помещения.

3.10. Температура теплоносителя на выходе конденсаторов каскада может изменяться от 35⁰С до 65⁰С по графику качественного регулирования по кривой нагрева, представляющей зависимость температуры подачи от температуры наружного воздуха.

Независимо от температурного графика системы отопления, при переключении тепловых насосов на нагрузку горячего водоснабжения температура теплоносителя на выходе конденсаторов устанавливается равной 55⁰С.

3.11. Температуру и качество теплоносителей в контурах испарителей и конденсаторов тепловых насосов следует принимать на основании технико-экономических расчетов с учетом технических и экологических ограничений.

3.12. Температура кипения и конденсации рабочих агентов определяется в увязке с параметрами теплоносителей в контурах испарителей и конденсаторов тепловых насосов.

3.13. Максимальная/максимальная допустимая температура теплоносителей в испарителе и конденсаторе определяется видом рабочего агента и типом компрессоров.

3.14. Расчетный перепад температур в испарителях и конденсаторах принимается по паспортным данным тепловых насосов, но не должен быть менее $2,5^{\circ}\text{C}$.

3.15. Принятый при выборе мощности тепловых насосов температурный график отпуска теплоты рекомендуется уточнять и корректировать при наладке и в процессе эксплуатации тепловых насосов.

3.16. В контурах тепловых насосов следует устанавливать циркуляционные насосы класса А, изменяющие автоматически/вручную расходы теплоносителей для достижения оптимальной разности температур потока через конденсатор.

3.17. Расходы теплоносителей и производительность циркуляционных насосов выбираются в увязке с результатами гидравлических расчетов контуров источника низкопотенциальной теплоты и систем отопления.

3.18. В стесненных условиях целесообразно применение тепловых насосов со встроенными циркуляционными насосами.

3.19. При заправке контура испарителей рассолом его температуру замерзания следует принимать не ниже минус 10°C .

3.20. Тепловые насосы по надежности электроснабжения относятся к электроприемникам 2-ой категории.

3.21. Расчетной для выбора сети электроснабжения является мощность, потребляемая одновременно тепловыми насосами и другим электропотребляющим оборудованием в период максимальной тепловой нагрузки жилого дома.

3.22. Сечение кабельных линий и защитное оборудование выбирается с учетом паспортных значений $\cos \varphi$ тепловых насосов и установкой в них блоков «мягкий пуск».

3.23. Для обеспечения надежности работы тепловые насосы должны быть оборудованы отдельным выключателем замыкания на землю и устройствами контроля напряжения питающей сети и отключения при аварийных ситуациях в сети электроснабжения.

3.24. Микропроцессор тепловых насосов должен иметь опции управления через Интернет или GSM.

4. Параметры систем отопления и горячего водоснабжения

4.1. При выборе параметров систем отопления и горячего водоснабжения от источников теплоснабжения на основе тепловых насосов следует учитывать их технические возможности и требования к экономичности генерирования тепловой энергии.

4.2. При применении тепловых насосов, работающих как единственный источник теплоснабжения, температура теплоносителей в сети отопления и горячего водоснабжения ограничена 65°C .

4.3. Температурные графики систем отопления устанавливаются стыкуемыми расчетами параметров тепловых насосов и систем отопления, т.к. чем ниже температура в сети отопления, тем выше экономичность применения тепловых насосов, но больше затраты на устройство систем отопления.

4.4. Принимаемые при проектировании схемы и конструкции систем отопления должны обеспечивать максимальную их энергетическую эффективность и управляемость.

Лучше всего этим требованиям соответствуют низкотемпературные системы отопления с количественным регулированием у потребителей и качественным на теплоисточниках с применением насосного оборудования класса Е.

4.5. Для повышения экономичности горячего водоснабжения целесообразно рассматривать варианты горячего водоснабжения с расчетной температурой горячей воды равной 45⁰С.

Санитарно-гигиенические требования к температуре горячей воды, требуемые для мытья посуды, могут быть обеспечены установкой местных электроводонагревателей, применение которых, учитывая эпизодический характер процесса, не потребует их учета как дополнительной электрической нагрузки. Известно, что для эмульсирования и удаления жиров необходима температура воды не менее 70⁰С, чего не обеспечивают существующие системы.

