ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154
«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

(прединвестиционная стадия)

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

И. С. Жидович

Минск- 2016

**СОДЕРЖАНИЕ**


ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 3

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 3

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 4

ПРЕДИСЛОВИЕ 6

1. Особенности процесса проектирования теплонасосных установок 8
2. Параметры теплоносителя в сети отопления и горячего водоснабжения от теплонасосных установок 15
3. Источники низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов 17
4. Устройства отбора и трансформации потоков низкопотенциальной теплоты 23
5. Структурирование теплонасосных установок, выбор основного оборудования и расчет энергетических потоков 43
6. Технологические схемы поливалентных источников отопления и горячего водоснабжения с теплонасосными установками 57
7. Особенности размещения оборудования теплонасосных установок 64
8. Обоснование проектного решения и эффективности применения теплонасосных установок для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий 68

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 75

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 76

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящее Пособие распространяется на проектирование теплонасосных установок в составе источников отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных[1] многоэтажных жилых зданий. Основное внимание уделено вопросам, чаще всего возникающим на предпроектных стадиях проектирования теплонасосных установок.

Пособие предназначено для инвесторов, специалистов проектных и научно-исследовательских организаций градостроительного профиля, студентов архитектурно-строительных и энергетических факультетов технических ВУЗов.

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

| | |
|---|---|
| ТКП 45-1.02-298-2014 | Строительство. Предпроектная (прединвестиционная) документация состав, порядок разработки и утверждения |
| ТКП 45-1.02-295-2014 | Строительство. Проектная документация. Состав и содержание. |
| ТКП 45-3.01-294-2014 | Градостроительный паспорт земельного участка. Состав и порядок разработки |
| СНБ 3.02.04-03 | Жилые здания |
| ТКП 241-2010 (02230) | Порядок разработки технико-экономического обоснования выбора схем теплоснабжения при строительстве и реконструкции объектов |
| ТКП 45-4.02-204-2010 | Схемы теплоснабжения населенных пунктов. Правила разработки |
| СНиП II-35-76 Изм. № 2 и №7 | Котельные установки |
| П1-03 к СНиП II-35-76 | Проектирование автономных и крышных котельных |
| ТКП 45-4.02-183-2009 | Тепловые пункты |
| ТКП 45-4.02-182-2009 | Тепловые сети. Строительные нормы проектирования |
| ПУЭ | Правила устройства электроустановок |
| ТКП 45-2.04-196-2010 | Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики |
| ТКП 45-2.04-43-2006 | Строительная теплотехника |
| СНБ 2.04.02-2000 | Строительная климатология |
| СНБ 4.02.01-03 | Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха |
| ТКП 45-4.04-149-2009 | Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования |
| ТКП 45-4.01-54-2007 | Системы внутренней канализации зданий. Строительные нормы проектирования |
| ТКП 45-4.01-52-2007 | Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования |
| ТКП 45-4.01-32-2010 | Наружные водопроводные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования |
| ТКП 45-4.01-53-2012 | Системы канализации населенных пунктов. Основные положения и общие требования. Строительные нормы проектирования |
| ТКП 45-4.01-262-2012 | Очистные сооружения сточных вод. Правила проектирования |
| П3-02 к СНБ 1.03.02-96 | Состав и порядок разработки раздела «Охрана Окружающей среды» в проектной документации |
| ТКП 45-2.04-154-2009 | Защита от шума. Строительные нормы проектирования |

[1] в рассматриваемых энергоэффективных жилых зданиях тепловая нагрузка на вентиляцию принята равной нулю, т.к. ее покрытие предусматривается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха с применением электродоводчиков

## ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ[2]

***Предпроектная (прединвестиционная) документация*** – комплект документов с результатами исследований, предшествующих принятию инвестором (заказчиком) решения о строительстве объекта, включающих технико-экономическое обоснование инвестиций и задание на проектирование.

***Энергоэффективное здание –*** здание, в котором энергетические потребности удовлетворяются при минимальном использовании первичных энергетических ресурсов.

***Теплоустойчивость здания*** – способность здания сохранять относительное постоянство температуры воздуха в помещениях при колебаниях наружного воздуха.

***Точечная застройка*** – размещение новых объектов в застроенном жилом квартале с инженерной инфраструктурой.

***Инженерная инфраструктура*** – совокупность инженерных сооружений и коммуникаций (электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, канализации, телекоммуникаций и др.), обеспечивающих благоприятные санитарно-гигиенические и геофизические условия проживания населения.

***Энергетические ресурсы –*** запасы энергии, которые могут быть использованы или преобразованы существующей техникой.

***Энергетические ресурсы первичные*** –природные энергоресурсы, которые не переработаны или преобразованы (уголь, сланцы, газ, нефть).

***Энергетические ресурсы возобновляемые*** – ресурсы, энергия которых восстанавливается (солнце, гидроэнергия, энергия ветра, геотермальная энергия).

***Вторичные тепловые ресурсы*** – носители тепловой энергии, образующиеся в ходе производства, которые могут быть повторно использованы для получения энергии вне основного технологического процесса.

***Энергоноситель –*** ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, предварительно переработанный, облагороженный, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии.

***Рациональное использование энергии –*** расходование энергии наиболее целесообразным путем.

***Энергоэффективность –*** комплекс мер для обеспечения рационального использования энергетических ресурсов.

***Класс энергетической эффективности*** – характеристика теплогенерирующего оборудования, отражающая его энергетическую эффективность.

***Парниковые газы*** - газы, которые задерживают инфракрасное излучение земной поверхности и атмосферы, что приводит к глобальному потеплению на планете, и подпадают под действие Киотского протокола.

***Сокращение выбросов*** - уменьшение объема антропогенных выбросов парниковых газов в результате целенаправленной деятельности по сокращению объемов выбросов.

***Источник теплоснабжения (теплоисточник)*** – энергоустановка, предназначенная для производства тепловой энергии.

***Бивалентный источник теплоснабжения*** – теплоисточник, использующий для выработки тепловой энергии два взаимодополняющих вида теплогенерирующего оборудования.

***Поливалентный источник теплоснабжения*** – теплоисточник, использующий для выработки тепловой энергии более двух видов теплогенерирующего оборудования.

***Теплопроизводительность*** – количество тепловой энергии, выработанной в единицу времени.

***Тепловой потенциал –*** параметр, оценивающий возможность использования источника энергии (в единицах теплоты).

***Источники низкопотенциальной теплоты (НПИТ)*** – природные ресурсы (воздух, вода, грунт и др.) или вторичные тепловые ресурсы (сточные воды, оборотные воды, вытяжной воз-

---

[2] - использованы материалы различных источников

дух и др.), использование которых технически возможно с применением современных технических средств.

***Использование низкопотенциальной теплоты –*** получение полезной теплоты из подведенной от источников низкопотенциальной теплоты с применением технических средств.

***Тепловой насос (ТН)*** – теплогенерирующее оборудование, в котором с затратами энергии происходит трансформация подводимой теплоты с относительно низкой температурой в теплоту с более высокой температурой.

***Тепловой насос парокомпрессионный (ПТН)*** – тепловой насос с электрическим приводом компрессоров, в котором трансформация подводимой теплоты по циклу Карно.

***Теплонасосная установка (ТНУ) –*** тепловой насос с контурами отбора низкопотенциальной теплоты (контур испарителя) и передачи произведенной теплоты в контуры ее потребления (контур конденсатора).

***Расчетный коэффициент трансформации теплового насоса (COP)*** – показатель эффективности теплового насоса с заданными параметрами теплоносителей, рассчитанный как частное произведенной им в расчетных условиях тепловой энергии к затраченной электрической энергии.

***Среднегодовой/средний за сезон коэффициент трансформации теплового насоса (SPF)*** – показатель годовой/сезонной эффективности теплового насоса, рассчитанный как частное произведенной им в течение года/сезона тепловой энергии к затраченной для этого электрической энергии.

***Среднегодовой/ средний за сезон коэффициент энергетической эффективности теплонасосной установки*** – показатель годовой эффективности теплонасосной установки, рассчитанный как частное произведенной ею в течение года/сезона тепловой энергии к затраченной для этого электрической энергии.

***Гелиоколлектор (ГК)*** – устройство для преобразования энергии солнечной радиации в тепловую энергию.

***Система теплопотребления* здания –** комплекс, включающий системы отопления, системы вентиляции и горячего водоснабжения жилого здания.

***Городская система теплоснабжения –*** **с**овокупность взаимосвязанных энергоустановок, тепловых сетей, оборудования, устройств и сооружений, осуществляющих теплоснабжение городских потребителей

***Теплоноситель*** – среда, которая используется для передачи теплоты.

***Тепловой узел*** – комплекс устройств, предназначенных для присоединения систем теплопотребления к тепловой сети с целью управления ими и обеспечения соответствующего режима теплопотребления.

***Зона теплоснабжения*** – комплекс тепловых сетей и сетевых объектов, подключенных к теплоисточнику.

***Режим теплоснабжения (теплопотребления)*** – отпуск (потребление) тепловой энергии в количестве и с качеством в соответствии с температурным графиком.

***Температурный график*** – график зависимости температур воды в подающих и обратных трубопроводах от температуры наружного воздуха.

***Теплоноситель*** – жидкое или газообразное вещество, применяемое для передачи тепловой энергии.

***Тепловой поток –*** движение теплоносителя.

***Антифриз*** – теплоноситель с температурой замерзания ниже, чем у воды.

***Клапан двухходовой регулирующий –*** управляемый исполнительным механизмом регулирующий орган, предназначенный для изменения расхода рабочей среды.

***Клапан трехходовой /четырехходовой регулирующий –*** управляемый исполнительным механизмом регулирующий орган, предназначенный для разделения или смешивания регулируемых потоков теплоносителей.

***Потери энергии у потребителя –*** разность между подведенной и полезной энергией.

***Расход теплоносителя*** − масса (объём) теплоносителя, прошедшего через поперечное сечение трубопровода за единицу времени.

***Исполнительная документация*** – откорректированный проектный комплект чертежей и приёмно-сдаточная документация (акты, сертификаты, паспорта и т.п.).
***Режим наладки*** – режим работы оборудования, целью которого является проверка соответствия технических характеристик оборудования проектной документации и требованиям, инструкций завода-изготовителя.
***Инструкция по эксплуатации*** – документ, в котором изложены сведения, необходимые для эксплуатации оборудования, установки или системы в заданных режимах.
***Введение в эксплуатацию*** – событие, которое фиксирует готовность оборудования, установки или системы к использованию по назначению.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Планы по реализации Комплексной программы жилищного строительства в Республике Беларусь, предусматривающие переход к возведению энергоэффективных зданий, и принятые нормативные акты стимулировали новые подходы к инженерному обеспечению многоэтажной жилой застройки и, в первую очередь теплоснабжению как энергетически и экономически более затратной части.

Это обусловлено тем, что при застройке энергоэффективными жилыми домами меньше плотность тепловых нагрузок, следовательно, ниже экономичность централизованного теплоснабжения. Очевидны и сложности присоединения многоэтажных жилых зданий, располагаемых в сложившихся районах, к существующим тепловым сетям, в т. ч. из-за изношенности сетей и оборудования на источниках централизованного теплоснабжения.

Как альтернативное решение проектными организациями предлагается, а из соображений экономии затрат на строительство застройщикам становится выгодным создавать местные теплоисточники (крышные котельные, квартирные теплогенераторы и др.) даже при расположении жилых домов в районах теплоснабжения от теплоисточников энергосистемы (далее -ТЭЦ и РК).

В этих условиях актуально рассмотреть техническую возможность и эффективность применения в качестве теплоисточников парокомпрессионных тепловых насосов с электрическим приводом компрессоров, активно учитывающих местные условия и ожидаемые изменения в топливно-энергетическом балансе республики. Их основное отличие от теплоисточников на органическом топливе – в энергетических и экологических преимуществах за счет использования для выработки тепловой энергии местных ресурсов низкопотенциальной теплоты (далее - НПИТ) и электрической энергии. Причем тепловые насосы являются не альтернативой, а эффективным дополнением централизованному теплоснабжению, обеспечивая при этом более высокий уровень надежности и управляемости теплоснабжением, который присущ системам электроснабжения. Очевидны местные экологические и социальные преимущества их применения.

Однако несмотря на доступный теоретический задел, примеры применения тепловых насосов для теплоснабжения многоэтажных зданий в Республике отсутствуют. К сдерживающим факторам надо отнести неосведомленность инвесторов (застройщиков) в их технических возможностях и экологических преимуществах, а также недостаточно активную позицию проектных организаций. Отчасти это обусловлено необходимостью более детального анализа местных условий и ответственного взаимодействия специалистов стыкуемых специальностей уже на начальном этапе проектирования, что неизбежно

усложняет процесс проектирования, увеличивает время принятия проектных решений при отсутствии экономических стимулов. Возможные при этом ошибки в выборе схемных решений, параметров и режимов работы тепловых насосов и другого теплогенерирующего оборудования в составе местных источников теплоснабжения могут привести к неоправданным финансовым потерям и дискредитации применения тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий.

Вместе с тем до настоящего времени в Республике не выполнена систематизация теоретических разработок и отсутствуют доступные методические материалы для проектирования энергоэффективных источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий с применением теплонасосных установок (далее - ТНУ)[3]. В предлагаемых фирмами-производителями тепловых насосов материалах приведены общие рекомендации по их применению как теплогенерирующего оборудования с детализацией требований по монтажу, гидравлической обвязке, электроснабжению и управлению работой, а также технические характеристики при установленных стандартами параметрах теплоносителей.

Цель Пособия, не дублируя рекомендации фирм и не претендуя на полноту, рассмотреть вопросы, возникающие на предпроектной (прединвестиционной) стадии проектирования ТНУ:

1. Особенности проектирования ТНУ в составе источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий.

2. Выбор вида и основных параметров НПИТ, устройств отбора и трансформации их теплоты.

3. Обоснование альтернативных вариантов источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ, преимущественно при ограничениях на присоединение жилых зданий к сети централизованного теплоснабжения.

4. Формирование базовых технологических схем поливалентных источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий с применением ТНУ.

5. Обоснование выбора конкурирующих вариантов источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ на основании доступных формул расчета и критериев сравнительной оценки их эффективности.

В приведенной редакции пособия изложена точка зрения автора, которая требует развития при накоплении опыта проектирования источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий с ТНУ в целевой научно-исследовательской работе, результатом которой должны быть «Рекомендации по проектированию теплонасосных установок для отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных многоэтажных жилых зданий» и ТКП «Теплонасосные установки. Правила проектирования».

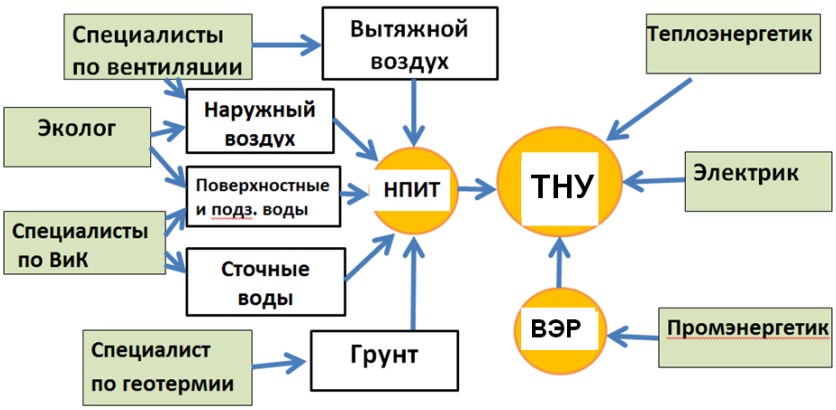
[3] - установка на основе теплового насоса с контурами отбора низкопотенциальной теплоты и передачи выработанной теплоты в контуры ее потребления

# 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Как известно, стратегические решения по теплоснабжению жилой застройки городов принимаются на стадиях «Генеральный план» [1] и «Детальный план» [2], которые конкретизируются при разработке схем теплоснабжения [3]. Уже на этих стадиях в городах выделяются районы, покрытие тепловых нагрузок которых планируется от локальных теплоисточников, в т. ч. теплонасосных установок. Решение о типе локального теплоисточника должно иметь технико-экономическое обоснование (ТЭО), требования к содержанию и условиям согласования которого изложены в ТКП 241-2019 (02230) [4]. Согласно п. 6.4.1 ТКП, альтернативность рассматриваемых вариантов (не менее двух) обеспечивается за счет покрытия тепловой нагрузки от разных источников теплоты и использованием разнотипного теплогенерирующего оборудования.

Основанием для включения ТНУ в число альтернативных теплоисточников отопления и горячего водоснабжения жилых зданий являются их энергетические и экологические преимущества за счет использования для выработки тепловой энергии местных «бесплатных» ресурсов НПИТ и электрической энергии. Они могут быть также эффективным дополнением централизованному теплоснабжению, обеспечивая при этом более высокий уровень надежности и управляемости, который присущ системам электроснабжения. При получении отрицательных технических условий от теплоснабжающих организаций или других ограничениях на централизованное теплоснабжение проектируемых жилых зданий ТНУ должны приниматься как обязательные для сравнения теплоисточники.

Сегодня такие возможности не реализуются, что может быть обусловлено не только действующими для населения соотношениями тарифов на тепловую и электрическую энергию, но и недостаточно активной позицией проектных организаций. Последнее отчасти обусловлено тем, что для проектирования ТНУ требуется больший, чем для проектирования традиционных теплоисточников, объем и достоверность исходных данных о местных условиях, и более тесное взаимодействие специалистов стыкуемых специальностей (илл.1.1).



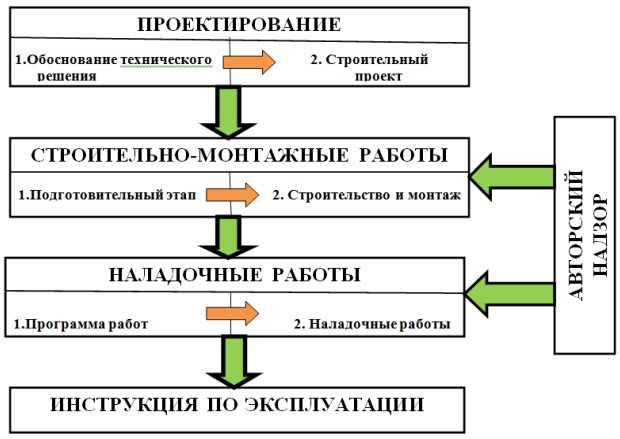

*Илл. 1.1 – Специализация участников процесса проектирования ТНУ*

Это несколько усложняет процесс проектирования и увеличивает продолжительность принятия проектных решений. Поэтому действующая методика проектирования максимально привязана к возможности тиражирования и применения типовых решений из

каталогов производителей оборудования, которые ПРОЕКТИРОВЩИК адаптирует под объект. Проекты многоэтажных жилых зданий разрабатываются, как правило, с применением уже апробированных решений, обеспечивающих отнесение этих зданий к группе энергоэффективных. Это новые архитектурно-планировочные и конструктивные решения, повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций, применение перспективных систем приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов зданий. На стадии экспериментального проектирования и строительства взаимозависимые ресурсосберегающие системы инженерного обеспечения, включая двухтрубные системы водоотведения с утилизацией теплоты «серых» сточных вод, системы использования возобновляемых источников энергии на основе гелиоколлекторов, фотоэлектрических панелей и тепловых насосов. Масштабное их внедрение в проектную практику имеет определенные сложности уже на первых этапах разработки, в т. ч. и из-за необходимости согласования параметров и режимов совместной работы местного энергогенерирующего оборудования и источников энергосистемы.

Соответственно, уже на стадии подготовки договорной документации на проектирование ТНУ, кроме общих сведений о проектируемом здании и условиях его размещения, должна быть выполнена оценка условий присоединения к внеплощадочным инженерным сетям и источникам и определены экологические ограничения на строительство местных источников теплоснабжения. Дополнительно требуются данные о ресурсах низкопотенциальной теплоты и ограничениях на их использование, а также уточнение резервов пропускной способности внеплощадочных сетей и мощности сооружений.

При наличии экономических и других стимулов инициаторами рассмотрения ТНУ в качестве источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий могут быть ЗАКАЗЧИК/ИНВЕСТОР строительства, проектные организации, поставщики тепловых насосов, градостроительные управления, экологические службы и энергетические предприятия. Однако независимо от того, кто инициировал, ПРОЕКТИРОВЩИК обязан согласовать с ЗАКАЗЧИКОМ критерии эффективности, по которым будут приниматься проектные решения и допускаемые интервалы их значений, информировать его об ожидаемых преимуществах и недостатках применения ТНУ. При заключении договора на проектирование ПРОЕКТИРОВЩИКУ желательно убедить ЗАКАЗЧИКА в необходимости своего участия на всех стадиях разработки и строительства ТНУ, перечень которых приведен на илл. 1.3.