4.6. Для сглаживания неравномерности суточного потребления горячей воды в системе горячего водоснабжения рекомендуется установка баков-аккумуляторов горячей воды.

4.8. Применяемое в системах утилизации теплоты сточных вод оборудование должно исключать возможность контакта сточных вод с водой питьевого качества во всех режимах эксплуатации.

5. Выбор структуры источников теплоснабжения на основе тепловых насосов

5.1. Структура, параметры и режимы работы источников теплоснабжения на основе тепловых насосов должны выбираться с учетом максимального использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов.

5.2. Выбор проектного решения и используемых НПИТ определяется на основании теплогидравлических и технико-экономических расчетов с учетом параметров всех стыкуемых инженерных систем жилого дома.

5.3. Источник теплоснабжения следует проектировать из двух и большего числа видов теплогенерирующего оборудования, в том числе не менее двух тепловых насосов.

Допускается применять один тепловой насос с несколькими компрессорами.

5.4. При совместной работе тепловых насосов и системы централизованного теплоснабжения на основе котельных целесообразно рассматривать возможность передачи избытков тепловой энергии, генерируемой тепловыми насосами, в сеть централизованного теплоснабжения.

5.5. Проектируемое оборудование и трубопроводы источника теплоснабжения должны быть интегрированы в действующие инженерные системы района размещения проектируемого жилого дома с минимально необходимыми объемами их реконструкции.

5.6. При использовании тепловых вторичных энергетических ресурсов коммунальных и промышленных предприятий выбор тепловых насосов должен выполняться с учетом перспективных планов технического перевооружения этих предприятий.

5.7. Источники теплоснабжения «сеть централизованного теплоснабжения + тепловые насосы» могут состоять из тепловых насосов «воздух-вода», использующих теплоту наружного воздуха (вариант А), тепловых насосов «рассол - вода», использующих теплоту грунта (вариант Б) или сточных вод проектируемого жилого дома (вариант В).

Теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается:

- по вариантам А и В – только на покрытие среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения с догревом горячей воды теплоносителем тепловой сети централизованного теплоснабжения;
- по варианту Б – на покрытие среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения и базовой части отопительной нагрузки, составляющей от 60% до 75 % ее расчетного значения.

Тепловые насосы «воздух-вода» размещаются преимущественно на крышах, «рассол-вода» – в технических подпольях зданий.

5.8. Источники теплоснабжения «местная котельная + тепловые насосы», как правило, комплектуются газовыми котлами, тепловыми насосами типа «рассол-вода», «вода-вода» «воздух-вода».

Тепловые насосы «рассол-вода» и «вода-вода», использующие теплоту грунта, городских сточных вод, поверхностных и подземных вод, рекомендуется рассчитывать на покрытие среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения и базовой части отопительной нагрузки, котлов на природном газе – пиков отопительной нагрузки и горячего водоснабжения.

Тепловые насосы «воздух-вода» в структуре местного источника теплоснабжения используют в качестве источника низкопотенциальной теплоты наружный воздух и дымовые газы и рассчитываются на круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения. Котлы на природном газе, котлов на природном газе – только отопительной нагрузки.

5.9. Все источники теплоснабжения с местными котельными должны быть оборудованы баками-аккумуляторами горячей воды.

5.10. Для всех рассмотренных в п. 5.7 и 5.8 источников теплоснабжения тепловые мощности и параметры теплоносителей в контурах тепловых насосов должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами с учетом технических и экологических ограничений.

6. Размещение тепловых насосов и устройств контура низкопотенциальной теплоты

6.1. Тепловые насосы должны размещаться преимущественно на свободных площадях максимально приближено к природным источникам низкопотенциальной теплоты и тепловым вторичным энергетическим ресурсам. Габариты и шумовые характеристики оборудования должны допускать его размещение в подвалах, желательно в помещениях, стыкуемых с тепловым узлом жилых домов.

6.2. Исходными данными для выбора мест размещения тепловых насосов и устройств контура низкопотенциальной теплоты является проект детального планирования жилого района, план застройки, архитектурно-планировочные и конструктивные решения

отдельных фрагментов дома (крыша, чердачные помещения, подвал и др.), расположение тепловых узлов, трубопроводов водоснабжения и канализации.