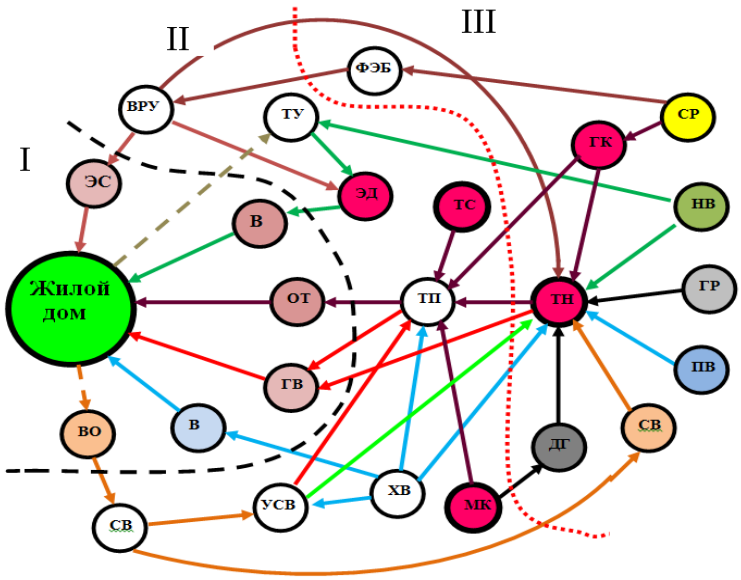



*Илл. 1.3 – Основные блоки проектирования и строительства ТНУ*

Для эффективного проектирования ТНУ обязательным является участие ПРОЕКТИРОВЩИКА в подготовке ЗАКАЗЧИКОМ технического задания на проектирование, особенно при указании технических и экономических требований к результатам проектных решений, включая класс энергетической эффективности жилого здания, рассчитанный за год эксплуатации. Таким образом, быть ответственным не только за ожидаемую эффективность работы ТНУ, но и за реализацию проекта строительства жилого здания в целом.

Неиспользуемым резервом совершенствования проектного процесса является метод интегрированного проектирования систем инженерного обеспечения многоэтажных жилых зданий. Его применение позволит найти наиболее рациональные решения для каждой из взаимосвязанныхи взаимозависимых систем при их суммарном оптимуме.

На илл. 1.2 приведена структура многоуровневой системы инженерного обеспечения многоэтажного энергоэффективного жилого здания, стыковочные связи и направления ресурсных потоков отдельных систем, с акцентом на альтернативные энергогенерирующие источники.




*Илл.1.2 – Структура системы инженерного обеспечения энергоэффективного жилого здания (**уровень I** – внутридомовые процессы снабжения ресурсами (В - водоснабжение, ВО - водоотведение, ГВ - горячее водоснабжение, ОТ - отопление, ЭС - электроснабжение); **уровень II** – виды ресурсов и их распределительных и генерирующих устройств (СВ - сточные воды, ХВ - холодная вода питьевого качества, ВРУ - вводно-распределительное устройство электроснабжения, УСВ - устройство утилизации теплоты сточных вод, ТС - тепловая сеть, ТП - тепловой узел, ТУ - устройства рекуперации теплоты вентиляционных выбросов, ЭД - электродоводчик температуры приточного воздуха, МК- местная домовая котельная); **уровень III** - гелиосистема и теплонасосная установка (ФЭБ - фотоэлектрические панели, ГК - гелиоколлектор, ТН - тепловой насос, СР - солнечная радиация, ДГ- дымовые газы, СВ - сточные воды, ПВ - поверхностные и подземные воды, ГР - грунт, НВ - наружный воздух)*

В настоящее время проектирование ТНУ должно осуществляться в две стадии: прединвестиционная и инвестиционная (СТБ 2331).

**Прединвестиционная (предпроектная) стадия** является обязательной и наиболее ответственной, т.к. на этой стадии определяются решения по контурам отбора низкопотенциальной теплоты и отпуска тепловой энергии, обосновывается тип тепловых насосов и структура ТНУ, рассчитываются технико-экономические показатели работы ТНУ и

структура источника теплоснабжения жилого дома. Результатом предпроектной стадии является ТЭО и проект технического задания на разработку строительного проекта, как основание для принятия ИНВЕСТОРОМ/ЗАКАЗЧИКОМ решения о строительстве ТНУ.

Блок-схема процесса разработки и обоснования структуры ТНУ и выбора основного оборудования на предпроектной стадии приведена на илл.1.4, где красными линиями показаны итерационные действия для рационализации альтернативных технических решений.

*Илл. 1.4 – Блок-схема процесса проектирования ТНУ на предпроектной стадии*

**Этап 1.** Первым и обязательным на предпроектной стадии является этап подготовка исходных данных для проектирования и анализ местных условий размещения жилого здания, базовый перечень которых приведен на илл. 1.5.

*Илл. 1.5 – Перечень основных показателей, характеризующих местные условия размещения проектируемого жилого здания*

Результатами анализа должны быть:

- план территории размещения проектируемого жилого здания с существующими и ранее запроектированными инженерными сетями (геосъемка);
- схемы инженерных систем района проектирования с обозначением основных параметров сетей и сооружений;

- план этажа жилого здания с помещениями, планируемыми для размещения вводных устройств теплоснабжения и электроснабжения, мест ввода водопровода и отведения сточных вод;
- характеристика внутридомовых систем инженерного обеспечения жилого дома (расчетная электрическая нагрузка, тепловая нагрузка отопления, варианты отопительного графика, максимально часовая/средняя суточная нагрузка горячего водоснабжения, объемы водопотребления и схема отведения сточных вод);
- параметры возможных к использованию НПИТ и их изменение в течение года;
- экологические показатели территории и разрешенные места отбора низкопотенциальной теплоты;
- удельные расходы топлива на выработку единицы тепловой и электрической энергии на энергоисточниках и потери в сети энергоснабжения от энергоисточников;
- цены на тепловую энергию от теплоисточников и тарифы на электрическую энергию из энергосистемы (действующие и ожидаемые на год окончания строительства).

**Этап 2.** Основным методом формирования альтернативных вариантов ТНУ является структурирование.

В зависимости от местных условий ТНУ могут быть единственным источником теплоснабжения или работать во взаимосвязи с другим теплогенерирующим оборудованием в структуре бивалентного или поливалентного источника теплоснабжения проектируемого жилого здания (см. раздел 5). Степень участие тепловых насосов в покрытии тепловой нагрузки, ее величина и виды используемых НПИТ определяют альтернативные структуры ТНУ и всего источника теплоснабжения жилого здания. Обязательным является анализ режимов работы контуров ТНУ в увязке со стыкуемым теплогенерирующим оборудованием.

На этом этапе принимается решение по типу и основных параметров устройств отбора теплоты НПИТ, типу и теплопроизводительности тепловых насосов, задаются режимы их работы (см. раздел 4). Подсказкой в выборе альтернативных решений являются реализованные проекты, а также рекомендации производителей по выбору модели оборудования и его обвязке.

Ответственной задачей является формирование базовых структур ТНУ и предварительный расчет энергетических потоков в альтернативных вариантах, на основании которого составляются расчетные и годовые балансы потребления и производства тепловой энергии тепловыми насосами и другим теплогенерирующим оборудованием, а также объемы поступления энергии извне (см. раздел 5).

Итогом работы этапа 2 являются:

- генплан с размещением сетей и сооружений, планируемых к использованию НПИТ;
- структурные схемы конкурирующих вариантов ТНУ с указанием направлений энергетических потоков и экспликацией оборудования (не более 3-х);
- описание характерных режимов работы ТНУ;
- таблицы с обоснованием выбора типа и параметров тепловых насосов и основного оборудования его контуров;
- таблицы и блок-схемы с энергетическими потоками.

Приведенный перечень может корректироваться в зависимости от строительных и инженерных параметров жилого здания, структуры ТНУ, типа и параметров основного оборудования и др.

**Этап 3.** На основании результатов работ на этапах 1 и 2 выполняется расчет показателей альтернативных вариантов ТНУ, характеризующих экономичность и эксплуатационную надежность их работы (см. раздел 11). Обязательным является уточнение технических характеристик применяемого оборудования; расчеты числа часов использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов; значений среднегодовых коэффициентов трансформации низкопотенциальной теплоты и среднегодового коэффициента энергетической эффективности ТНУ (см. раздел 4). Кроме указанных, в результирующую таблицу сводятся результаты расчетов сезонной и годовой выработки тепловой энергии и расходах электрической энергии для этой выработки, объемах используемых ресурсов НПИТ. Определяются укрупненно объемы единовременных капитальных вложений на сооружение ТНУ и ежегодных эксплуатационных расходов на выработку тепловой энергии при текущих и ожидаемых значениях тарифов на электрическую и тепловую энергию из энергосистемы.

Конкурирующие варианты ТНУ сравниваются по показателям, заданным в техническом задании на проектирование. Исходными являются материалы блока 2, и определяемые укрупненно объемы единовременных капитальных вложений на сооружение ТНУ и ежегодных эксплуатационных расходов на выработку тепловой энергии при текущих и ожидаемых значениях тарифов на электрическую и тепловую энергию из энергосистемы (см. раздел 11). Системным критерием, по величине которого альтернативные варианты ранжируются по эффективности, можно в настоящее время принять приведенные затраты.

По результатам выбирается вариант ТНУ, имеющий меньшее значение приведенных затрат. При близких значениях (менее 10%) сравнение выполняется по энергетической эффективности и качественным характеристикам применения ТНУ, перечень которых согласован с ЗАКАЗЧИКОМ на стадии подготовки исходных данных, например, эстетичность, конъюнктура рынка и др.

Завершает работу по этапу 3 сравнение основных технико-экономических показателей проектируемого источника теплоснабжения с рекомендуемой ТНУ и традиционного источника теплоснабжения (см. раздел 11) по годовым расходам первичного топлива (энергетический эффект), объемам выбросов $CO_2$ (экологический эффект), сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений (эффект инвестора), ежегодным эксплуатационным расходам (интересы жителей) и другим критериям, которые заданы ЗАКАЗЧИКОМ.

На этом этапе в интересах системной эффективности проектируемого источника теплоснабжения «доводится» принятый вариант ТНУ (итерационный процесс) и определяется необходимость прикладных исследований, которые должны улучшить показатели теплоснабжения и обеспечить устойчивость работы ТНУ.

**Этап 4.** Заключительное согласование предпроектного решения источника теплоснабжения с ТНУ со стыкуемыми разделами проекта жилого здания, что гарантирует преемственность предпроектного решения, т.к. учитывает базовые требования проектировщиков-смежников.

После внутренней увязки разработанное решение и его основные технико-экономические показатели целесообразно обсудить на техническом совете проектной ор-

ганизации, на который желательно пригласить специалистов профильных научно-исследовательских институтов, отраслевых эксплуатирующих предприятий, согласовывающих организаций, изготовителей или поставщиков тепловых насосов и других заинтересованных.

Апробацию технических решений ТНУ во внешних организациях необходимо рассматривать как экспертную оценку предпроектного решения источника теплоснабжения с ТНУ.

**Этап 5.** Состав технической документации на прединвестиционном **(**предпроектном) этапе проектирования ТНУ, передаваемой ЗАКАЗЧИКУ, определен ТКП 45-1.02-298-2014 [5]. Разделы разрабатывают в объеме, достаточном для обоснования проектных решений, определения параметров и потребности в оборудовании.

Для раскрытия важных для ЗАКАЗЧИКА особенностей применения ТНУ как теплоисточника предлагается в состав проектной документации включать:

- в пояснительную записку – разделы «Источники низкопотенциальной теплоты», «Обоснование принимаемых энергосберегающих инженерных решений», «Технико-экономические и экологические показатели источника теплоснабжения»;
- в графическую часть – чертежи «План размещения сетей и сооружений источников низкопотенциальной теплоты», «Структурная схема источника отопления и горячего водоснабжения», «Размещение основного оборудования ТНУ».

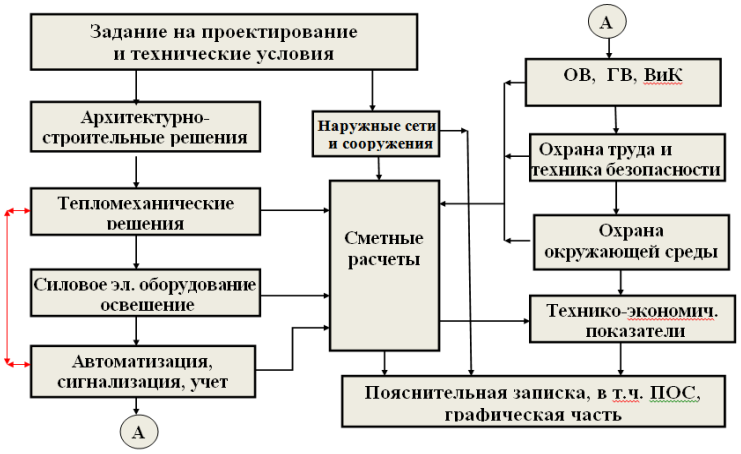
К пояснительной записке прикладываются предварительно согласованные с ЗАКАЗЧИКОМ проекты технического задания на проектирование ТНУ и задания на закупку основного оборудования ТНУ (тепловые насосы, теплообменники, циркуляционные насосы, баки-аккумуляторов и др.).

Очевидно, что прединвестиционная (предпроектная) стадия является этапом технико-экономического проектирования, результаты которого должны гарантировать надежность и экономичность проектных решений, являющихся основанием для принятия ЗАКАЗЧИКОМ решения о выполнении строительного проекта ТНУ.

**Инвестиционный этап проектирования** (строительный проект) ТНУ выполняется на основании технического задания ЗАКАЗЧИКА и технических решений предпроектного этапа, к которому прикладываются исходные данные на проектирование.

В строительном проекте технические решения прединвестиционной стадии детализируются с учетом замечаний экспертов и ЗАКАЗЧИКА, выполняются теплогидравлические расчеты контуров, разрабатывается блок автоматизации режимами работы ТНУ в составе источника отопления и горячего водоснабжения, определяется сметная стоимость строительства и другие обязательные разделы.

На илл. 1.6 приведены основные этапы процесса проектирования ТНУ на стадии «Строительный проект».




*Илл. 1.6 – Блок-схема процесса проектирования ТНУ на стадии «Строительный проект»*

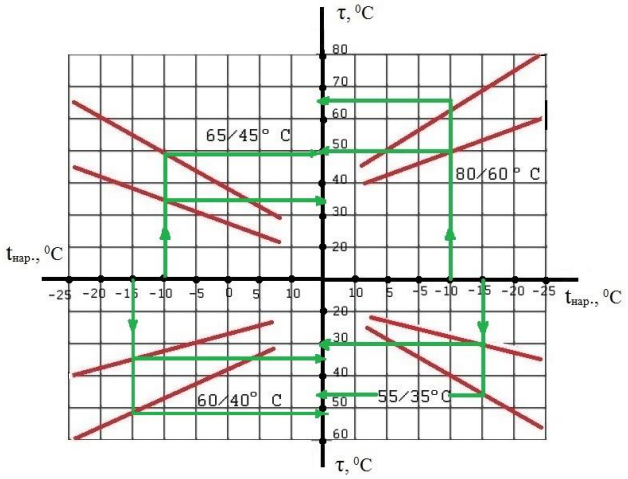
Формально процесс проектирования ТНУ заканчивается при согласовании проектной документации. Вместе с тем, учитывая повышенную ответственность в реализации проектного решения, ПРОЕКТИРОВЩИК должен инициировать включение в смету отдельными строками выполнение авторского надзора за строительством жилого здания, участие в подготовке программы пусконаладочных работ ТНУ, анализ результатов проверки работоспособности теплогенерирующего оборудования в режимах с проектными параметрами и подготовку инструкции по эксплуатации источника всего источника отопления и горячего водоснабжения (см. илл.1.3). Целесообразно еще раз отметить, что процесс проектирования ТНУ и принимаемые решения во многом зависят от местных условий размещения многоэтажного жилого здания и тиражирование возможно только отдельных блоков ТНУ.

## 2. ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СЕТИ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Традиционно теплоносителем в системах отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий является вода. Согласно СНБ 4.02.01-03 температура воды для однотрубных систем отопления с радиаторами, панелями и конвекторами принимается до $105^0$С, для двухтрубных – $95^0$С. Для горячего водоснабжения температура воды в точках водоразбора – не ниже $50^0$С и не выше $75^0$С.

Указанные параметры определены и узаконены много лет назад, когда вопросы экономии энергии в жилищном строительстве не являлись значимыми. При активизации энергосбережения, переходе на пониженный график в сети централизованного теплоснабжения и требований к комфортности проживания стала рассматриваться возможность применения систем отопления с пониженными параметрами теплоносителя на основе конвекторов и греющего пола.

В таких системах отопления с ТНУ температура теплоносителя на выходе конденсаторов тепловых насосов изменяется в интервале от $35^0$С до $65^0$С по графику качественного регулирования. На илл. 2.1 приведены температурные графики систем отопления с параметрами $80/60^0$С, $65/45^0$С, $60/40^0$С и $55/35^0$С, на которых показаны значения температур теплоносителя тепловых насосов при их работе в бивалентном режиме с пиковым источником отопления.




*Илл. 2.1 – Температурные графики систем отопления с тепловыми насосами*

Из илл. 2.1 следует, что температуре наружного воздуха минус $10^0$С при отопительном графике $80/60^0$С соответствует температура теплоносителя на выходе конденсаторов, равная $65^0$С, а при графике $65/45^0$С – $50^0$С. Температуре минус $15^0$С при отопительном графике $60/40^0$С будет соответствовать температура теплоносителя, равная $52^0$С, а при графике $55/35^0$С – $48^0$С. Очевидно, что тепловые насосы могут рассматриваться как единственный источник отопления при температурных графиках систем отопления $65/45^0$С, $60/40^0$С и $55/35^0$С.

При проектировании ТНУ температурные графики определяются стыкуемыми расчетами параметров тепловых насосов и внутридомовых систем отопления, т.к. чем ниже температура в подающем трубопроводе сети отопления, тем меньше текущая приводная мощность тепловых насосов и потребление электрической энергии, но больше единовременные затраты на устройство систем отопления.

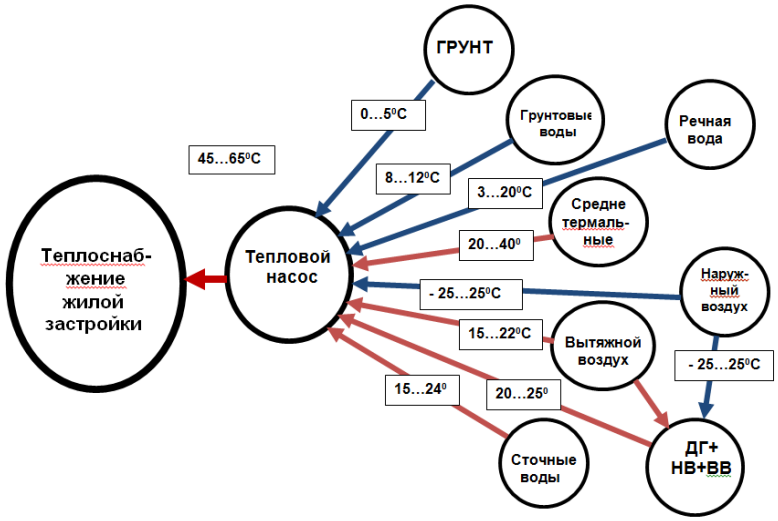
Энергетически эффективны при применении ТНУ и решения по снижению температуры горячей воды в отдельных узлах сети горячего водоснабжения жилых зданий (душевые, умывальники). Предпосылками являются результаты анкетирования 470 семей, проживающих в разных районах г. Минска, согласно которым более 97% горячей воды расходуется в домашнем хозяйстве с температурой не выше $45^0$С. Поэтому при согласовании с заказчиком/инвестором за расчётную в системе горячего водоснабжения можно принимать температуру горячей воды равную $45^0$С с местным догревом пиковыми электроводонагревателями. Тем более, что для эмульсирования и удаления жиров температура воды должна быть не менее $70^0$С, что не обеспечивают существующие системы. Промежуточный вариант – эпизодическое повышение тепловыми насосами температуры в системе горячего водоснабжения до $55^0$С. При очевидной эффективности такое решение при блокировании электроводонагревателей и электрических плит не приведет к увеличению электрической нагрузки жилых домов.

В целом при выборе параметров теплоносителей в сети отопления и горячего водоснабжения от ТНУ необходимо учитывать плюсы, за счет повышения 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. Решение должно приниматься после комплексного сравнения технических и экономических показателей возможных вариантов.

## 3. ИСТОЧНИКИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Кроме желаемого снижения температуры в сети отопления, обязательным условием применения тепловых насосов является наличие источника низкопотенциальной теплоты (НПИТ), предпочтительно с мало изменяющимися во времени расходом и температурой. Во всех случаях чем выше температура и стабильнее в течение суток и сезонов поток низкопотенциальной теплоты, тем эффективнее его использование. Причем для стабильной работы необходимо, чтобы тепловой потенциал НПИТ как минимум был равен 65% максимальной теплопроизводительности тепловых насосов.

В природных и социально-экономических условиях Республики источниками низкопотенциальной теплоты могут быть наружный воздух, грунт, подземные и поверхностные воды, сточные воды, оборотные воды промышленных предприятий, солнечная радиация, дымовые газы домовой котельной (илл.3.1).




*Илл.3.1 – Виды и температуры потоков низкопотенциальной теплоты, возможных к использованию тепловыми насосами для теплоснабжения жилой застройки*

Кроме расхода и температуры для расчета параметров использования НПИТ необходимы достоверные данные об их теплофизических и эксплуатационных свойствах как теплоносителей. Например, коррозионная и биологическая агрессивность сточных вод зависит от концентрации растворенного кислорода, содержания взвешенных веществ, сульфатов и хлоридов, скорости потока и др. Глубина анализа зависит от стадии разработки решений по использованию НПИТ. Для проектной стадии такую информацию можно получить у специализированных организаций или по результатам выполнения целевых исследований.

В целом наличие НПИТ и величина их теплового потенциала зависит от градостроительных условий расположения проектируемого жилого здания, его архитектурно-планировочных и конструктивных решений и др. (см. разделы 1, 5). Ниже приведены общие сведения о НПИТ, теплота которых может использоваться тепловыми насосами для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий.

***Наружный воздух*** является НПИТ неограниченного теплового потенциала. Определяющими параметрами при выборе технических решений и расчетов эффективности его

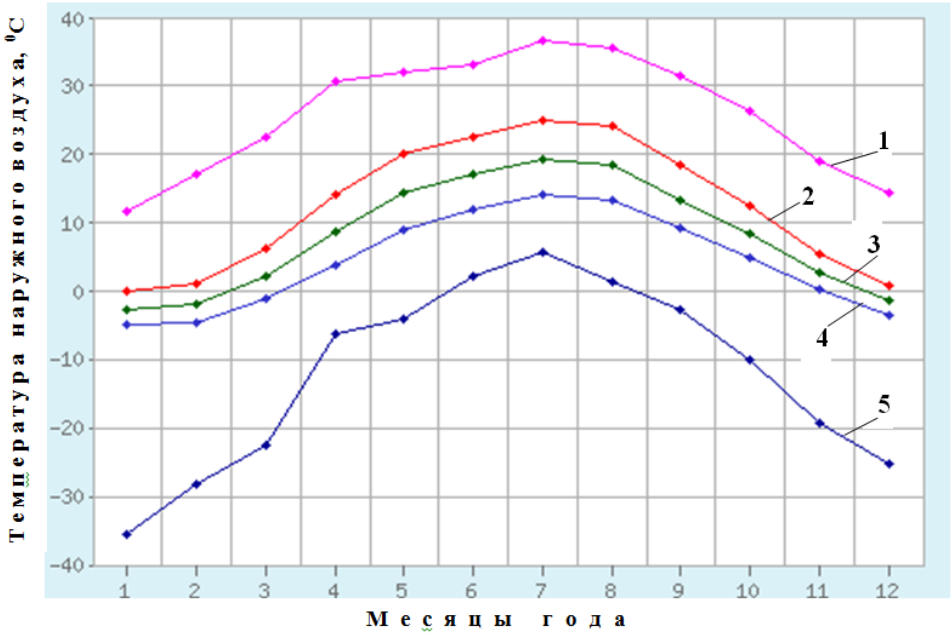
использования являются температура, продолжительность ее стояния в течение года, амплитуда колебания температуры в течение суток, месяцев и года, которые зависят от района проектирования.

В таблице 3.1 приведены данные о средних месячных температурах наружного воздуха и средней за месяц суточной амплитуды наружного воздуха в областных центрах республики [6].

*Таблица 3.1 – Значения средней за месяц температуры наружного воздуха (числитель) и средней за месяц суточной амплитуды ее изменения (знаменатель)*

| Город | Месяцы года | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Брест | -4,9 / 5,5 | -3,5 / 6,3 | 0,7 / 7,4 | 7,3 / 9,4 | 13,6 / 10,8 | 16,7 / 10,9 | 18,4 / 10,8 | 17,4 / 10,4 | 13,3 / 9,7 | 7,7 / 7,8 | 2,6 / 4,7 | -1,8 / 4,5 |
| Витебск | -7,9 / 6,2 | -7,2 / 6,8 | -2,7 / 7,6 | 5,1 / 8,8 | 12,6 / 10,8 | 16,0 / 10,7 | 17,8 / 10,3 | 16,2 / 10,1 | 11,1 / 8,8 | 5,3 / 6,4 | -0,3 / 4,4 | -5,1 / 5,0 |
| Гомель | -7,0 / 6,3 | -6,1 / 7,2 | -1,5 / 7,2 | 6,6 / 9,1 | 13,9 / 11,6 | 17,0 / 11,6 | 18,5 / 11,6 | 17,4 / 11,8 | 12,5 / 11,4 | 6,5 / 8,7 | 0,7 / 5,5 | -4,1 / 5,0 |
| Гродно | -5,1 / 5,7 | -4,4 / 6,3 | -0,5 / 7,2 | 6,3 / 9,4 | 12,9 / 11,0 | 16,1 / 10,8 | 17,8 / 10,6 | 16,7 / 10,1 | 12,5 / 9,4 | 7,0 / 7,3 | 1,7 / 4,3 | -2,7 / 4,5 |
| Могилев | -7,6 / 6,4 | -6,9 / 7,0 | -2,3 / 7,7 | 5,5 / 8,8 | 12,9 / 11,1 | 16,3 / 10,8 | 18,0 / 10,8 | 16,5 / 10,7 | 11,6 / 9,7 | 5,4 / 7,0 | -0,1 / 4,9 | -4,9 / 5,3 |
| г.Минск | -6,9 / 6,2 | -6,2 / 6,6 | -2,0 / 7,3 | 5,5 / 8,9 | 12,7 / 11,0 | 16,0 / 10,6 | 17,7 / 10,3 | 16,3 / 10,1 | 11,6 / 9,2 | 5,8 / 6,6 | 0,2 / 4,3 | -4,3 / 4,7 |

Для анализа температурных режимов наружного воздуха в районе проектирования важно использовать данные о минимальных и максимальных значениях температур. На илл. 3.2 приведены эти значения для г. Бреста [7].




*Илл. 3.2 – Температуры наружного воздуха в г. Бресте за весь период метеорологических наблюдений (1- абсолютный максимум, 2- средний максимум, 3-средняя, 4- средний минимум, 5- абсолютный минимум)*

Наиболее достоверны решения по использованию теплоты наружного воздуха при учете его влажности, солнечной радиации, скорости и направления ветра (таблица 3.2).

*Таблица 3.2 – Значения различных метеорологических факторов климата в г. Бресте [6 ]*

| Метеорологические факторы | Месяцы года | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Температура, $^0$C | -4,9 | -3,5 | 0,7 | 7,3 | 13,6 | 16,7 | 18,4 | 17,4 | 13,3 | 7,7 | 2,6 | -1,8 |
| Средняя месячная относительная влажность воздуха, % | 85 | 82 | 75 | 66 | 66 | 69 | 70 | 71 | 78 | 81 | 86 | 87 |
| Средняя скорость ветра, м/с | 3 | 2,9 | 2,9 | 2,7 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 2,9 |
| Среднее число дней: | | | | | | | | | | | | |
| • ясных (92) | 5 | 6 | 9 | 11 | 9 | 6 | 8 | 10 | 9 | 10 | 5 | 4 |
| • облачных (196) | 13 | 12 | 16 | 16 | 19 | 21 | 21 | 19 | 17 | 16 | 14 | 12 |
| • пасмурных (77) | 13 | 10 | 6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 11 | 15 |

К сожалению, в настоящее время отсутствует научнообоснованная методика учета сочетания значений этих показателей, полученных в один срок наблюдений. Аналогом такой работы могут быть исследования Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова по влиянию на тепловой режим зданий комплекса метеорологических факторов, результаты которых послужили основой для создания физико-математической модели этого воздействия и определения эффективной температуры наружного воздуха, связывающая эти факторы [8].

Базовая информация о значениях параметров наружного воздуха и других метеорологических факторов приведена в материалах многолетних наблюдений погоды на ближайших метеостанциях Гидрометеослужбы Беларуси. При ее использовании необходимо делать поправку на место размещения проектируемого жилого здания на территории населенных пунктов [9]. Например, температура наружного воздуха в центре г. Минска на 2..4$^0$ выше, чем в периферийных районах.

Расчеты показывают, что сегодня при строительстве энергоэффективных жилых зданий наружный воздух обосновано можно считать перспективным НПИТ.

***Грунт***, так же как и наружный воздух, представляет собой возобновляемый тепловой ресурс неограниченного объема. Эффективность использования теплоты грунта зависит, главным образом, от его температурного режима в годовом цикле, состава и влажности.

Грунт верхних слоев земли аккумулирует энергию Солнца. Характерно, что колебания температуры верхних слоев грунта (до 5м) запаздывают во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха. В среднем для условий Республики годовая амплитуда температуры грунта на глубине 0,8 м около 5…10$^0$С, а глубине 1,5 м – 2…7$^0$С [6]. Термическая устойчивость и температура грунта повышаются с глубиной, т.к. источником, начиная с глубины 10…15 м, является теплота земных недр.

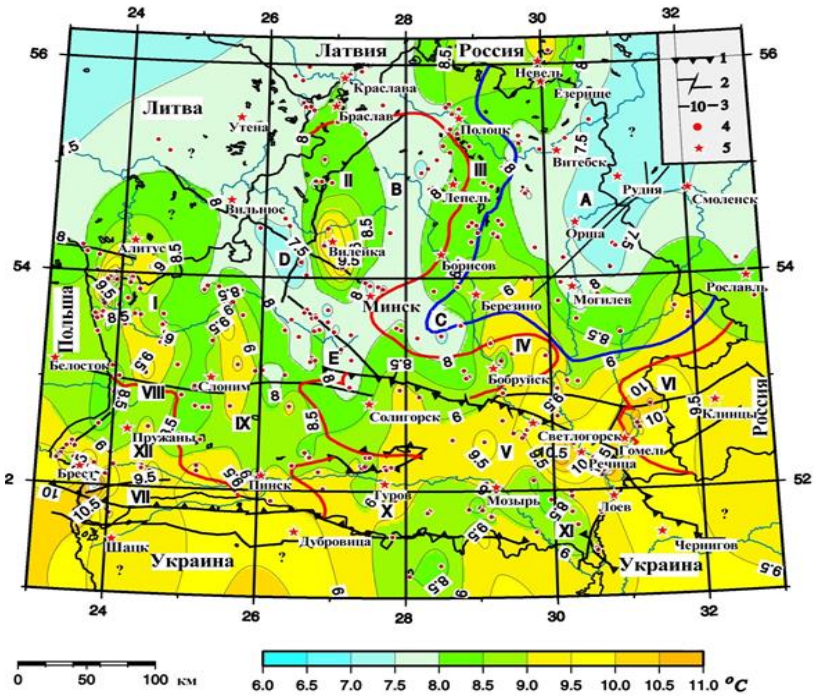
Опыт проектирования показывает, что грунт целесообразно рассматривать как НПИТ при отсутствии ограничений на создание скважинного поля на площадке расположения многоэтажного жилого здания и применения геотермальных свай, а также при отсутствии достаточных ресурсов или малой эффективностью использования других источников низкопотенциальной теплоты (подземные и поверхностные воды, сточные воды, наружный воздух и др.).

***Подземные воды*** также относятся к числу возобнавляемых НПИТ. Их ресурсный

потенциал во многом зависит от местных условий и определяется глубиной залегания, расстоянием от поверхностных водотоков и др.

Например, гидрогеологические особенности пойменной территории р. Сож в г. Гомеле характеризуются наличием серии водоносных горизонтов и отсутствием разделяющих водоупорных отложений. В результате измерений в изыскательской скважине Гомель 42-1 определено, что на глубине 20 м наблюдаются сезонные колебания температуры воды от $6^0$С в зимние месяцы до $15^0$С – в летние. На глубине до 40 м расположен водоносный горизонт, который представлен разнозернистыми песками с прослойками суглинков и глин. Мощность горизонта достигает 16,5 м. С ростом глубины растет и температура воды. Температура воды на глубине 35 м уже не зависит от температуры наружного воздуха и составляет 8,8$^0$С, на глубине 100 м она уже 9,6$^0$С, 150 м – 10,5$^0$С, 200 м – 11,5$^0$С и т.д. [10].

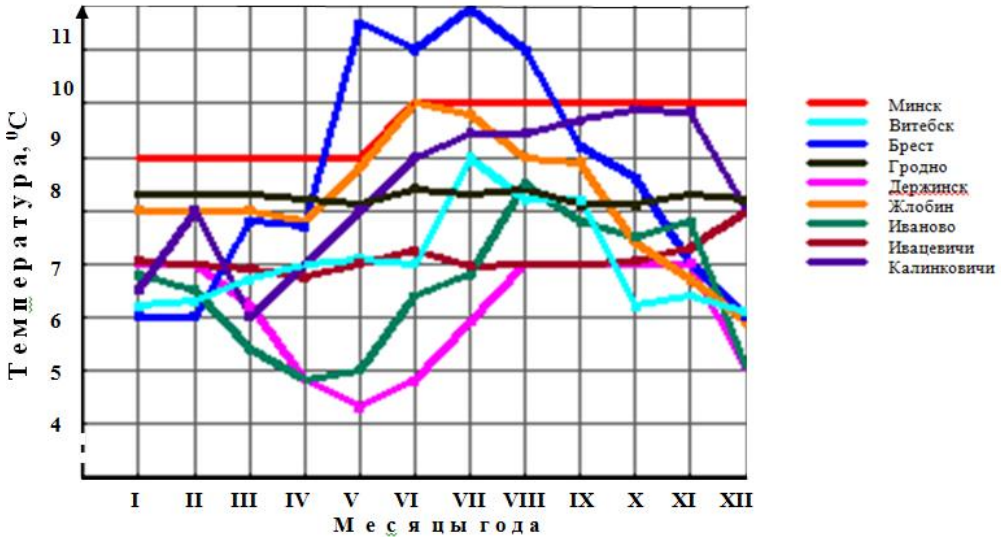
В районе г. Бреста температура подземных вод на глубине 25 м около 8,7$^0$С, глубине 50 м – 9,0$^0$С, глубине 100 м – 9,5$^0$С, глубине 125 м – 10,0$^0$С. На илл. 3.3 приведена карта Республики с температурами на глубине 100 м, составленная по данным геотермических исследований [10].




*Илл. 3.3 – Карта Республики и прилегающих территорий с распределение температуры грунта на глубине 100 м*

Наиболее благоприятным для использования теплоты подземных вод более глубоких горизонтов является район Брестской впадины, где повсеместно распространены преимущественно пресные и местами солоноватые геотермальные воды с минерализацией до 12 г/литр [12]. На глубине 200 метров в скважине «Брест-19» зарегистрирована температура 12,98$^0$С. Для сравнения отметим, что в районе Минска температура 13$^0$С достигается на глубине около 550 метров. Геотермический градиент (темп нарастания температуры с глубиной) в интервале глубины 0 – 200 метров достигает 20-22 мК/м (20-22$^0$С/км).

На илл. 3.4 показаны значения температуры воды эксплуатируемых горизонтов в различных районах Республики.




*Илл. 3.4 – Годовой ход температуры воды эксплуатируемых горизонтов на водозаборах некоторых городов Республики*

В основу определения возможности использования теплоты подземных вод должны быть положены данные о параметрах и режимах работы системы водоснабжения города и результаты гидрогеологических исследований района, которые должны уточняться применительно к месту размещения проектируемого здания.

***Поверхностные воды.*** В климатических условиях Республики поверхностными водами являются вода рек, озер и других водоемов. Тепловой потенциал поверхностных вод зависит от климатического района их расположения на территории Беларуси, сезонных изменений их ресурсов, экологических ограничений. Температура воды в придонном слое рек и водоемов в зависимости от их глубины и сезонов года изменяется от $3^0$С до $20^0$С [14]. Температура подрусловой воды также изменяется в течение года, но в меньшем интервале (от $6^0$С до $10^0$С). Минимальные ее значения наблюдаются весной при таянии снега.

При проектировании наибольшей сложностью является определение расчетных значений температур и теплового потенциала водоемов. Необходимо учитывать влияние термических режимов протекающих водообменных процессов, эффект стратификации, теплопоступления через донную поверхность водоемов и др. С учетом экологических ограничений такая задача теоретически решена при обосновании источника теплоснабжения и кондиционирования комплекса “Мирский замок”.

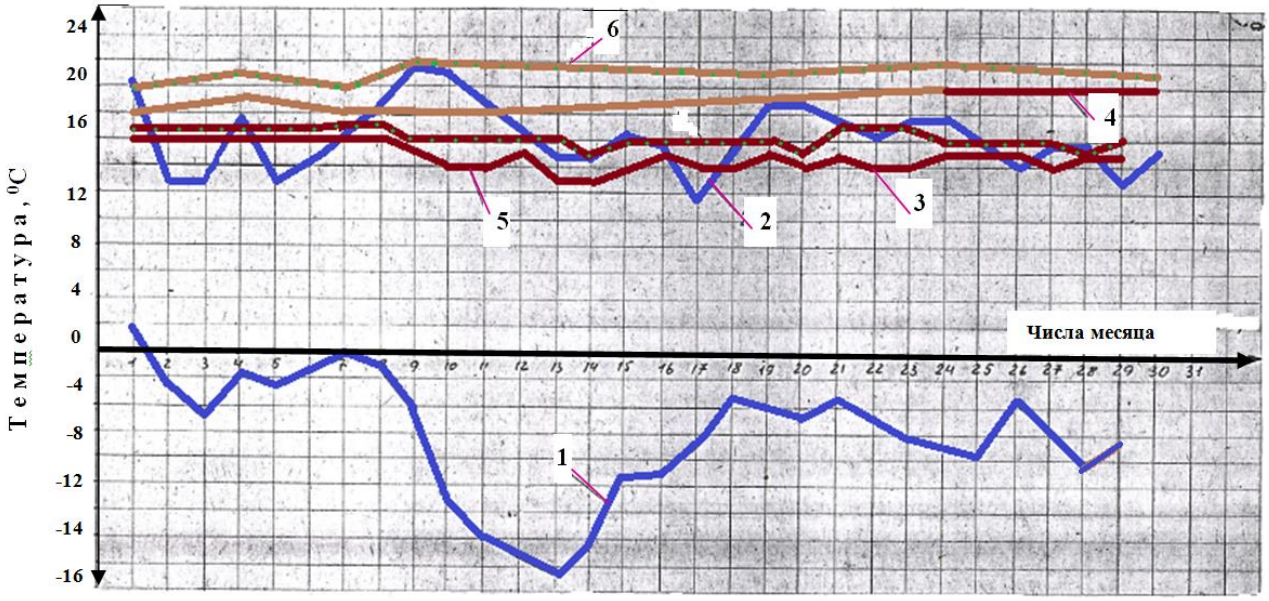
***Сточные воды*** представляют собой полидисперсную жидкость с органическими и минеральными включениями. В жилой застройке их потоки неравномерны в течение суток, недели и года. Суточный график отведения соответствует (с некоторым запозданием) графику водопотребления с местными пиками и провалами. Как правило, температура и другие теплофизические параметры сточных вод отличаются от соответствующих параметров чистой водопроводной воды и зависят от места их образования [13].

На значения объемов и температуры *сточных вод жилых зданий* влияет уровень инженерного благоустройства жилых зданий, заселенности квартир, профессия и привычки жителей, температура водопроводной воды и конструктивне исполнение внутридомовой канализационной сети. Исследованиями автора определено, что снижение температуры сточных вод в стояках жилых зданий при их контакте с эжектируемым в стояки наружным воздухом и вытяжным воздухом из наружной канализационной сети не превышает $2^0$С. Потери теплоты сточных вод во внутридомовых трубопроводах незначительны (око-

ло 1%). На выпусках зданий их температура изменяется в интервале от $15^0$С до $35^0$С при среднесуточной величине около $24^0$С. Поэтому, с требуемой для расчета систем утилизации достоверностью, можно принимать значение среднесуточной температуры сточных вод на выпусках жилых зданий равной $21^0$С [14]. Избежать известной технической сложности отбора теплоты всего объема бытовых сточных вод, обусловленной их загрязненностью и биологической агрессивностью, можно при их разделении на два потока: от ванн и умывальников («серые» сточные воды) и от кухонь и туалетов. При раздельном отведении объемы «серых» сточных вод могут составить до 80% суммарного расхода, а температура в сборном трубопроводе жилого дома до $28^0$С.

*Сточные воды во внутриквартальных трубопроводах* характеризуются неравномерным и неустановившимся режимом потока, особенно на начальных участках. В районных и общегородских коллекторах суточный график отведения более равномерный с изменением температуры в зимние сутки от 8… $12^0$С с 24.00 до 6.00 и до 12…$18^0$С – с 6.00 до 24.00.

На выпусках сооружений биологической очистки *очищенные сточные воды* сбрасываются в водоток практически равномерно с температурой зимой 12…$15^0$С, летом – 15…$25^0$С (илл. 3.5.).