Определяющими являются требования обеспечения надежности, экономичности строительства и эксплуатации жилого дома, а также способы используемого источника низкопотенциальной теплоты.

6.3. В зависимости от мест присоединения трубопроводов обвязки тепловые насосы могут устанавливаться в линию около стенки или на расстояниях, необходимых для обслуживания.

6.4. Если габариты устанавливаемого оборудования больше размеров дверных проемов, следует предусматривать монтажные окна. Высота помещений должна быть не менее 2,5 м.

6.5. Помещения с тепловыми насосами, размещаемые на крышах и верхних технических этажах, должны иметь эвакуационный выход на лестничную клетку.

6.6. При размещении тепловых насосов и котлов на природном газе на крышах дома в их помещениях следует предусматривать легкобросываемые ограждающие конструкции.

Ограждающие конструкции должны выбираться с учетом негативного эффекта многократного отражения звуковых волн.

6.7. Для исключения передачи вибрации на здание и трубы при работе компрессоров тепловые насосы необходимо устанавливать на специальных виброизолирующих основаниях (ножки, прокладки и др.), а трубопроводы присоединять через гибкие демпфирующие вставки.

6.8. Теплообменники горячей воды и баки-аккумуляторы горячей воды полной заводской готовности устанавливаются на гладких бетонных основаниях.

6.9. Для возможности утилизации теплоты «серых» сточных вод (от ванн, умывальников, кухонь) рекомендуется создание двухтрубной внутридомовой системы канализации. Сточные воды после туалетов отводятся непосредственно в наружную канализационную сеть.

6.10. Допускается размещать в подвалах домов компактные установки утилизации теплоты сточных вод, включающие герметичные резервуары-усреднители неравномерности отведения сточных вод.

6.11. При утилизации теплоты городских сточных вод следует рассматривать варианты размещения тепловых насосов на дворовой территории в блоке с тепловыми пунктами и другими сооружениями инженерной инфраструктуры: насосными станциями перекачки воды и сточных вод, трансформаторными подстанциями, объединяя их в единый энергетический узел.

7. Расчет эффективности применения тепловых насосов

7.1. Целесообразность применения тепловых насосов в сравнении с другими вариантами теплоснабжения жилых домов определяется по трем критериям:

- энергетическому (требования Министерства энергетики и Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации) - расходу первичного топлива (эффект для государства);
- экологическому – выбросам в атмосферу загрязняющих веществ;
- экономическому – приведенным затратам (для объектов нового строительства) и величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение (эффект для потребителей).

7.2. За основу расчета годовых расходов первичного топлива (в условных единицах) принимаются данные Министерства энергетики Республики Беларусь о значениях удельных расходов топлива на выработку электрической и тепловой энергии в энергосистеме и других местных энергоисточников.

7.3. Энергетическая эффективность применения тепловых насосов рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива ($\Delta B, \%$), определяемой по выражению

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ти}} \eta_{\text{тс}} / \eta_{\text{эи}} \eta_{\text{эс}} \varepsilon)] \cdot 100, \quad (7.1)$$

где $\eta_{\text{ти}}$ – КПД действующего источника теплоснабжения, $\eta_{\text{тс}}$ – КПД тепловой сети, $\eta_{\text{эи}}$ – КПД источника электрической энергии, $\eta_{\text{эс}}$ – КПД передачи и трансформации электрической энергии, ε – среднеотопительный/среднегодовой коэффициент преобразования теплового насоса.

7.4. Показателем, определяющим энергетическую эффективность тепловых насосов, является при покрытии только отопительной нагрузки – среднеотопительный $\varepsilon_{\text{ср.от.}}$, а при покрытии отопительной нагрузки и горячего водоснабжения – среднегодовой $\varepsilon_{\text{ср.год}}$.