*Илл. 3.5 – Температура наружного воздуха и сточных вод на сооружениях биологической очистки сточных вод г. Минска (1, 2 – температура наружного воздуха в феврале и июне, 3, 4 – температура городских сточных вод в приемной камере в феврале и июне; 5, 6 – температура очищенных сточных вод на выпуске в феврале и июне)*

Значительный объем и относительно постоянные в течение сезонов года температуры стимулируют использование очищенных сточных вод для теплоснабжения не одного, а нескольких жилых зданий. Особенно это эффективно, если они одновременно рассматриваются как ресурс при применении двухтрубных систем водоснабжения жилых районов, для технического водоснабжения промышленных и коммунальных предприятий, водного благоустройства территорий городов. Возможность таких решений должна предусматриваться уже при разработке генеральных планов городов и административных районов, в первую очередь, с ограниченными или истощаемыми ресурсами воды питьевого качества. Примером реализуемости является предложение по развитию систем инженерного оборудования города г. Новогрудка, в Генеральном плане которого предусматри-

валась подача в город очищенных сточных вод как НПИТ и для технического водоснабжения предприятий и обводнения парковой зоны.

В целом, сточные воды являются местным НПИТ, обязательным для рассмотрения возможности использования их теплоты.Принимаемые для проектировании значения суточных и сезонных интервалов расходов и температур сточных вод в местах предполагаемого отбора теплоты (трубопроводы, насосные станции, сооружения очистки) должны подтверждаться результатами натурных измерений, согласованных с организациями, эксплуатирующими сети и сооружения водоотведения. В расчетах по использованию теплоты сточных вод должны соблюдаться условия, чтобы их температура при входе на сооружения биологической очистки была не ниже установленной в регламентах биологической очистки, а отводимых в водоток из очистных сооружений и от устройств отбора их теплоты – не ниже чем на $2^0$С температуры воды в водотоке.

***Оборотная вода.*** Перспективным источником низкопотенциальной теплоты является оборотная вода систем охлаждения оборудования промышленных предприятий, вблизи которых располагаются площадки жилой застройки. При отсутствии ограничений на прокладку водоводов такое направление использования теплоты оборотной воды с температурой не ниже $10^0$С имеет синергетический эффект. Теоретически отработан механизм взаимоотношений предприятия, застройщика и энергосистемы.

***Солнечная радиация.*** Рассматривать возможность использования теплоты солнечной радиации с применением тепловых насосов целесообразно при принятом решении о проектировании гелиоколлекторов. Местом отбора является вторичный контур гелиоколлекторов. Одновременно с повышением надежности и эффективности горячего водоснабжения такое взаимоувязанное решение обеспечивает экономичность применения тепловых насосов и увеличение числа часов использования теплопроизводительности гелиоколлекторов. Для климатических условий Беларуси время использования теплоты солнечной радиации не менее 3500 часов.

***Дымовые газы домовой котельной.*** Для обоснования варианта теплоснабжения жилого здания от крышной котельной необходимо учитывать технические возможности утилизации теплоты дымовых газов. Их использование совместно с наружным воздухом для круглогодичного горячего водоснабжения повышает энергетические и экономические показатели локального теплогенерирующего комплекса – котлы на природном газе + тепловые насосы «воздух-вода» [15].

## 4. УСТРОЙСТВА ОТБОРА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПОТОКОВ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ

При проектировании ТНУ процесс выбора типа и параметров устройств отбора и трансформации потоков низкопотенциальной теплоты является итерационным (см. раздел 1). Если вид возможных к использованию НПИТ определяется, как правило, по результатам целевого анализа местных условий (см. раздел 3), то выбор типа и параметров устройств отбора и трансформации потоков низкопотенциальной теплоты выполняется в два этапа. На первом по каталожным данным, проспектам и другой доступной информации выполняется выбор типа и желаемых технических характеристик, на втором – стыкуются параметры потоков НПИТ и планируемых к применению устройств. Для надежно-

сти принимаемого решения устойчивая работа оборудования в планируемом интервале изменения параметров НПИТ должны быть подтверждена его производителями или их региональными представителями в форме ответов на опросные листы проектной организации.

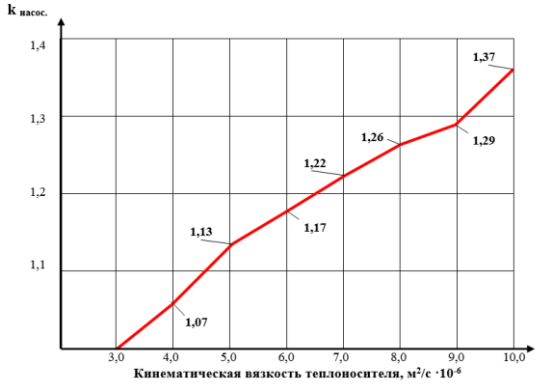
Приведенные в данном разделе результаты проектной практики ориентирует специалистов в особенностях выбора типа устройств отбора различных потоков низкопотенциальной теплоты. Основное внимание уделено конструкциям наиболее перспективных устройств отбора теплоты сточных вод.

***Устройства отбора низкопотенциальной теплоты*** представляют блоки с различными конструкциями теплообменников, включенные трубопроводами в контур испарителей тепловых насосов, и непосредственно тепловыми насосами. Нагреваемой средой может быть вода систем горячего водоснабжения, теплоноситель контура испарителей и рабочий агент тепловых насосов. Контуры испарителей, в зависимости от качества и температуры НПИТ, могут быть заправлены водой или незамерзающим теплоносителем, напрмер, на основе водных растворов пропиленгликоля (таблица 4.1).

*Таблица 4.1 – Значение теплофизических свойств водного раствора пропиленгликоля (без присадок) в зависимости от его весового содержания*[4]

| Вес пропиленгликоля в водном растворе, % | 0 | 25 | 38 | 47 |
|---|---|---|---|---|
| Температура замерзания (начала кристаллизации), $^0$C | 0 | Минус 10 | Минус 20 | Минус 30 |
| Плотность, кг/м$^3$ | 1000 | 1030 | 1045 | 1054 |
| Теплоемкость, кДж/кг К | 4,217 | 3,95 | 3,72 | 3,56 |
| Теплопроводность, Вт/м К | 0,569 | 0,47 | 0,425 | 0,395 |
| Кинематическая вязкость, $10^{-6}$м$^2$/с | 1,792 | 6,0 | 12,0 | 18,0 |
| Динамическая вязкость, мПа·с | 1,78 | 6,18 | 12,54 | 18,97 |

Из табл. 4.1. видно, что водный раствор пропиленгликоля с присадками как теплоноситель отличаются от свойств чистой воды: ниже теплоемкость и теплопроводность, больше плотность и вязкость. Очевидно, чем выше концентрация пропиленгликоля в водном растворе, тем больше начальные затраты на приобретение оборудования и материалов для сооружения контура и ежегодные эксплуатационные расходы на его функционирование. Например, влияние кинематической вязкости теплоносителя на расход электрической энергии циркуляционными насосами контура испарителя показано на илл. 4.1.




*Илл. 4.1. Изменение коэффициента увеличения расхода электрической энергии на циркуляцию ($k_{насос.}$) для теплоносителя с разной кинематической вязкостью*

[4] http://himtermo.ru; http://cp-h.ru; http://www.propylen-glycol.ru

В настоящее время в Республике используются несколько видов незамерзающих жидкостей с добавками, отличающихся теплофизическими свойствами, стоимостью и условиям поставки.

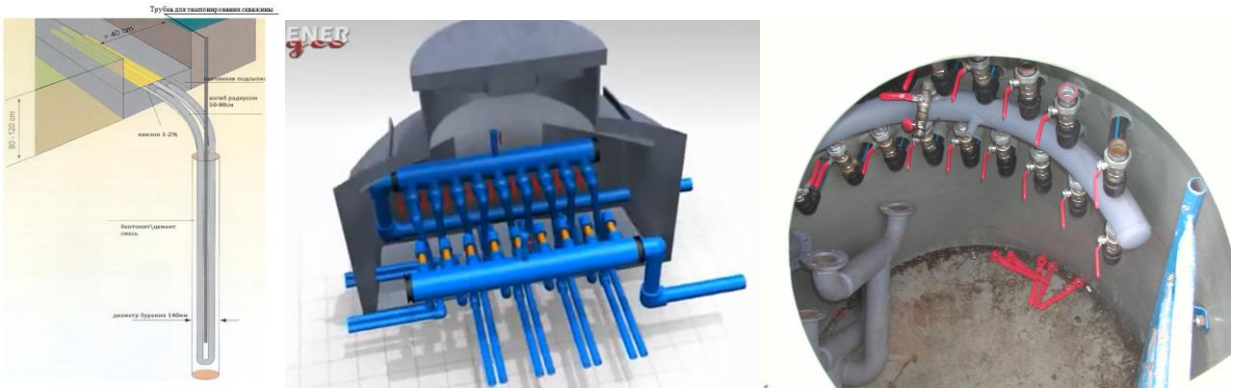
***Отбор теплоты наружного воздуха*** осуществляется в испарителях тепловых насосов типа «воздух-вода», энергетическая эффективность которых снижается при снижении температуры наружного воздуха. Поэтому использование теплоты наружного воздуха было ограничено температурой минус $5^0$С при технической возможности отбора до минус $15^0$С. В последние годы производители предлагают новые модификации тепловых насосов, устойчиво работающие при температуре наружного воздуха до минус $25^0$С, что позволяет рассчитывать на его круглогодичное использование [16, 17, 18].

Существенно повышается эффективность отбора теплоты наружного воздуха в периоды отрицательных температур при его смешении с дымовыми газами домовых котельных, когда их строительство планируется в качестве местных источников теплоснабжения отдельных многоэтажного жилого здания [15].

***Отбор теплоты грунта*** выполняется традиционно по известным технологическим схемам на основе теплообменников из пластиковых труб разного диаметра: горизонтальных с заглублением в грунт до 1,6 м (змейки, петли и др.) и вертикальных – проложенных в скважинах разной глубины или залитых в фундаментные сваи. Эффективность их применения, вид и технические параметры определяются результатами оценки ресурса территории строительства. Возможные ограничения: отсутствие свободных участковземли в высокоплотной застройке для прокладки горизонтальных теплообменников, бурение скважин имеет организационные проблемы и для достоверности расчетов требует дополнительных инженерно-геологических исследований.

Устройства отбора теплоты грунта вертикальными теплообменниками (зондами) включают скважины с теплообменниками из U-образных пластиковых трубок, соединительные трубопроводы и геотермальные колодцы с гребенками, через которые циркуляционными насосами выполняется гидравлическая связь теплообменников с испарителями тепловых насосов. Переносчиком теплоты от грунта является низкозамерзающая жидкость, например, водный раствор пропиленгликоля, теплофизические свойства которого значительно отличаются от свойств воды (см. табл.4.1).

Типовая конструкция теплообменника на основе геотермальных зондов представляет собой проложенные в скважине пластиковые трубы диаметром 25 - 40 мм, герметично соединенные внизу U-образной муфтой и образующие U-образный контур. В Республике уже накоплен опыт проектирования и эксплуатации устройств отбора теплоты на основе геотермальных зондов. Зонды объединяются в геотермальных колодцах, предназначенных для передачи низкопотенциальной теплоты в испарители тепловых насосов (илл. 4.2).



*Илл. 4.2 – Конструкции геотермального зонда и колодцев с гребенками*

Технические решения с применением теплообменников, залитых в сваях фундаментов жилых зданий, сегодня на стадии апробации и являются предметом исследований ГП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.».

Следует отметить необходимость использования при проектировании только объективных данных о физико-механических и теплофизических свойствах грунта по глубине скважин. При их отсутствии требуется выполнить целевые инженерно-геологические исследования, т.к. в не расчетных условиях и при длительной эксплуатации могут возникать проблемы, обусловленные изменением естественного температурного поля грунта вокруг геотермальных зондов и теплогенерирующих свай.

***Отбор теплоты подземных вод*** в зависимости от их качества и температуры возможен в теплообменниках или в тепловых насосах. Охлажденные воды или направляются на потребление как техническая вода, или возвращаются в пласт, или отводятся в водоток. При отсутствии ресурсных ограничений выбор оборудования и системная эффективность комплексного использования подземных вод зависит от их качества, постоянства расхода и температуры на устье скважин, требований потенциальных потребителей .

Наиболее перспективно использование геотермальных вод района Брестской геотермальной впадины, которые преимущественно пресные или местами с минерализацией до 12 г/литр (см. раздел 3). Работа по обоснованию размещения теплонасосной установки на тепличном комбинате «Берестье» подтвердила целесообразность многоцелевого использования геотермальной воды, включая последовательной охлаждение (теплообменник → тепловой насос) до температуры водопроводной воды с последующей ее подачей в сеть водоснабжения, а произведенную теплоту – в систему теплоснабжения [12]. Предложенное техническое решение в 2010 г. частично реализовано с установкой только тепловых насосов суммарной теплопроизводительностью 1 МВт (илл. 4.3).

*Илл. 4.3 – Узел забора геотермальной воды из скважины и вид на гидротермальные тепловые насосы*

В настоящее время рассматриваются варианты последовательного использования геотермальных вод как теплоносителя для тепловых насосов и технической воды для инженерного обеспечения пилотной жилой застройки в г. Бресте.

К категории геотермальных можно отнести воду водозаборов питьевого и технического водоснабжения, пилотные технические решение по отбору теплоты которой внедрены еще в 1996 году, подтверждены практикой и тиражируются [19]. Возможность отбора теплоты в условиях города подтвердила реализованная в 2001 году система отбора теплоты воды из городского водовода по ул. Гоголя для теплоснабжения торгового комплекса в центре г. Бреста. Надежность и эффективность решения гарантировали постоянная циркуляция воды в водоводе и ее высокая температура – около $9^0$С зимой и $15^0$С летом.

Использование теплоты грунтовых вод предпочтительно при размещении проектируемых жилых зданий на площадках, требующих водопонижения, на пойменных и намывных территориях [20]. Методика обоснования системы отбора теплоты грунтовых вод, включая анализ геолого-гидрогеологических условий, температурного режима грунтового и первого от поверхности напорного водоносных горизонтов, апробирована при проектировании источника теплоснабжения таможенного перехода «Новая Рудня» в Гомельской области [21]. В эксплуатируемой с 2003 г. теплонасосной установке грунтовая вода из трех водозаборных скважин каждая глубиной 20 м и расчетным дебитом 20 $м^3$/час является источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса теплопроизводительностью 273 кВт. Температура грунтовой воды на глубине водоносного пласта 10-15 м в отопительный период $7,6^0$С. На илл. 4.4 показаны вид на тепловой насос теплопроизводительностью 273 кВт (справа бак-аккумулятор горячей воды) и на один из теплоснабжаемых корпусов.

*Илл. 4.4 – Вид на тепловой насос и один из корпусов таможенного перехода*

Особенность выбора устройств ***отбора теплоты поверхностных вод*** (речных или водоемов) в несовпадении максимума их теплового потенциала и тепловой нагрузки потребителей. Технические решения определяются местными условиями и требуют обязательного экологического обоснования.

Отбор теплоты от поверхностных вод принципиально возможен теплообменником, размещаемым на берегу, и теплообменником, погруженным в речной поток или положенным на дно. В первом варианте вода непосредственно из реки, водоема или подрусловой скважины по трубопроводу подается в пластинчатые и трубчатые теплообменники «вода-антифриз», где охлаждается теплоносителем контура испарителей тепловых насосов, во втором – вода нагревает теплоноситель контура испарителей тепловых насосов непосредственно в водоеме или русле реки.

Комплекс вопросов, возникающих при разработке вариантов отбора теплоты озерной воды с учетом влияния режимов поступления в озеро грунтовых вод, рассмотрен в предпроектном обосновании поливалентного источника теплоснабжения базы отдыха на оз. Б. Швакшты в Мядельском районе, прошедшем экологическую экспертизу [22]. Принято решение о использования не озерной воды, а гидравлически связанной с озерной грунтовой воды из трех водозаборных скважин (две рабочие, одна резервная) глубиной до 20 м расчетным дебитом 30 $м^3$/час каждая, расположенных в 30-40 м от уреза воды озера Б. Швакшты. Вода, подающаяся из скважин по напорным трубопроводам, охлаждается в пластинчатом теплообменнике на 2..4°С и отводится по самотечному трубопроводу в озеро без изменения ее химического состава. На основании данных РУП «Белгеология» и термограммы скважины-аналога, расположенной на берегу озера Нарочь, температура подземных вод мало изменяется по глубине скважины и на глубине 15 м составляет около 7,5°С. Однако с учетом влияния озера на температурный режим подземных вод, можно предположить, что вода в скважине на глубине до 20 м будет иметь весной более низкую температуру, чем в зимние месяцы, а в летние и осенние месяцы – более высокую.

При размещении многоэтажных жилых зданий вблизи водоохранных зон рек и экологических ограничениях рационален вариант использования подрусловой воды. Состав блока отбора теплоты зависит от условий расположения подрусловых скважин, их дебита и качества воды. Как правило, это последовательно соединенные трубопроводами скважины с насосом, фильтры очистки вода, теплообменник, который размещается в помещении с тепловыми насосами. В расчетах необходимо учитывать сезонные изменения температур поверхностных вод.

Разработанные решения по отбору теплоты подрусловых вод апробированы в проектах и реализованы для теплоснабжения объектов социальной сферы и ВКХ в г. Гомеле (р.Сож), Речицком районе (р.Березина), Минском районе (р.Свислочь), а речной воды – для отопления насосной станции водозабора ПО «Стекловолокно» (р.Западная Двина). На илл. 4.5 показана обвязка теплового насоса теплопроизводительностью 360 кВт, интегрированного по контуру испарителя в систему технологического водоснабжения головной канализационной насосной станции в Минском районе.

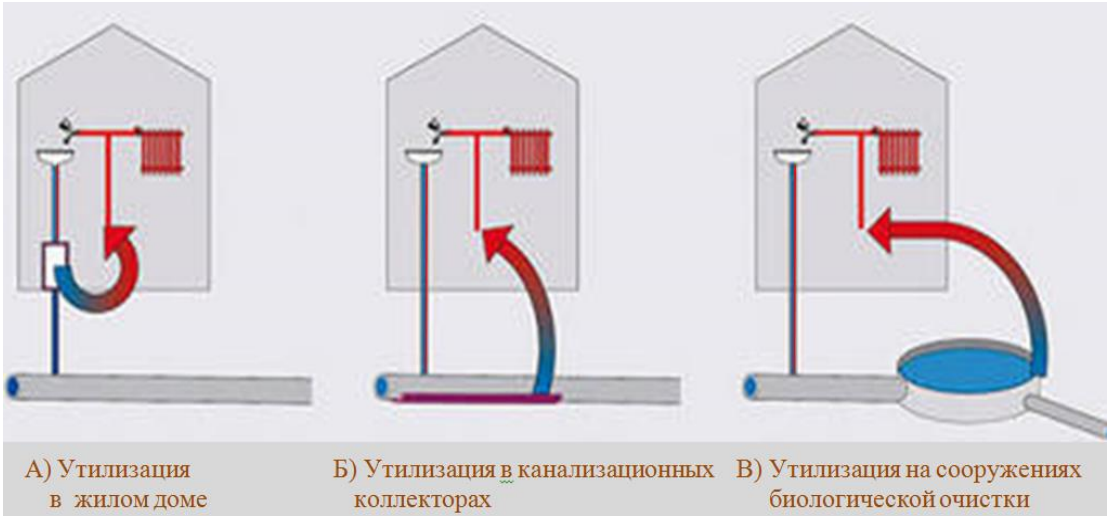
*Илл. 4.5 – Вид на тепловой насос и комплекс зданий канализационной насосной станции (на заднем плане видна труба ликвидированной котельной)*

Очевидно, что тепловой ресурс поверхностных вод, который может быть использован без нарушения экологических требований, должен быть сбалансирован с тепловой

нагрузкой жилых зданий, размещаемых, как правило, за границей природоохранных зон. Расчетные объемы забора должны подтверждаться пробными откачками в течение 2…3 суток.

***Отбор теплоты сточных вод.*** Наиболее распространен способ отбора (утилизации) теплоты сточных вод теплопередачей нагреваемой среде с применением теплообменников проточного или погружного типа с трубчатой и листовой поверхностью. Нагреваемой средой может быть вода систем горячего водоснабжения, теплоноситель контура испарителей и рабочий агент тепловых насосов. Элементами систем отбора теплоты могут быть пластинчатый или трубчатый теплообменник, резервуар-усреднитель/аккумулятор потока сточных вод, микро-КНС, тепловые насосы, циркуляционные насосы и др. Системы отличаются структурой и конструктивным исполнением основного оборудования.

Возможны три базовых варианта мест отбора теплоты сточных вод (илл. 4.6), зависящие от соотношения величины тепловой нагрузки жилого здания и теплового потенциала потока сточных вод различного качества: непосредственно в здании (**А**), в коллекторах наружной канализационной сети (**Б**) и на очистных сооружениях биологической очистки сточных вод (**В**) [23].




*Илл.4.6 – Размещение устройств отбора теплоты сточных вод*

**А. Отбор теплоты бытовых сточных вод в жилом здании (илл. 4.6 А).**

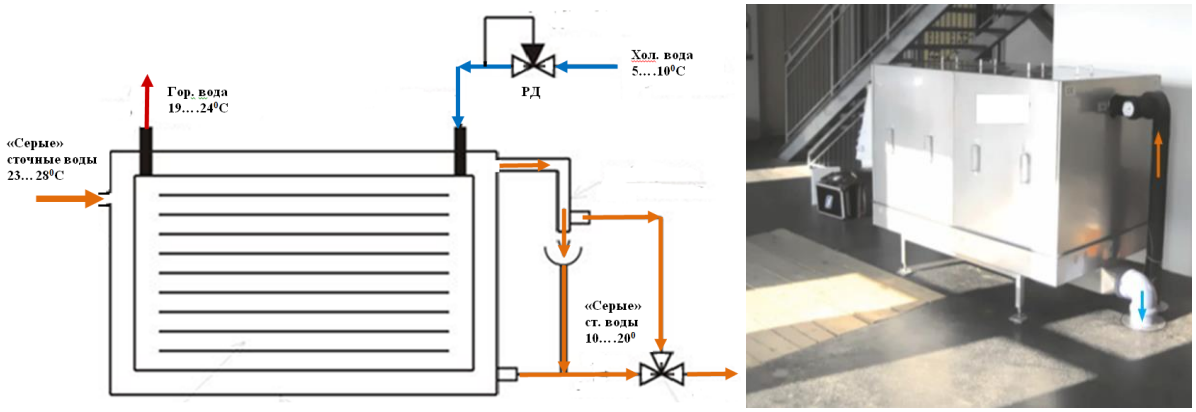
Отбор теплоты сточных вод непосредственно в жилом здании технически возможен с применением резервуаров-усреднителей неравномерности потока, погружных и проточных теплообменников. Греющей средой могут быть все бытовые сточные воды или только «серые», а нагреваемой – холодная вода систем горячего водоснабжения или теплоноситель контура испарителей тепловых насосов. Выбор типа и структуры теплообменного блока определяется конструктивными параметрами здания, планировочным решением подвала (технического подполья), отметками размещения сборных трубопроводов внутри здания и лотка ближайших колодцев наружной канализационной сети.

На илл. 4.7а показана схема одного из возможных вариантов теплообменного блока, в котором пластинчатый теплообменник с потоком холодной воды сети горячего водоснабжения погружен в резервуар-усреднитель потока «серых» сточных вод. Их контакт исключается поддержанием более высокого давления воды в теплообменнике, чем в резервуаре сточных вод. Возможные санитарно-гигиенические проблемы исключаются при

подаче в этот теплообменник теплоносителя (антифриз) контура испарителей тепловых насосов.

Техническое решение с раздельным размещением резервуара-усреднителя и проточного пластинчатого теплообменника «сточная вода-антифриз» с насосной подачей усредненного потока сточных вод в теплообменник и отведение под остаточным напором в наружную сеть эффективно реализуется при высоких отметках прокладки внутриквартальной канализационной сети. Пример размещения в здании теплообменника тепловой мощностью 22,9 кВт показан на илл. 4.7б, а в таблице 4.2 приведены его технические параметры.

а) б)




*Илл. 4.7 – Схема теплообменного блока с погружным теплообменником (а) и пример размещения проточного теплообменника (б)*

*Таблица 4.2 – Технические параметры теплообменников «сточные воды-антифриз», размещаемые в зданиях*

| № п/п | Наименование показателей | Тип 1 | Тип 2 | | Тип 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Тепловая мощность, кВт | 22,9 | 120 | 102 | 129,5 | 111,2 |
| 2 | Параметры сточных вод (греющая среда): | | | | | |
| | • расход, м$^3$/час | 11,6 | 20 | 40 | 20 | 40 |
| | • температура входа,$^0$С | 8,4 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | • температура на выходе, $^0$С | 6,7 | 9,9 | 12,8 | 9,4 | 12,6 |
| 3 | Параметры нагреваемой среды: | | | | | |
| | • расход, м$^3$/час | 4,93 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | • температура входа,$^0$С | минус 4 | минус 4 | 3 | минус 4 | 3 |
| | • температура на выходе, $^0$С | 0 | 2 | 8,1 | 2,5 | 8,6 |
| 4 | Габарита (lxbxh), м | 1,9x1,1x1,5 | 3,4x1,1x1,8 | | 1,9x1,1x1,9 | |
| 5 | Вес, кг | | 650 | | 547 | |

В Республике уже накапливается опыт эксплуатации системы утилизации теплоты «серых» сточных вод многоэтажных зданий, разработанной в РУП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.». Система состоит из накопительной емкости с сетчатым фильтром, циркуляционного насоса, теплообменника, в котором сточная вода передает теплоту холодной воде, трехходового клапана, изменяющего направление охлажденного потока сточных вод, блока информации и управления [24].

**Б. Отбор теплоты городских сточных вод в безнапорных канализационных коллекторах (см. илл. 4.6 Б).**

Исходными для выбора структуры и конструктивного исполнения устройств являются данные предприятий, эксплуатирующих канализационные коллекторы:

- условия размещения и конструктивные параметры коллектора;
- расходы и температуры потока сточных вод в характерные периоды суток (греющая среда);
- расходы и температура теплоносителя контура отбора теплоты сточных вод (нагреваемая среда);
- планировочные ограничения;
- требования к компактности, тепловой эффективности и эксплуатационной надежности.

Полный перечень данных о параметрах коллектора и городских сточных вод, на основании которых выполнялся выбор устройств отбора теплоты городских сточных вод для отопления и горячего водоснабжения пилотного 10-ти этажного жилого здания в г. Гродно, приведены в таблице 4.3 .

*Таблица 4.3 – Параметры канализационного коллектора и сточных вод, приведенные на основании данных ГУКПП «Гродноводоканал»*

| Наименование параметров | Ед. изм. | Количество |
|---|---|---|
| 1. Параметры канализационного коллектора: | | |
| • материал/диаметр трубы | -/мм | железобетон/500 |
| • диаметр трубы | мм | 500 |
| • уклон на ближайшем участке | - | 0,011 |
| • наполняемость трубы (мин./макс.) | % | 20/100 |
| • расстояние от жилого дома до ближайших колодцев | м | 25 и 30 |
| • диаметр/отметка лотка ближайшего колодца | м/… | 1,0/4,55 |
| 2. Параметры сточных вод: | | |
| • расход в отопительный период (мин./макс.) | $м^3$/час | 120/1000 |
| • расход в межотопительный период (мин./макс.) | ”-“ | 200/1200 |
| • температура в отопительный период (мин./макс.) | $^0$C | 12/17 |
| • температура в межотопительный период (мин./макс.) | ”-“ | 17/22 |
| • показатели качества (pH – 7,5…8,0; взвешенные – 100….300 мг/л; ХПК – 400…1000 мг$O_2$/$дм^3$) | | |

Рассматривались три базовых варианта структуры и конструктивного исполнения устройств.

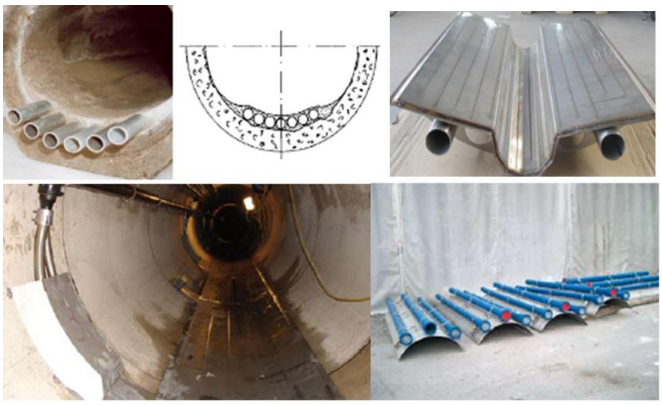
***Вариант 1.*** Отбор теплоты сточных вод теплообменником «сточная вода-антифриз», который размещается непосредственно в канализационном коллекторе [30].

Начальной информацией для оценки технической возможности размещения теплообменных трубок или панелей в коллекторе является конструктивное исполнение трубопроводов канализационной сети и данные об объемах и режимах потока сточных вод в течение суток и сезонов года (см. табл.4.2). Обязательное условие – теплообменник должен находиться в потоке даже в периоды минимума расхода, которому соответствует минимум наполнения трубы (отношение высоты потока к диаметру трубы). Так, если для железобетонной трубы диаметром 500 мм, проложенной с уклоном 0,011, расчетному наполнению 0,75 соответствует расход сточных вод 1220 $м^3$/час и скорость потока 2,15 м/сек, то минимальному наполнению 0,2 – расход 117,4 $м^3$/час и скорость 1,17м/сек. При

этом диаметре и уклоне трубы минимальной для смыва осадка является скорость потока 0,93 м/сек [25].

Следует учитывать, что в периоды с минимальными расходами, характерными для ночных часов суток, снижается тепловая нагрузка проектируемых жилых зданий, а соответственно, требуемая производительность теплообменника. Эти периоды являются расчетными на соответствие требованиям эксплуатирующих служб к минимальной температуре сточных вод в данном участке самотечного трубопровода. Например, для приведенных в табл. 4.2 условий (120 $м^3$/час и $12^0$С) при отборе 100 кВт температура потока сточных вод снизится только на $0,72^0$С.

Варианты конструктивного исполнения теплообменников и их размещения в канализационных коллекторах на илл. 4.8, а в таблице 4.4 – данные некоторых эксплуатируемых устройств.



*Илл.4.8 – Варианты конструкции теплообменников из труб и панелей и их размещения на дне коллектора*

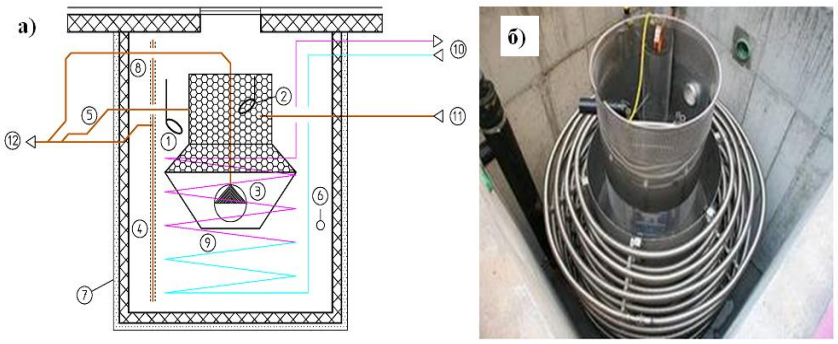
*Таблица 4.4 – Общие сведения по устройствам отбора теплоты сточных вод теплообменниками, размещенными в канализационных коллекторах некоторых европейских городов*

| № п/п | Наименование показателей | Tubingen (2009 г.) | Berlin (2006 г.) | Paris (2009 г.) | Hamburg (2009 г.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Диаметр канализационного коллектора, мм | 1500 | 500 | 100* | 1200 |
| 2 | Расход сточных вод в коллекторе, $м^3$/час | 468 | 144 | 36 | 43,2 |
| 3 | Расчетная тепловая нагрузка объектов, кВт | 73 | 130 | 120 | 200 |
| 4 | Количество утилизированной теплоты, кВт | 22,5 | 32 | 92 | 105 |
| 5 | Длина теплообменника, м | 17 | 23 | 82 | 95 |

*- радиус дна овальной формы коллектора

***Вариант 2.*** Отбор теплоты сточных вод теплообменником «сточная вода-антифриз», размещаемым в колодце канализационного коллектора или в специальном проточном резервуаре.

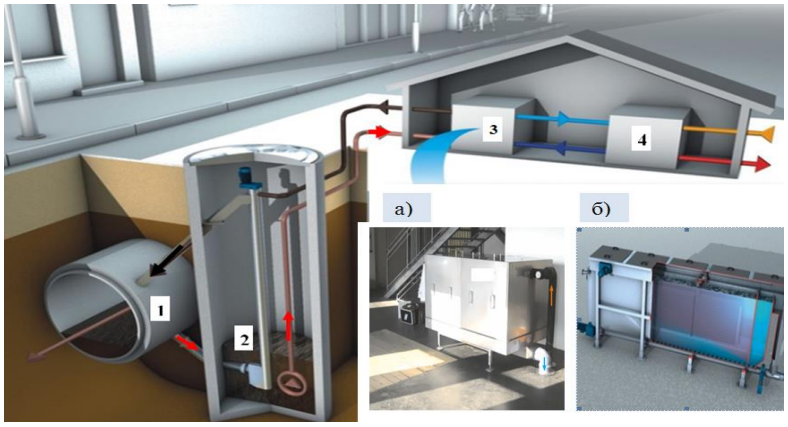
Техническое решение варианта много лет реализуется в странах Европы. На илл. 4.9 показаны состав (а) и конструктивное исполнение (б) теплообменного блока [26].




*Илл. 4.9 – Схема (а) и конструктивное исполнение (б) теплообменного блока (1 - датчик минимального уровня сточных вод, 2- датчик максимального уровня сточных вод, 3- насос удаления осадка, 4- внутренняя стенка колодца, 5- переливная труба, 6-датчик температуры, 7- наружная гидроизоляция, 8- вентиляционная труба, 9- теплообменник, 10- трубопроводы «теплообменник-тепловой насос», 11, 12 - трубопроводы канализационной сети)*

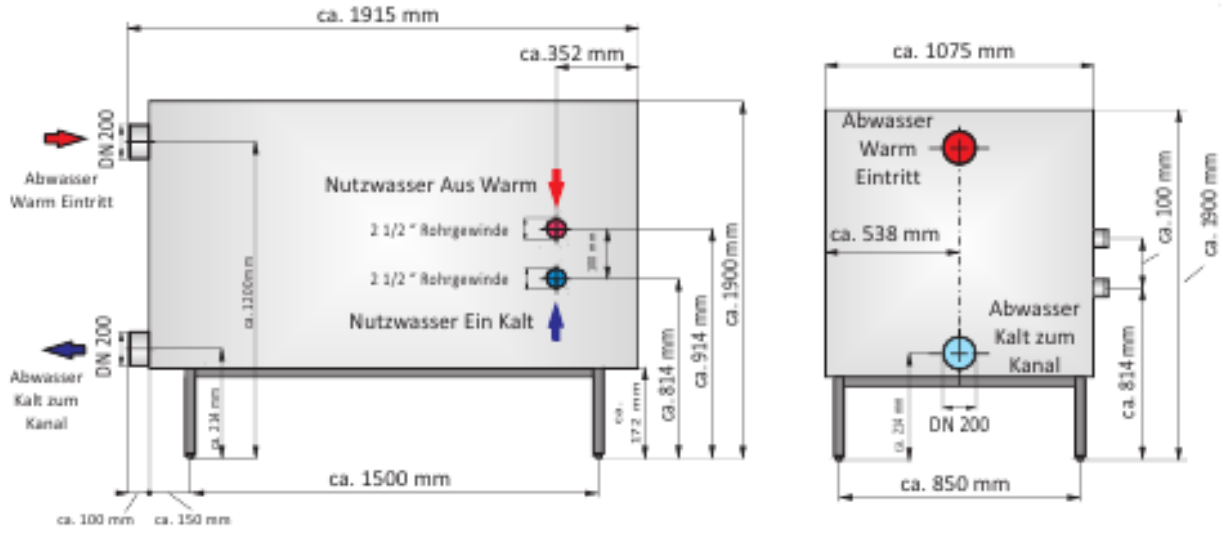
Как видно (см. илл. 4.9), в резервуаре размещается теплообменник специальной конструкции из нержавеющей стали, сетка-фильтр и насос удаления осадка. Теплообменник всегда находится в сточных водах без крупных фракций, которые могли бы вызвать закупорку пространства между витками теплообменных трубок. Задержанные фильтром фракции и осадок в периоды промывки фильтра удаляются обратным потоком сточных вод. Сетка цилиндрической формы монтируется выше расчетного уровня сточных вод в лотке колодца коллектора. Колодец всегда заполнен до уровня перелива.

***Вариант 3.*** Отбор теплоты сточных вод в пластинчатом теплообменнике «сточная вода-антифриз», который размещается в техническом помещении жилого дома (илл. 4.10).

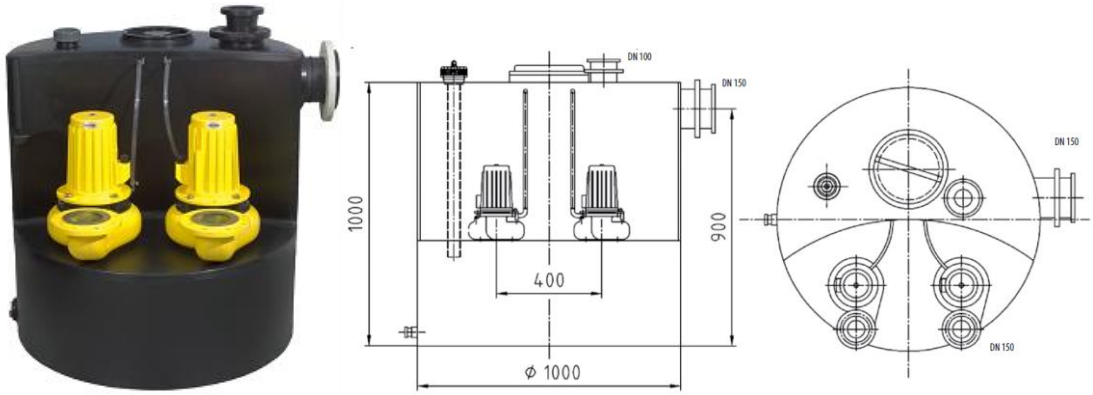



*Илл. 4.10 – Схема отбора теплоты сточных вод и конструктивное исполнение теплообменного блока (1 - трубопровод канализационной сети, 2- микро-КНС, 3- теплообменник конструкций а) и б), 4- тепловой насос)*

В теплообменник сточные воды по управляемому режиму подаются насосами канализационной насосной станции (микро-КНС), располагаемой в сухом колодце вблизи места забора сточных вод из коллектора. Возвращение охлажденных сточных вод в коллектор под остаточным напором по самотечному трубопроводу или по сети отведения сточных вод жилого дома. На илл. 4.11 и 4.12 показаны конструкции теплообменника (см. поз.3а на илл. 4.10) и микро-КНС (см. поз.2 на илл. 4.10), а в таблицах 4.2 и 4.5 – их технические параметры. Указанное оборудование планировались для применения в системе отбора теплоты сточных вод для отопления и горячего водоснабжения пилотного энергоэффективного жилого дома в г. Гродно [27].




*Илл.4.11 – Конструкция пластинчатого теплообменника отбора теплоты городских сточных вод (Q = 111,2 кВт, $G_{св}$ =40 $м^3$/час, $t_{св.\ вх.}$=15$^0$C, $t_{св\ вых.}$= 12,6$^0$C, $G_{нагр.}$ = 20 $м^3$/час, $t_{нагр.\ вх.}$=3$^0$C, $t_{нагр.\ вых.}$= 8,6$^0$C)*




*Илл. 4.12 – Конструкция насосного блока сухой микро-КНС* ($G_{max}$ =60 $м^3$/час; $H_{max}$ =11м; $P_1$= 4 кВт; $P_2$= 3 кВт; n = 1400 об/мин) [28]

*Таблица 4.5 – Технические данные мини-КНС, рекомендуемые к применению в системах отбора теплоты сточных вод*

| № п/п | Наименование показателей | Тип 1 | | Тип 2 | | Тип 3 | Тип 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Производительность, $м^3$/час | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 75 |
| 2 | Объем камеры-резервуара сточных вод, л | 55 | | 150 | | 480 | 1000 |
| 3 | Диаметр присоединений ($d_y$)*, мм | 100/100 | | | | 150/100 | |
| 4 | Потребляемая мощность электродвигателя, кВт | 1,1 | 1,5 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 4,0 |
| 5 | Количество насосов, шт | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | Напор, м | 6 | 4 | 2,5 | 4,5 | 4,5 | 9,0 |
| 7 | Габарита (lxbxh), м | 0,56x0,54x0,58 | | 1,0x0,78x1,09 | | 1**x1 | 1,45x0,95x1,0 |
| 8 | Вес, кг | 32,5 | 34,5 | 70 | 90 | 205 | 385 |

*- числитель – вход сточных вод, знаменатель – выход; **- диаметр;

Ррезультаты экспертной оценки преимущества и недостатков рассмотренных вариантов структуры и конструктивного исполнения устройств отбора теплоты сточных вод в безнапорных канализационных коллекторах приведены в таблице 4.6.

*Таблица 4.3 – Основные преимущества и недостатки альтернативных решений*

| Номер варианта | Преимущества | Недостатки |
|---|---|---|
| Вариант 1 (базовый) | 1. Нет необходимости в устройстве резервуара и насосов подъема сточных вод.<br>2. Малые капитальные вложения. | 1. Снижение пропускной способности канализационного коллектора<br>2. Низкая температура теплоносителя на входе в испарители тепловых насосов<br>3. Большие объемы заправки контура водным раствором пропиленгликоля.<br>4.Расход электроэнергии на подачу теплоносителя в испарители тепловых насосов. |
| Вариант 2 | 1.Минимум влияния на работу коллектора.<br>2. Выше температура теплоносителя на входе в испарители тепловых насосов | 1. Большие капитальные вложения.<br>2. Большой суммарный расход электроэнергии на удаление осадка сточных вод и подачу теплоносителя в испарители тепловых насосов.<br>3. Большие объемы заправки контура водным раствором пропиленгликоля.<br>4. Необходимость в прокладке кабельной линии от щита 0,4 кВ жилого дома до теплообменного блока.<br>5. Затраты на обслуживание теплообменного блока. |
| Вариант 3 | 1. Минимум влияния на работу коллектора.<br>2. Выше температура теплоносителя на входе в испарители тепловых насосов<br>3. Компактность и надежность работы теплообменника. | 1. Необходимость в прокладке кабельной линии от щита 0,4 кВ жилого дома до микро-КНС.<br>2. Необходимо место для размещения теплообменника<br>3.Больший суммарный расход электроэнергии на подачу сточных вод в теплообменник и теплоносителя в испарители тепловых насосов.<br>. |

**В. Отбор теплоты сточных вод на сооружениях биологической очистки (см. рис 4.6В).**

В зависимости от показателей качества очищенных сточных вод рассматриваются варианты отбора их теплоты в теплообменниках «сточные воды – теплоноситель контура испарителей» или непосредственно в испарителях тепловых насосов. Их параметры и место размещения зависят от расстояния от очистных сооружений до проектируемых зданий, условий прокладки трубопроводов между ними, величины и плотности тепловой нагрузки. Теплообменники, как и тепловые насосы, могут размещаться на площадке очистных сооружениях (илл. 4.13) или в подвалах проектируемых зданий (см. илл. 4.7.б).