7.5. Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты тепловыми насосами определяется по формуле:

$$W_{\text{тн}}^{\text{год}} = Q_{\text{тн}}^{\text{от. периода}} / 0,86 \times \varepsilon_{\text{тн}}^{\text{зим}} + Q_{\text{тн}}^{\text{лет}} / 0,86 \times \varepsilon_{\text{тн}}^{\text{лет}},$$

где $Q_{\text{тн}}^{\text{год}}$ – годовая выработка теплоты тепловыми насосами, Гкал

$\varepsilon_{\text{тн}}$ – средний за рассматриваемые периоды года коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты для выработки теплоты

7.6. При определении $\varepsilon_{\text{тн}}$ необходимо учитывать, что выработка теплоты тепловым насосом для покрытия отопительной нагрузки осуществляется по графику качественного регулирования, т.е. со снижением температуры теплоносителя при снижении тепловой нагрузки.

7.7. Годовой расход электрической энергии на работу циркуляционных насосов контуров тепловых насосов по предпроектных стадиях работ можно определять по формуле:

$$W_{\text{цирк.нас.тн}} = (0,08 \dots 1,0) W_{\text{тн}}^{\text{год}},$$

7.8. Экономическая оценка эффективности применения тепловых насосов для объектов нового строительства в сравнении с альтернативным источником выполняется по

методу приведенных затрат и величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение.

7.9. С помощью метода приведенных затрат соизмерение значений экономических показателей для альтернативных вариантов осуществляется выражением

$$Z_a = P_b K_a + I_a,$$

где Z_a - величина приведенных затрат на сооружение источника теплоснабжения;

P_b - средний банковский процент;

I_a - ежегодные эксплуатационные расходы;

K_a - суммарные капитальные вложения на сооружение источников теплоснабжения.

Оптимальный вариант выбирается по меньшей величине приведенных затрат Z_a .

7.10. Экономические показатели рассчитываются с учетом комплекса единовременных и текущих расходов непосредственно на теплоснабжение, а также ожидаемого экологического эффекта. В частности, рекомендуется включать затраты на частичное изменение дворовых и внутридомовых инженерных систем, в которые интегрируются тепловые насосы, а также величину экономического ущерба от выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива (экологические преимущества тепловых насосов).

7.11. Ежегодные эксплуатационные расходы определяются по уравнению

$$I_{\Sigma} = I_{\text{энерг.}} + I_a + I_{\text{тек.рем.}} + I_{\text{обслуж.}},$$

где $I_{\text{энерг.}}$ - затраты на оплату за электрическую энергию;

I_a - амортизационные отчисления, равные сумме отчислений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт,

$I_{\text{тек.рем.}}$ - затраты на текущий ремонт;

$I_{\text{обслуж.}}$ - расходы на обслуживание.

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

7.13. 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 $p_{\text{рен.}} = 4\%$; $p_{\text{кап. ремонт}} = 4\%$.

7.14. Расчет значений I_a для различных вариантов выполняется из соотношения

$$I_a = (p_{\text{рен.}} + p_{\text{кап. ремонт}}) K$$

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

7.16. Величина $I_{\text{тек. ремонт}}$ для различных вариантов определяется из соотношения

$$I_{\text{тек. ремонт}} = p_{\text{тек. ремонт}} I_a.$$

7.17. При определении расходов на обслуживание $I_{\text{обслуж.}}$ (включая сервисное производителей оборудования) необходимо учитывать, что тепловые насосы работают в автоматизированном режиме и не требуют постоянного присутствия персонала. Периодическое контролирование параметров работы может быть поручено специалистам по обслуживанию сети отопления и электроснабжения здания.

7.18. На предварительных стадиях рассмотрения экономической эффективности применения тепловых насосов могут быть применены методы экспресс-оценки, основанные на сравнении значений коэффициента преобразования теплового насоса ($\epsilon_{\text{ТН}}$) и коэффициента полезного действия традиционного теплоисточника на органическом топливе ($\eta_{\text{кот}}$), стоимости органического топлива и тариф на электрическую, потребляемую тепловыми насосами.

7.19. Экологическая эффективность применения тепловых насосов складывается из сокращения выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами.

Расчеты экологических показателей, включающие экономическое стимулирование применения экологически чистых технологий, определяются по известным методикам Министерства природных ресурсов.

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

- экономическую устойчивость, так как обеспечивается меньшая зависимость от изменений ценовой политики на энергоресурсы (при ожидаемом их росте);
- социальный фактор, стимулирующий экономию энергии в других сферах деятельности.