*Илл. 4.13 – Пример размещения и обвязки теплообменников «сточные воды – теплоноситель контура испарителей» на сооружениях биологической очистки*

Значительный и практически постоянный в течение года тепловой потенциал очищенных сточных вод стимулирует его использование для теплоснабжения не одного, а нескольких жилых зданий и даже жилых районов.

Реализация такого решения планировалась на Минской станции аэрации в проекте развития свободной экономической зоны «Минск» (планировочное образование первой производственной зоны «Шабаны»). В качестве инвестиционного проекта было обосновано размещение на очистных сооружениях г.Минска энергокомплекса с подачей очищенных сточных вод в испарители пяти тепловых насосов теплопроизводительностью 25 МВт каждый. Работа планировалась совместно с районной котельной Шабаны для теплоснабжения потребителей г. Минска. В настоящее время на очистных сооружениях установлены 3-и тепловых насоса суммарной теплопроизводительностью около 300 кВт только для теплоснабжения собственных нужд предприятия.

**Устройства отбора теплоты оборотной воды** (теплообменники, тепловые насосы) аналогичны устройствам отбора теплоты биологически очищенных сточных вод. Первой и ответственной задачей их проектирования является получение достоверных данных о действующих охладителях оборотной воды, параметрах и режимах работы систем оборотного водоснабжения в течение года и планируемых сроков техперевооружения предприятий. При отсутствии планировочных и технологических ограничений интегрирование устройств отбора теплоты оборотной воды в системы оборотного водоснабжения эффективно как для самих предприятий, так и для потребителей произведенной тепловой энергии. Техническая реализуемость таких решений доказана отечественным опытом [29].

***Трансформация теплоты НПИТ*** в теплоту потребительских температур технически возможна только с применением тепловых насосов. Эффективность трансформации зависит от вида, качества и температуры теплоносителя на входе в испарители, вида рабочего агента и температуры теплоносителя на выходе конденсаторов – чем меньше разность температур, тем выше эффективность.

Для отопления и горячего водоснабжения отдельных многоэтажных жилых зданий, как правило, применяются парокомпрессионные тепловые насосы[5] теплопроизводительностью до 100 кВт, объединяемые, при необходимости, в каскад из двух и более единиц. На выбор их типа, мощности и количества влияют вид и параметры НПИТ, величина и структура тепловой нагрузки жилого здания, тип и параметры систем отопления и горячего водоснабжения. Тепловые насосы могут быть как единственным источником теплоснабжения, т.е. покрывать 100% тепловой нагрузки жилого здания, так и работать в бивалентном режиме на покрытие, как правило, базовой части суточного графика. Основные технические требования к их применению: класс энергетической эффективности А++, заправка озонобезопасными рабочими агентами, обеспечение расчетных температур теплоносителей, управляемость, низкие шумовые характеристики, компактность.

В настоящее время тепловые насосы достаточно широко представлены на белорусском рынке. Они различаются по виду используемой низкопотенциальной теплоты, тепловой мощности, виду рабочего агента, комплектации и габаритным размерам, стоимости,

[5] Для при технико-экономическом обосновании в структуре местной котельной на природном газе могут применяться абсорбционные тепловые насосы

условиям поставки, гарантиям производителей и др. Это тепловые насосы со спиральными, ротационными и винтовыми компрессорами, ресурс работы передовых модификаций которых до капитального ремонта не менее 100 000 моточасов. Началось применение тепловых насосов с регулируемыми по мощности инверторными компрессорами, которые при достижении проектных значений температуры воздуха в помещениях или горячей воды не отключаются, а переходят на пониженную мощность и поддержание заданных температур. По данным производителей максимальная рабочая температура воды на выходе тепловых насосов с рабочими агентами R407C, R134a, R410A, R404A, R417A и R717 (пропан) составляет 45 … $65^0$C, а с R744($CO_2$) – $90^0$C. Основные свойства названных рабочих агентов приведены в таблице 4.7.

*Таблица 4.7 – Основные свойства рабочих агентов тепловых насосов*

| Виды рабочих агентов | Нормальная температура кипения, $^0$C | Критическая температура, $^0$C | Критическое давление, МПа | Озоноразрушающий потециал (ODP) | Потенциал глобального потепления (GWP) | Горючесть |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R404A (52% R143a + 44%R125 +4%R134a) | Минус 46,3 | 72,0 | … | 0 | 3750 | Не горюч |
| R407C (23% R32 + 25%R25 +52%R134a) | Минус 44 | 87,3 | 4,63 | 0 | 1520 | -“- |
| R410A (50%R32+50% R125) | Минус 51 | 72,5 | 4,93 | 0 | 1720 | -“- |
| R417A (50%R134a + 46,6% +R125 + 3,4%R700) | Минус 43 | 90,0 | 3,78 | 0 | 1950 | -“- |
| R134a | Минус 26 | 101,5 | 4,06 | 0 | 1300 | -“- |
| R744 ($CO_2$) | Минус 78,5 | 31,0 | 7,383 | 0 | 1 | -“- |
| R290 (пропан) | Минус 42 | 97,0 | 4,27 | 0 | 3 | Горюч |

Для трансформации низкопотенциальной теплоты рассмотренных НПИТ (см. раздел 3) применяются тепловые насосы типа «воздух-вода», «рабочий агент-вода», «антифриз-вода» и «вода-вода».

**Тепловые насосы «воздух-вода» (аэротермальные)** применяются для отопления и горячего водоснабжения, как правило, совместно с другим теплогенерирующим источником. В зависимости от конструкции тепловых насосов и типа компрессоров при температуре наружного воздуха минус $24^0$C температура воды на выходе конденсаторов с рабочими агентами R407C, R410A и R717 (пропан) составляет 45 … $50^0$C, а при температуре плюс $35^0$C – 55… $60^0$C. Для тепловых насосов с R744($CO_2$) в этом диапазоне температур наружного воздуха (минус $24^0$C…плюс $35^0$C) максимальная рабочая температура воды на выходе газоохладителей $90^0$C.

Кроме различия в рабочих агентах, компрессорах и диапазоне рабочих температур, аэротермальные тепловые насосы отличаются типами испарителей (с вентиляторами и пассивные), забором и отведением воздуха вентиляторами (радиальные, осевые), конструкциями (агрегатированные или разделенные на испарительный и компрессорно-конденсаторный блоки), местами размещения (в помещении, на улице).

В европейских странах активно применяются как агрегатированные, так и разделенные на блоки тепловые насосы [16, 17, 18, 30]. Только в Польше за период 2010 … 2015 г.г. число установленных для отопления и горячего водоснабжения увеличилось с 1500 ед. до 3916 ед., а для горячего водоснабжения – с 2060 ед. до 8788 ед. [31].

В Республике Беларусь получают признание, в основном, агрегатированные тепловые насосы с вентиляторными испарителями и их размещением вне помещений. В таблице 4.8 приведены технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» модели F2300 фирмы «NIBE» (Швеция), а на илл. 4.14 – показан их вид [16].

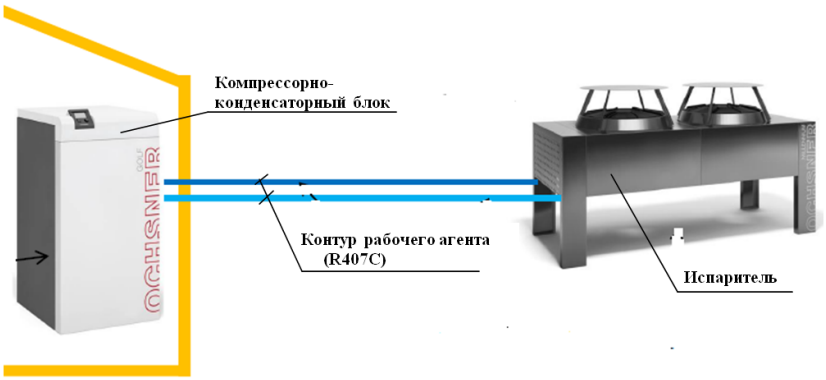
*Таблица 4.8 – Технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» F2300*

| Наименование показателей | Количество при **t** гор. воды на выходе конденсаторов 55$^0$C при **t** нар. воздуха | | | |
|---|---|---|---|---|
| | минус 25$^0$C | минус 7$^0$C | 7$^0$C | 20$^0$C |
| Теплопроизводительность, кВт | 9,0*** | 14,0 | 19,0 | 25,0 |
| Расход воздуха через испаритель, м$^3$/час | 3700 (6000)* | | | |
| Расход воды через конденсатор, м$^3$/час | 1,7/3,4** | | | |
| Потребляемая мощность оборудования, кВт | 5,5*** | 6 | 6,55 | 7 |
| в т. ч. вентиляторов | 0,1 (0,224) | | | |
| Тип/количество компрессоров, -/шт | спиральный/1 | | | |
| Вид/вес рабочего агента, -/кг | R407C/2,8 | | | |
| Уровень звукового давления на расстоянии 2 м / звуковой мощности, dB(A) | 39(48)*/53(62)* | | | |
| Габариты теплового насоса (lxbxh)/вес, м | (1,455x0,620x1,385)/230 | | | |

*- в скобках вторая скорость вентилятора; **- числитель – минимальный расход, знаменатель – максимальный расход; ***– при температуре подачи теплоносителя 50$^0$C

*Илл. 4.14 – Вид на каскад из тепловых насосов «воздух-вода» F2300*

Разделенные на блоки тепловые насосы с испарителями наружной установки, оборудованные радиальными вентиляторами с бесступенчатым регулированием числа оборотов, производит фирма «Ochsner» (Австрия). На илл. 4.15 показан внешний вид наружного и внутреннего блоков теплового насоса “воздух-вода” GMLW 35, заправленного рабочим агентом R407C, а в таблице 4.9 – приведены его основные технические характеристики [17].




*Илл. 4.15 – Вид на испаритель и компрессорно-конденсаторный блок теплового насоса GMLW 35 plus*

Преимущество этих тепловых насосов перед агрегатированными – в отсутствии тепловой сети и полезном использовании теплоты грунта при прокладке фреонового контура между испарителем и компрессорно-конденсаторным блоком (см. илл. 4.15).

*Таблица 4.9 – Технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» GMLW35 plus фирмы «Ochsner»*

| Наименование показателей | Количество при **t** гор. воды на выходе конденсатора $55^0$C при **t** нар. воздуха | | | |
|---|---|---|---|---|
| | минус $24^0$C* | минус $7^0$C | $7^0$C | $20^0$C |
| Теплопроизводительность, кВт | 18,0 | 24,5 | 33,8 | 44,5 |
| Расход воздуха через испаритель, $м^3$/час | 9800 | | | |
| Расход воды через конденсатор, $м^3$/час | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| Потребляемая мощность оборудования (всего) кВт | 8,6 | 9,0 | 9,7 | 9,9 |
| т. ч. вентиляторов | 0,337 | | | |
| Тип/количество компрессоров, - /шт | Scroll/1 | | | |
| Вид/вес рабочего агента, - /кг | R407C/ 13 ÷ 17 (зависит от длины контура) | | | |
| Уровень звукового давления/ звуковой мощности испарителя на расстоянии 1,0м, dB(A) | 33/61 | 33/57 | | |
| Габариты блоков теплового насоса (lxbxh), м<br>• наружного испарительного | 2,22x0,96x1,08 | | | |
| • внутреннего компрессорно-конденсаторного | 0.6x0.65x1.15 | | | |
| Вес наружного/внутреннего блоков, кг | 180/164 | | | |

*- при минус $24^0$C температура теплоносителя $50^0$C

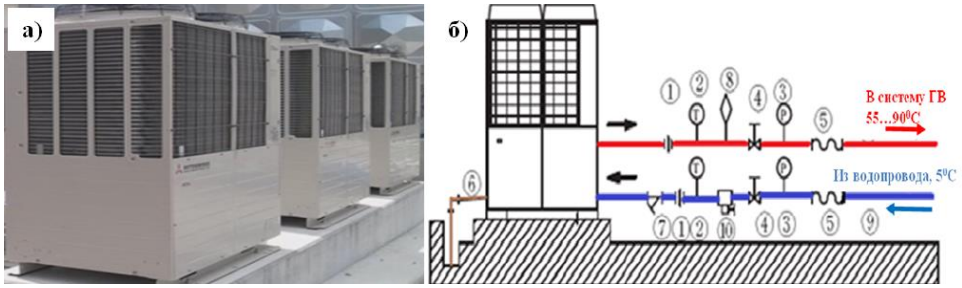
Наряду с уже известными тепловыми насосами «воздух-вода» с «условно» традиционными рабочими агентами R407C, R410A и R404A, в последние годы в Беларуси получают признание тепловые насосы экологически чистых рабочих агентах R744($CO_2$) и R717 (пропан).

Наиболее перспективны из агрегатированных являются тепловые насосы модели Q-ton ESA30 фирмы «Mitsubishi Heavy Industries» (Япония), заправленные R744($CO_2$), которые идеально подходят для круглогодичного покрытия нагрузки горячего водоснабжения жилых зданий. Его основные технические характеристики приведены в таблице 4.10 [18].

*Таблица 4.10 – Технические характеристики теплового насоса Q-ton ESA30*

| Наименование показателей | Количество при **t** гор. воды на выходе $60^0$C* при **t** нар. воздуха | | | |
|---|---|---|---|---|
| | минус $25^0$C | минус $7^0$C | $7^0$C | $20^0$C |
| Теплопроизводительность, кВт | 21,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 |
| Расход воздуха через испарители, $м^3$/час | 15600 | | | |
| Параметры воды системы ГВ через газоохладитель:<br>• расход, $м^3$/час | 0,328 | 0,469 | | |
| • температура (вход/выход), $^0$C | 5/60 | | | |
| Потребляемая мощность оборудования, всего | 10,154 | 11,664 | 7,922 | 7,44 |
| т. ч. привода компрессора | 8,91 | 10,42 | 7,05 | 6,57 |
| • вентиляторов | 0,772 | | | |
| • нагревателей картера | 0,02 | | - | |
| • нагревателей антизамораживания воды | 0,352 | | - | |
| • встроенного насоса системы ГВ | 0,1 | | | |
| Тип/количество компрессоров | двухступенчатый герметичный инвертор/1 | | | |
| Вид/вес рабочего агента | R744 ($CO_2$)/8,5 | | | |
| Максимальные уровни звуковой мощности при работе теплового насоса на расстоянии 1 м, dB(A) | 58 | | | |
| Габариты теплового насоса (lxbxh)/вес, м/кг | (1,35x0,72x1,69)/365 | | | |

Энергетическую эффективность работы Q-ton ESA30 обеспечивает спирально-роторный инверторный компрессор двойного сжатия «SCROTARY». Благодаря синтезу технологий и свойств диоксида углерода ($CO_2$) в газоохладителе теплового насоса можно нагревать воду питьевого качества с $5^0$C до $90^0$C в диапазоне температур наружного воздуха от минус $25^0$C до плюс $43^0$C при постоянной теплопроизводительности, начиная с температуры минус $7^0$C и выше (см. илл. 5.3). Вид на каскад из тепловых насосов Q-ton ESA30 и типовая схема гидравлической обвязки теплового насоса приведены на илл.4.16.




*Илл. 4.16 – Вид на каскад (а) и схема гидравлической обвязки теплового насоса «воздух-вода» Q-ton ESA30 (б) (1- соединения, 2- термометры, 3- манометры, 4- клапаны, 5- гибкие вставки, 6-дренажная труба, 7-фильтр, 8-воздушник, 9-трубопроводы, 10- дренажный клапан)*

Исключаются ограничения по шуму от работы вентиляторов и необходимость электрического присоединения испарителей при применении разделенных тепловых насосов, заправленных R717 (пропан) фирмы «Octopus» (Швеция) [31]. Они состоят из 2-х блоков: пассивных испарителей (без вентиляторов) наружной установки и компрессорно-конденсаторного модуля, который размещается в помещении. Блоки соединены контуром рабочего агента. Расстояние между блоками – не более 40 м. Испаритель представляет собой конструкцию из вертикально расположенных 2-х метровых медных трубок (штырей), которые заключены в AL профиль (илл. 4.17). Площадь одного профиля эквивалентна поверхности 64 метрового трубопровода диаметром 22 мм. Компрессорно-конденсаторный модуль включает спиральный компрессор, пластинчатый паяный конденсатор, датчики и др.

*Илл. 4.17 – Конструкции испарителей тепловых насосов 120Х*

Их применение особенно эффективно при повышенных требованиях к акустическому режиму жилых территорий. Основные технические характеристики теплового насо-

са «воздух-вода» модели 120Х, предусмотренные для отопления и горячего водоснабжения зданий жилого комплекса в г. Киеве, приведены в таблице 4.11.

*Таблица 4.11 – Основная характеристика теплового насоса «воздух-вода» 120Х*

| Наименование показателей | Количество при **t** гор. воды на выходе $55^0$C* при **t** нар. воздуха | | | |
|---|---|---|---|---|
| | минус $24^0$C | минус $7^0$C | $7^0$C | $20^0$C |
| Теплопроизводительность, кВт | ….. | 15,5 | 20,26 | 23,51 |
| Потребляемая мощность компрессора, кВт | ….. | 6,6 | 6,73 | 6,87 |
| Расход воды через конденсатор, м$^3$/час | …. | 3,3 | | |
| Количество испарителей, шт | 3 | | | |
| Количество AL-профилей в одном испарителе, шт | 12 | | | |
| Тип/количество компрессора, -/шт | спиральный/1 | | | |
| Вид/вес рабочего агента, -/кг | R290/около 3 | | | |
| Максимальный уровень звуковой мощности компрессора, dB(A) | менее 45 | | | |
| Габариты испарителя (ширина х глубина х высота)/вес, м/кг | (0,81х0,98х2,22)/ 97 | | | |
| Габариты компрессорно-конденсаторного блока (ширина х глубина х высота)/вес, м/кг | (0,605х0,580х0,820)/115 | | | |

При всех преимуществах в использовании теплоты наружного воздуха, как теплоносителя неограниченного ресурса, проблемой применения большинства тепловых насосов «воздух-вода» является соблюдение нормативных требований по уровню шума, возникающего при работе вентиляторов.

**Тепловые насосы «антифриз-вода» применяются для трансформации теплоты** грунта, грунтовых вод, поверхностных вод и глубокой утилизации теплоты сточных вод, когда температура теплоносителя контура отбора их теплоты на входе в испаритель ниже $7^0$C, а **«вода-вода»** – теплоты геотермальной воды, очищенных сточных вод и оборотных вод с их температурой или температурой промежуточного контура на входе в испаритель более $7^0$C. Устойчивая работа таких испарителей гарантируется производителями при следующем качестве теплоносителей: величина pH – от 6,5 до 9; содержание хлоридов – менее 300 мг/л; наличие свободных хлоридов – менее 0,5 мг/л; содержание нитратов – менее 100 мг/л; содержание сульфатов – менее 100 мг/л; содержание железа и марганца – менее 1 мг/л; содержание кислорода – менее 2 мг/л; наличие свободной угольной кислоты – менее 20 мг/л.

Все эти тепловые насосы заправляются рабочими агентами R407C, R410A и R134a с максимальной рабочей температурой воды на выходе из конденсаторов $55^0$C … $65^0$C. Основные технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода», наиболее представленные в Республике, приведены в таблицах 4.12 - 4.14.

*Таблица 4.12 – Технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» модели ТН45 фирмы ЧПУП «Геотерматекс» (Республика Беларусь)* [32]

| Показатели | Количество при **t** теплоносителей на выходе конденсаторов $55^0$C* и на входе в испарители | | |
|---|---|---|---|
| | $0^0$C | $5^0$C | $10^0$C* |
| Теплопроизводительность, кВт | 35,2 | 41,2 | 48,0 |
| Потребляемая мощность компрессоров, кВт | 13,2 | 13,9 | 14,6 |
| Вид/количество хладагента, кг | 9,6 | | |
| Расход теплоносителя в контуре испарителя, м$^3$/час | 6,3-11,3 | | |
| Расход теплоносителя в контуре конденсатора, м$^3$/час | 6,0-8,8 | | |
| Габариты (ширина х глубина х высота)/вес, м/кг | (0,6х0,82х1,36)/350 | | |

* - данные для тепловых насосов «вода-вода»

*Таблица 4.13 – Технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» модели TERRA61 фирмы «Ochsner» (Австрия) [17]*

| Показатели | Количество при **t** теплоносителей на выходе конденсаторов 55$^0$С и на входе в испарители | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | минус 2$^0$С | 0$^0$С | 5$^0$С | 7$^0$С* | 10$^0$С* | 15$^0$С* |
| Тепловая мощность, кВт | 52,6 | 56,5 | 66,1 | 69,8 | 75,1 | 84,0 |
| Параметры теплоносителя через испаритель: | | | | | | |
| • расход, м$^3$/час | >16,0 | >16,0 | >16,0 | >16,0 | >16,0 | >16,0 |
| • температура (вход/выход),$^0$С | 0/-3 | 0/-3 | 0/-3 | 0/-3 | 0/-3 | 0/-3 |
| Параметры воды через конденсатор: | | | | | | |
| • расход, м$^3$/час | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| • температура (вход/выход),$^0$С | 50,8/55 | 50,5/55 | 49,6/55 | 49/55 | 50/55 | 48,2/55 |
| Потребляемая мощность оборудования, кВт | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,3 |
| т. ч. привода компрессора | - | - | - | - | - | - |
| Тип/количество компрессоров | Спиральный /1 | | | | | |
| Вид/вес рабочего агента, -/кг | R410A/13,0 | | | | | |
| Вид/объем масла, -/л | 160SZ POE/6,7 | | | | | |
| Уровень звукового давления на расстоянии 1 м/звуковой мощности, dB(A) | 52,1/60,1 | | | | | |
| Габариты теплового насоса (lxbxh)/вес, м/кг | (0,68x0,68x1,85)/284 | | | | | |

*- данные для тепловых насосов «вода-вода»

*Таблица 4.14 – Технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» модели F1345-60 фирмы «NIBE»(Швеция)* [16]

| Показатели | Количество при **t** теплоносителя на выходе конденсаторов 55$^0$С при **t** теплоносителя на входе в испарители | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | минус 2$^0$С | 0$^0$С | 5$^0$С | 7$^0$С* | 10$^0$С* | 15$^0$С* |
| Теплопроизводительность, кВт | 51,4 | 54,0 | 61,3 | 64,4 | 69,0 | 76,7 |
| Потребляемая мощность оборудования (всего), кВт | 17,82 | 18,05 | 18,61 | 18,79 | 19,06 | 19,51 |
| т. ч. компрессоров | 17,65 | 17,88 | 18,44 | 18,62 | 18,89 | 19,34 |
| • цирк. насосов контура конденсаторов (2 шт.) | 0,005/0,174* | | | | | |
| Параметры теплоносителя через испаритель:<br>• расход, м$^3$/час<br>• температура (вход/выход), $^0$С | 8,5/11,16*<br>-12/28* | | | | | |
| Параметры воды через конденсатор:<br>• расход, м$^3$/час<br>• температура (вход/выход), $^0$С | 3,312/4,824<br>50/55 (max. 58/65) | | | | | |
| Тип/количество циркуляционных насосов | энергоэффективные/3 | | | | | |
| Тип/количество компрессоров, -/шт | Спиральные/2 | | | | | |
| Вид/вес рабочего агента, -/кг | R410A (2 x 1,7 кг) | | | | | |
| Уровень звукового давления на расстоянии 2 м/ звуковой мощности, dB(A) | 47** | | | | | |
| Габариты теплового насоса (lxbxh)/вес, м/кг | (0,6 x 0,62 x 1,8)/353 | | | | | |

* - данные для тепловых насосов «вода-вода»; ** - числитель – минимальное значение/ знаменатель – максимальное значение; *** - уровень шума по стандарту EN 12102 при температурах B0/W35

В целом, приведенные выше данные об устройствах отбора низкопотенциальной теплоты и тепловых насосах охватывают только часть из известных в Республике зарубежных моделей оборудования или мало известных, но перспективных, и предназначены для ориентации специалистов на начальной стадии проектирования источников отопления и горячего водоснабжения с тепловыми насосами. Технические характеристики планируемых к применению типов и моделей всегда должны уточняться у фирм-производителей или их региональных представителей. Желательна и верификация технических показателей альтернативных к выбору устройств отбора низкопотенциальной теплоты и моделей тепловых насосах с данными об опыте их эксплуатации на объектах с аналогичными местными условиями.

## 5. СТРУКТУРИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК, ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Основным методом формирования источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий с применением тепловых насосов является структурирование. Последовательность процесса: формирование базовых структурных схем → декомпозиция контуров (блоков) → расчет контуров → синтез контуров в альтернативные варианты структурных схем, которые должны соответствовать заданным критериям эффективности теплоснабжения. Основными блоками, образующим структуру источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ являются блок отбора низкопотенциальной теплоты, ее трансформации тепловыми насосами и передачи произведенной ими теплоты (ТНУ), блок производства и передачи теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием (котлы на природном газе, гелиоколлекторы, теплообменники-утилизаторы) и блок внешних источников централизованного теплоснабжения (ТЭЦ и РК), совместно работающими на покрытие проектной тепловой нагрузки многоэтажного жилого здания.

На основании опыта разработки эти структуры можно классифицировать:

- по виду стыкуемых теплогененирующих источников (ТЭЦ, РК, местные топливные и электрические котлы, гелиоустановки и др.);
- по количеству теплогенерирующих источников, работающих вместе с тепловыми насосами (моновалентные, бивалентные и поливалентные);
- по виду НПИТ (воздух, грунт, сточные воды, подземные и поверхностные воды, вторичные тепловые ресурсы и др.);
- по виду покрываемой тепловой нагрузки (отопление, горячее водоснабжение, отопление + горячее водоснабжение);
- по параметрам теплоносителей в контуре конденсаторов тепловых насосов (температура, расход);
- по схемным решениям;
- по компактности;
- по месту размещения (подвал, технический этаж, крыша, пристройка).

При выборе структуры и параметров источников отопления и горячего водоснабжения первоочередными является учет градостроительных регламентов на размещение проектируемого жилого здания, возможностей централизованного теплоснабжения и наличия доступных ресурсов низкопотенциальной теплоты. Наиболее благоприятным для применения ТНУ является расположение проектируемого многоэтажного жилого здания:

- в благоустроенных районах центральной части городов (уплотнение) при ограничениях в покрытии дополнительной тепловой нагрузки по тепловой сети от ТЭЦ и РК (**условия А**);
- на реконструируемых площадках сохраняемой индивидуальной и малоэтажной жилой застройки при отсутствии возможности присоединения к тепловой сети от ТЭЦ и РК (**условия Б1**) или ограничениях в покрытии дополнительной тепловой нагрузки по тепловой сети от ТЭЦ и РК (**условия Б2**);
- на территории перспективного освоения периферии городов, при точечной застройке (1-ая очередь), требующей значительных капитальных вложений на реконструкцию головных участков магистральной и прокладку новой распределительной тепловой сети (**условия В**).

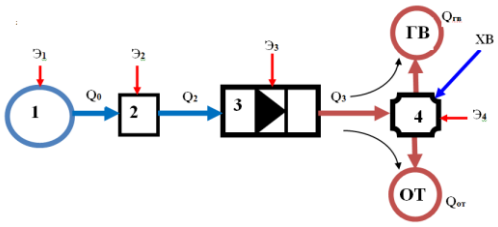
В зависимости от этих условий ТНУ могут быть как единственным источником отопления и горячего водоснабжения или только горячего водоснабжения, так и работать на покрытие части этой нагрузки с другим фунционально связанным теплогенерирующим оборудованием в структуре ТНС. Определяет структуру и параметры ТНУ величина тепловой нагрузки, степень участие тепловых насосов в ее покрытии и виды используемых НПИТ.

Практика выбора вида источников теплоснабжения для нового жилищного строительства в разных планировочных районах г. Минска и в других городах республики, дает основание принимать к разработке для обозначенных условий **А**, **Б1**, **Б2** и **В** структуры ТНУ, приведенные на илл. 5.1.

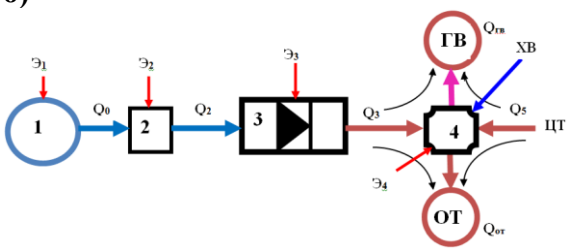
В этих базовых структурах ТНУ использованы различные НПИТ, типы устройств отбора и трансформации их тепловых потоков. Основным оборудованием ТНУ (см. илл. 5.1 и раздел 4) являются:

- в контуре «НПИТ – испаритель теплового насоса» – теплообменники, насосы подачи потока низкопотенциальной теплоты в теплообменники или испарители тепловых насосов и циркуляционные насосы промежуточного контура «теплообменник-испаритель теплового насоса»;
- для трансформации низкопотенциальной теплоты– тепловые насосы;
- в контуре «конденсатор теплового насоса – тепловой узел жилого дома» – циркуляционные насосы контура конденсаторов, гидравлический разделитель (гидравлическая стрелка) потока теплоносителя через конденсаторы и теплоносителей систем отопления и горячего водоснабжения, баки-аккумуляторы горячей воды.

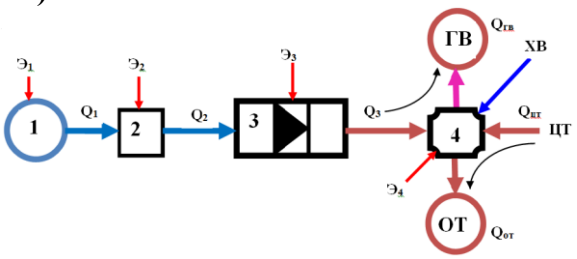
**а)**



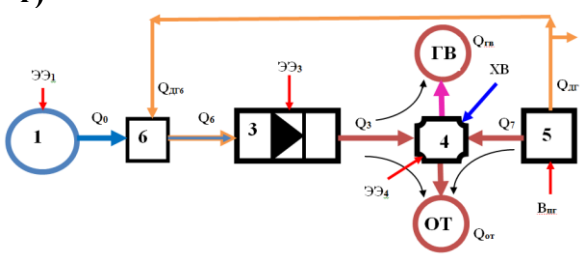

**б)**



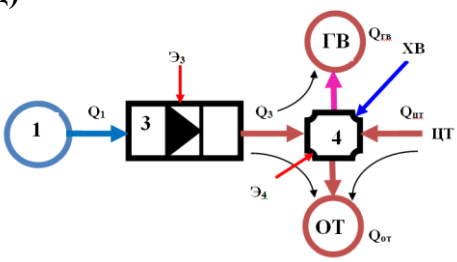

**в)**



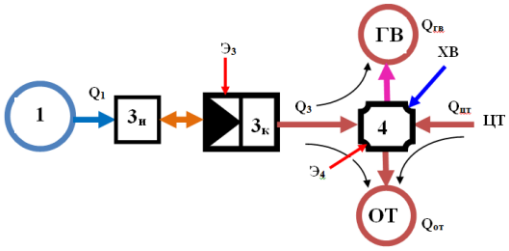

**г)**



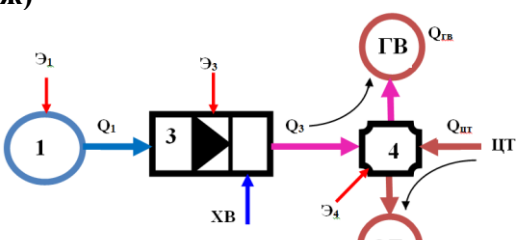

**д)**




**е)**




**ж)**




**Q** – тепловой поток;
**Э** – потребляемая эл. мощность оборудования;
**В** – расход природного газа; **ДГ** – дымовые газы;
**ХВ** – вода питьевого качества; **ЦТ** – тепловая сеть;
**1** – источник низкопотенциальной теплоты;
**2** – устройства отбора низкопотенциальной теплоты;
**3** – тепловые насосы; **4** – тепловые узлы;
**5** – котельная на природном газе; **6** – смеситель;

*Илл. 5.1 – Базовые структурные схемы ТНУ для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий (**а** – для покрытия 100% нагрузки отопления и горячего водоснабжения; **б** – для покрытия части нагрузки отопления и горячего водоснабжения в отопительный период и 100% – в летний; **в** – для покрытия 100% нагрузки горячего водоснабжения; **г, д, е** – для покрытия 100% нагрузки горячего водоснабжения и части отопительной нагрузки в переходные периоды года; **ж** – для покрытия 100% нагрузки горячего водоснабжения)*

Рекомендации по выбору вида НПИТ и основного оборудования блоков ТНУ для разных условий расположения проектируемого многоэтажного жилого здания и присоединения к сети централизованного теплоснабжения приведены в таблице 5.1.

*Таблица 5.1 – Рекомендации по выбору вида НПИТ и основного оборудования блоков ТНУ*

| Наименование схемного решения ТНУ, № иллюстрации | Блок 1 (НПИТ)* | Блок 2 (устройства отбора теплоты)** | Блок 3 (тепловые насосы)*** |
|---|---|---|---|
| **Жилые здания, расположенные в условиях А и Б2** | | | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки отопления и ГВ (илл. 5.1 а) или части расчетной нагрузки отопления и ГВ зимой и 100% ГВ летом (илл. 5.1 б) | Городские сточные воды | мкКНС(илл.4.12) +ТОп (илл.4.7б, 4.11); ТОз (илл. 4.8) | ГеоТН (см.разделы 4 и 7) |
| | Оборотная вода | ГидТН (см. раздел 4 и 7) | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки ГВ, илл. 5.1 в | Бытовые сточные воды | ТОп (см.илл.4.7б), ТОз (см.илл.4.7а) | ГеоТН (см. разделы 4 и 7) |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки ГВ и отопления в переходные периоды, илл. 5.1 г | Смесь НВ+ДГ | АэрТН (см. раздел 4, илл. 4.14 и 7.6) | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки ГВ и отопления в переходные периоды, илл. 5.1 д | Наружный воздух | АэрТН (см. раздел 4, илл.4.14, 4.15 и 7.6 ) | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки ГВ и отопления в переходные периоды, илл. 5.1е | Наружный воздух | АэрТН (см. раздел 4, илл.4.17 и 7.7) | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки ГВ, илл. 5.1 ж | Наружный воздух | АэрТН (см. раздел 4, илл.4.16 и 7.8) | |
| **Жилые здания, расположенные в условиях Б1** | | | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки отопления и горячего водоснабжения, илл. 5.1 г | Смесь НВ+ДГ | АэрТН (см. раздел 4 и илл.4.14 и 7.6) | |
| **Жилые здания, расположенные в условиях В** | | | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки отопления и горячего водоснабжения, илл. 5.1а | Городские сточные воды | мкКНС (см. илл.4.12) +ТОп (см.илл.4.7б, 4.11); ТОз (см. илл. 4.8) | ГеоТН (см. разделы 4 и 7) |
| | Подз. и поверхностные воды, очищенные сточные воды | мкКНС (см. илл.4.12) и ТОп (см. илл. 4.11, 4.13) | ГидТН (см. раздел 4 и 7) |
| | Оборотная вода | ГидТН (см. раздел 4 и 7) | |
| ТНУ для покрытия 100% расчетной нагрузки отопления и горячего водоснабжения, рис. 5.1г | Смесь НВ+ДГ | АэТН (см. раздел 4 и илл.4.14 и 7.6) | |

*- НВ – наружный воздух; ДГ– дымовые газы;

** - ТОп – теплообменник проточный; ТОз – теплообменник затопленный (погружной); мкКНС – микро КНС;

*** - ГеоТН – геотермальные тепловые насосы; ГидТН – гидротермальные тепловые насосы; АэрТН – аэротермальные тепловые насосы;

Расчет энергетических потоков в ТНУ выполняется для двух временных уровней: расчетные условия отопления и горячего водоснабжения и расчетный год. Исходными для расчетов энергетических потоков в контурах ТНУ и параметров оборудования принимаются данные проекта жилого здания (градостроительные условия, расчетные тепловые нагрузки, объемы потребления холодной и горячей воды, температурный график систем

отопления и др.), а также базовые схемные решения (см. илл. 5.1) и рекомендации по выбору НПИТ и оборудования в составе блоков (см. табл.5.1).

Применяется и может быть рекомендована в настоящее время следующая последовательность расчета параметров устройств отбора и трансформации низкопотенциальной теплоты, вида и величины энергетических потоков в структуре ТНУ.

1. Определяется расчетный тепловой ресурс **i**-го вида НПИТ, возможный к использованию современными техническими устройствами без ущерба для окружающей среды, в течение часа ($\mathbf{Q^p_i}$)

$$\mathbf{Q^p_i = 1{,}16 \cdot G_i \cdot (t^к_i - t^н_i) \cdot C_i = 1{,}16 \cdot G_i \cdot \Delta t_i \cdot C_i}\ , \text{кВт} \qquad (5.1)$$

где $\mathbf{G_i}$ – количество i-го вида НПИТ, возможного к использованию в расчетный час отопительного периода; $м^3$/час; $t^к_i$ – температура охлажденного потока НПИТ i-го вида, $^0$C; $\mathbf{t^н_i}$ - температура теплого потока НПИТ i-го вида, $^0$C; $\mathbf{\Delta t_i}$ - глубина охлаждения потока НПИТ i-го вида, $^0$C; $\mathbf{C_i}$ - теплоемкость потока НПИТ i-го вида, ккал/(кг·$^0$C).

Минимальная глубина охлаждения потока жидких НПИТ в отопительный период принимается равной 2,5$^0$C, максимальная – по местным ограничениям.

2. Для определенного по формуле 5.1 значения $\mathbf{Q^p_i}$ максимальная теплопроизводительность тепловых насосов ($\mathbf{Q^{макс.}_{тн}}$), которая может быть получена для покрытии **j**-ой тепловой нагрузки проектируемого жилого здания ($\mathbf{Q^p_j}$), определяется из соотношения

$$\mathbf{Q^{макс.}_{тн} = Q^p_j \cdot [\varepsilon^p_{ij}/(\varepsilon^p_{ij} - 1)]}, \text{кВт} \qquad (5.2)$$

где $\mathbf{\varepsilon^p_{ij}}$ – коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты i-го вида $\mathbf{Q^p_i}$ при покрытии тепловыми насосами тепловой нагрузки $\mathbf{Q^p_j}$ с расчетными параметрами теплоносителей.

Значение $\mathbf{\varepsilon^p_{ij}}$ зависит от степени совершенства термодинамического цикла теплового насоса, вида рабочего агента, температуры потока низкопотенциальной теплоты **i**-вида на входе в испарители теплового насоса ($\mathbf{t_{исп.}}$) и температуры теплоносителя на выходе конденсатора ($\mathbf{t_{конд.}}$). Для тепловых насосов типа «антифриз-вода» и «вода-вода» значение $\mathbf{\varepsilon^p_{ij}}$ принимается по паспортным данным тепловых насосов или определяться по формуле

$$\mathbf{\varepsilon^p_{ij} = 0{,}55\ldots 0{,}65 \cdot (275 + t_{исп.})/[4 + (t_{конд.} - t_{исп.})]}, \qquad (5.3)$$

где величина 0,55…0,65 показывает степень приближения реального цикла к идеальному циклу Карно (КПД цикла).

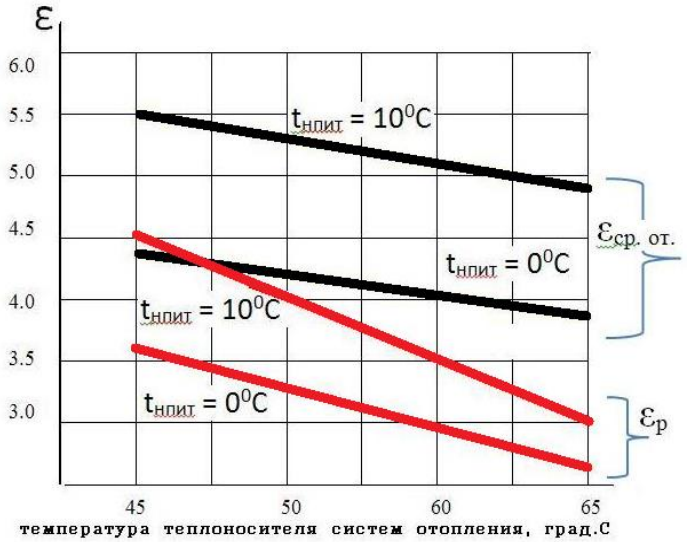
Понятно, что при проектировании ТНУ необходимо стремиться к максимальному коэффициенту трансформации $\mathbf{\varepsilon^p_{ij}}$, но определяющим для принятия решения является значение среднего за год ($\mathbf{\varepsilon_{ср.год}}$), который зависит от температурного графика работы теплового насоса на нагрузку отопления, доли отопительной нагрузки в суммарной годовой выработке. Очевидно, что максимум $\mathbf{\varepsilon_{ср.год}}$ достигается при работе тепловых насосов раздельно на нагрузку отопления и горячего водоснабжения, но при сокращении число часов использования их расчетной теплопроизводительности.

В общем виде значение среднего коэффициента трансформации низкопотенциальной теплоты тепловыми насосами за **n**-ое время их работы ($\mathbf{\varepsilon_{ср.n}}$) на нагрузку $\mathbf{Q_n}$ с коэффициентом $\mathbf{\varepsilon_n}$ рассчитывается как средневзвешенное по всем температурным интервалам наружного воздуха в течение времени **n**

$$\mathbf{\varepsilon_{ср.n} = (\sum \varepsilon_n Q_n)/\sum Q_n} \qquad (5.4)$$

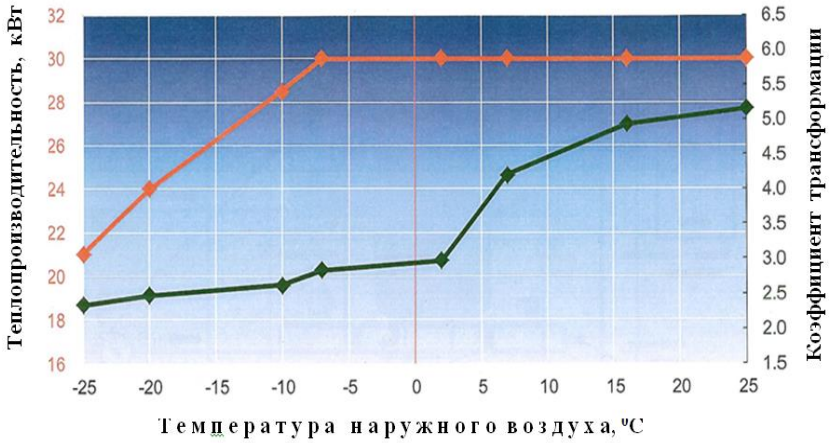
Конечно, значения коэффициентов трансформации низкопотенциальной теплоты $\varepsilon_р$ и $\varepsilon_{ср.от}$ даже при одинаковых параметрах теплоносителей будут разными для тепловых насосов разных производителей, заправленных разными рабочими агентами и др.

Характер этих зависимостей для тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» с рабочими агентами R407C и R410A можно проследить на илл. 5.2.




*Илл. 5.2 – Зависимости значений расчетного* $\varepsilon_р$ *и среднего за отопительный период* $\varepsilon_{ср.от}$ *от температур теплоносителей на входе в испарители (*$t_{НПИТ}$*) и выходе конденсаторов*

Для теплового насоса «воздух-вода» Q-ton ESA30 (см. табл. 4.10), заправленного рабочим агентом R744($CO_2$), зависимость значений коэффициента трансформации $\varepsilon_р$ и теплопроизводительности $Q^{макс.}_{тн}$ от температуры наружного воздуха при температурах воды на входе/выходе газоохладителя $5^0$C/$65^0$C показана на рис. 5.3.




*Илл. 5.3 – Зависимость коэффициента трансформации низкопотенциальной теплоты и теплопроизводительности теплового насоса Q-ton ESA30 от температуры наружного воздуха*

Как показано в табл. 5.1, в зависимости от градостроительных условий и наличия источников НПИТ, ТНУ рассчитываются на покрытие 100% тепловой нагрузки отопления ($Q^р_{от}$) и горячего водоснабжения ($Q^р_{гв}$) или части этой нагрузки. Процент покрытия ($\alpha$) зависит от величины расчетной тепловой нагрузки ($Q^р_j$), принятого температурного графика системы отопления (см. рис. 2.1), типа и максимально возможной теплопроизводи-

тельности тепловых насосов ($Q^{макс.}_{тн}$), тарифов на энергоресурсы, ограничений по размещению, санитарно-гигиенических и экологических условий.

Если ориентироваться только на отопительный график, участие ТНУ в покрытии отопительной нагрузки можно определить из отношения расчетных температур

$$\alpha = (t_{р.тн} - t_{р.вн.})100/(t_{р.от} - t_{р.вн.}),\ \% \qquad (5.5)$$

*где* $t_{р.тн}$ *– расчетная температура теплоносителя из конденсаторов тепловых насосов,* $^0C$; $t_{р.вн.}$ *– расчетная температура внутри отапливаемых помещений,* $^0C$; $t_{р.от}$ *– расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы отопления,* $^0C$.

Тогда теплопроизводительность тепловых насосов ($Q^{р}_{тн}$), рассчитанных только на покрытии части отопительной нагрузки здания ($Q^{р}_{от}$)

$$Q^{р}_{тн} = \alpha\ Q^{р}_{от}/100,\ кВт \qquad (5.6)$$

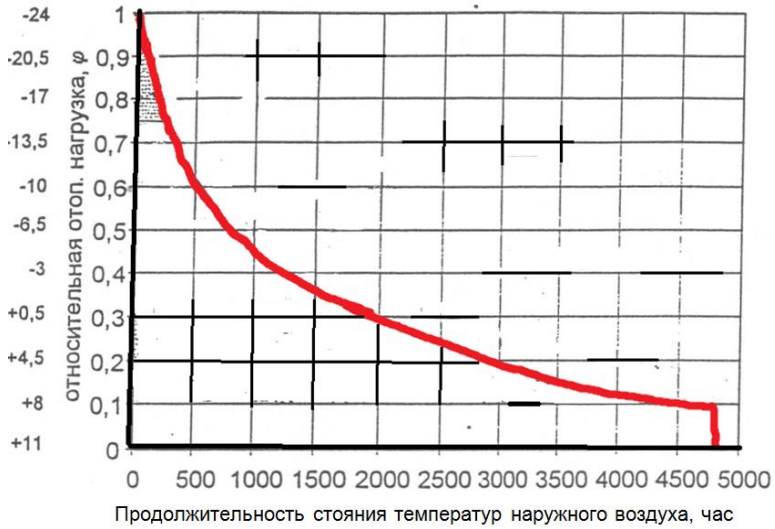
Количество теплоты, которая отбирается от потока НПИТ ($Q^{р}_{нпит}$) и далее в испарителе ($Q^{р}_{исп.}$) от теплоносителя с температурой $t_{исп.}$ для покрытия тепловой нагрузки ($Q^{р}_{тн}$) при температурах теплоносителя с $t_{конд.}$, рассчитывается как

$$Q^{р}_{нпит} = Q^{р}_{тн} \cdot [(\varepsilon^{р}_{i} - 1)/\varepsilon^{р}_{i}],\ кВт \qquad (5.7)$$

На основании полученных значений тепловых потоков потребляемая мощность компрессоров тепловых насосов ($P^{р}_{компрес.}$) будет равна

$$P^{р}_{компрес.} = Q^{р}_{тн} - Q^{р}_{исп} = Q^{р}_{тн}/\varepsilon^{р}_{i},\ кВт \qquad (5.8)$$

Проектной практикой определено[6], что в поливалентных ТНУ тепловые насосы рационально рассчитывать на покрытие 60…75 % расчетной нагрузки отопления, что соответствует температурам наружного воздуха минус $10^0$C ... минус $15^0$C. Основанием этого является особенности климатических условий республики, в которых продолжительность стояния температуры наружного воздуха минус $10^0$C и ниже составляет в среднем около 12,0 %, а температуры минус $15^0$C и ниже – около 6,0 % всего отопительного периода (илл. 5.4).



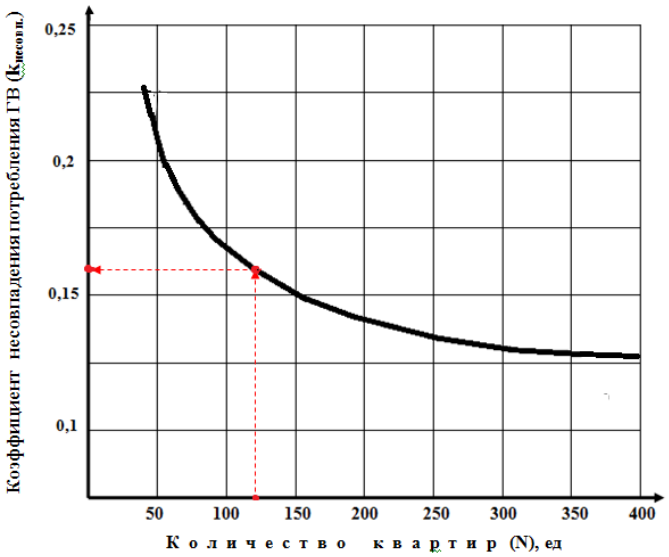

*Илл. 5.4 – График средней продолжительности стояния относительной отопительной нагрузки* ($\varphi_{от} = Q^{тек.}_{от}/ Q^{р}_{от}$)

В отличие от отопительной на величину расчетной нагрузки горячего водоснабжения жилого дома, ее суточное и сезонное изменение влияет температура исходной холод-

[6] - зависимость экономической эффективности тепловых насосов от числа часов использования их расчетной теплопроизводительности показана в разделе 9

ной воды, коэффициент заселенности квартир, уклад жизни и профессиональный состав жителей. В ТНУ, рассчитанных на покрытие нагрузки отопления и горячее водоснабжения, температура воды, до которой она подогревается тепловыми насосами ($t^{гв}_{тн}$), зависит от температурного графика систем отопления и технических возможностей тепловых насосов. Если от ТНУ планируется покрытие только нагрузки горячего водоснабжения, то значение $t^{гв}_{тн}$ определяется, в основном, соотношением стоимости тепловой энергии от тепловых насосов и пикового теплоисточника (см. раздел 9).

Понятно, что величина расчетной тепловой нагрузки горячего водоснабжения непосредственно влияет на выбор теплопроизводительности теплогенерирующего и теплообменного оборудования источника ее покрытия. Особенно важна достоверность значения этой нагрузки при выборе оборудования ТНУ из-за его высоких удельных капитальных вложений. Поэтому, тепловая нагрузка проектируемого жилого здания должна рассчитываться с учетом всех влияющих на ее факторов, включая несовпадение одновременности потребления горячей воды в квартирах проектируемого жилого здания в часы максимума ее суточного потребления[7] (илл. 5.5).




*Илл. 5.5 – Зависимость коэффициента снижения тепловой нагрузки жилого здания в часы суточного максимума от количества квартир*

На наш взгляд, с требуемой достоверностью теплопроизводительность тепловых насосов для покрытия 100% нагрузки горячего водоснабжения ($Q^{р}_{тн}$) может рассчитываться по формуле

$$Q^{р}_{тн} = 1{,}16\ N\cdot(G_{сут}/24)\cdot(t^{г}_{гв} - t_{хв})\cdot k_{пик.}\cdot k_{макс.потр.}\cdot k_{сем.\ кв.}\cdot(1+k_{потерь}/100),\ кВт \qquad (5.9)$$

*где $N$ – количество квартир, ед; $G_{сут}$ – средний за сутки расход горячей воды на одного жителя, л/сутки; $t^{г}_{гв}$ – температура горячей воды, $^0C$; $t^{г}_{хв}$ – температура холодной воды, $^0C$; $k_{пик.}$ – коэффициент, характеризующий превышение объемов потребления горячей воды в часы суточного максимума над среднесуточными; $k_{несовп.}$ – коэффициент несовпадения суммы расчетных объемов потребления горячей воды квартир жилого здания (см. илл. 5.6); $k_{сем.\ кв.}$ – коэффициент семейности, человек/квартиру; $k_{потерь}$ – тепловые потери в циркуляционном контуре, %*

[7] - подход аналогичен определению расчетной электрической нагрузки на шинах РУ-0,4 кВ трансформаторной п/ст в зависимости от количества квартир (см. ТКП 45-4.04-149-2009)

Значение $Q^{р}_{тн}$ при N = 120 квартир, $G_{сут}$ =105 л/сутки на жителя, $t^{г}_{гв}$ = 55$^0$C, $t^{г}_{хв}$ – 5$^0$C, $k_{пик.}$ – 3,5раза, $k_{несовп..}$– 0,16, $k_{сем. кв.}$ – 3,5 чел/квартиру и $k_{потерь}$ – 15% составит

$Q^{р}_{тн}$ = 1,16·120(105/24) · (55 – 5) · 3,5· 0,16· 3,5· (1+15/100) = 68,6 кВт.

Зависимость нагрузки горячего водоснабжения (**$\varphi_{гв}$**) от температуры горячей воды, подогреваемой тепловыми насосами (**$t^{гв}_{тн}$**) при температуре холодной воды 5$^0$C и температуре в сети горячего водоснабжения 55$^0$C, показана на илл. 5.6.

*Илл. 5.6 – Зависимость нагрузки горячего водоснабжения от температуры горячей воды на выходе теплообменника контура теплового насоса* **$\varphi_{гв} = (t^{г}_{гв} – 5)/()t^{р}_{гв}$ -5)**

В приведенных на илл. 5.1 в, г, д, е, ж схемах от ТНУ покрывается только тепловая нагрузка горячего водоснабжения. Во всех вариантах теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается на подогрев до 55$^0$C холодной воды с температурой 5$^0$C с учетом несовпадение одновременности потребления горячей воды в часы максимума ее суточного потребления (см. формулу 5.9 и рис. 5.5). Сглаживание пиков потребления и возможность работы ТНУ с отключением тепловых насосов в периоды максимума электрической нагрузки энергосистемы достигается применением баков-аккумуляторов горячей воды. На илл. 5.7 показана такая структура ТНУ (см. илл. 5.1 ж) с указанием температуры теплоносителей в ее контурах, габаритов теплового насоса и баков аккумуляторов горячей воды.

*Илл. 5.7 – Структура ТНУ на основе теплового насоса «воздух-вода» модели Q-ton ESA30, заправленного рабочим агентом R744 (см. раздел 4)*

Кроме того, при выборе структуры ТНУ и теплопроизводительности тепловых насосов надо учитывать теплоустойчивость энергоэффективных жилых зданий, аккумулирующая способность которых позволяет обеспечивать нормируемую температуру воздуха в помещениях при эпизодических переключениях тепловых насосов с отопительной на покрытие нагрузки горячего водоснабжения. Гидравлическую и тепловую развязку контуров с приоритетом горячего водоснабжения и некоторое выравнивание несоответствия во времени максимума экономичной выработки и максимума потребления теплоты может достигаться применением регулирующих и смесительных клапанов, буферных емкостей, выполняющие функции слоевых аккумуляторов и баков-аккумуляторов горячей воды, снижением температуры в помещениях ночью и при отсутствии жильцов в другое время суток. Такие решения являются обязательными при ограниченной пропускной способности сети электроснабжения и/или при пониженных тарифах на электрическую энергию в периоды дневного и ночного провалов графика нагрузки энергосистемы.

Этим изложенный подход существенно отличается от определения тепловой мощности котлов на органическом топливе, которые выбираются, как правило, по максимальной тепловой нагрузке отопления и горячего водоснабжения. В целом, для всех альтернативных вариантов применения ТНУ выбор типа, расчетной теплопроизводительности, параметров и режимов работы тепловых насосов является энергоэкономической задачей.

Расходы жидких теплоносителей в контурах тепловых насосов определяются по известным формулам. Исходными являются: разность температур потока низкопотенциальной теплоты или промежуточного теплоносителя на входе и выходе испарителей ($\Delta t_{исп.}$); количество теплоты, отбираемой в испарителях ($Q^{p}_{исп}$); разность температур теплоносителя на входе и выходе конденсаторов ($\Delta t_{конд.}$) и расчетная теплопроизводительность тепловых насосов ($Q^{p}_{тн}$)

$$G^{p}_{исп.} = Q^{p}_{исп.} / \Delta t_{исп.}, \text{ м}^3/\text{час} \qquad (5.10) \qquad G^{p}_{конд.} = Q^{p}_{тн.} / \Delta t_{конд.}, \text{ м}^3/\text{час} \qquad (5.11)$$

Разность температур теплоносителя в испарителях и конденсаторах принимается по паспортным данным тепловых насосов, но должна быть не менее $2{,}5^0$С.

Мощность, потребляемая электрическими двигателями насосов подачи **i**-го вида теплоносителей ($P_{дв.}$), определяется по формуле

$$P_{дв.} = P_{нас.}/\eta_{дв.} = [\rho \cdot g \cdot G_{нас.} \cdot H/(1000 \cdot \eta_{нас.})]/\eta_{дв.}, \text{ кВт} \qquad (5.12)$$

где ρ – плотность перекачиваемого теплоносителя i-го вида, кг/дм$^3$; g – ускорение, придаваемое теплоносителю силой тяжести, м/сек$^2$; $G_{нас.}$ – производительность насоса, л/сек; H – расчетный напор при величине $G_{нас.}$, м; $\eta_{нас.}$ – КПД насоса; $\eta_{дв..}$ – КПД электродвигателя.

Значение $P_{нас.}$ учитывается как полезное тепло, отдаваемое теплоносителю при работе насосов.

3. В составе блоков ТНУ, обозначенных в структурных схемах (см. илл. 5.1), основным оборудованием устройств отбора низкопотенциальной теплоты являются теплообменники и насосные станции подачи потока низкопотенциальной теплоты (см. раздел 4). Их технические характеристики определяются на основании данных о теплофизических и эксплуатационных свойствах потока НПИТ (см. раздел 2) и параметрах контура испарителей ($t^{н}_{i}$, $Q^{p}_{исп}$, $G^{p}_{исп.}$) по программам расчета производителей оборудования.

4. Как видно с илл. 5.1, ТНУ может быть одной из теплогенерирующих установок источника отопления и горячего водоснабжения многоэтажного жилого здания.

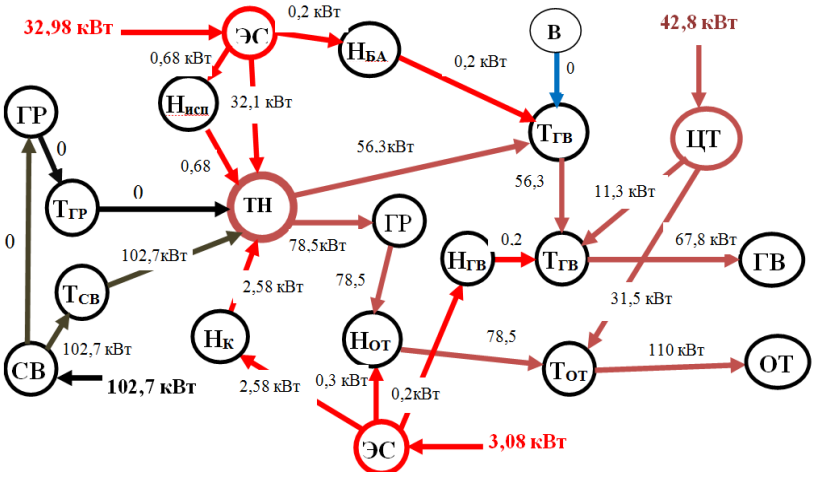
Вследствие этого энергетические потоки в его структуре определяются с учетом участия в покрытии тепловых нагрузок других видов теплогенерирующего оборудования (см. раздел 6). Результаты расчетов сводятся в таблицу 5.2.

*Таблица 5.2 – Расчетные тепловые нагрузки жилого здания и источники их покрытия*

| № п/п | Наименование показателей | Ед. изм. | Значение для альтернативных вариантов | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вар.1 | Вар. 2 | Вар.3 |
| 1 | Расчетная тепловая нагрузка здания, всего | кВт | | | |
| | в т. ч. отопление | - “ - | | | |
| | • горячее водоснабжение в отопительный период | - “ - | | | |
| | • горячее водоснабжение в остальные периоды года | - “ - | | | |
| 2 | Теплопроизводительность местного источника отопления и горячего водоснабжения (в расчетных условиях), всего | кВт | | | |
| | в т. ч. тепловых насосов при расчетной температуре отопления | - “ - | | | |
| | • тепловых насосов при температуре наружного воздуха $8^0$С | | | | |
| | …….* | - “ - | | | |
| 3 | Количество теплоты, отбираемой от НПИТ при расчетной теплопроизводительности тепловых насосов | кВт | | | |
| 4 | Потребляемая мощность электропотребляющего оборудования (в расчетных условиях), всего | кВт | | | |
| | в т. ч. тепловых насосов в расчетной температуре отопления | - “ - | | | |
| | • тепловых насосов при температуре наружного воздуха $8^0$С | - “ - | | | |
| | …….* | | | | |

*- точками обозначено место для записи данных другого вида теплогенерирующего оборудования входящего с источник отопления и горячего водоснабжения жилого здания

Для наглядности и полноты анализа данные табл. 5.2 могут быть представлены в виде ориентированного графа, узлы которого являются энергоиспользующим или энергогенерирующим оборудованием, а дуги – энергетическим потоками. Стрелками показаны направления энергетических потоков, на дугах их значения. В качестве примера на илл. 5.8 приведен ориентированный граф одного из вариантов поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения, в котором тепловыми насосами покрывается около 75,5% расчетной нагрузки отопления и горячего водоснабжения, а источником централизованного теплоснабжения – 24,5%.




*Илл.5.8 – Ориентированный граф с расчетными энергетическими потоками в структуре бивалентного источника отопления и горячего водоснабжения (ОТ – отапливаемые помещения; ГВ – потребители горячей воды; ТН – тепловые насосы; ГР - гидравлический разделитель; ЦТ – источник централизованного теплоснабжения; ЭС – источник электрической энергии энергосистемы; СВ – сточные воды; ГР – грунт; $Т_{св}$ – теплообменник сточных вод; $Т_{гр}$ – теплообменник в сваях; $Т_{гв}$ – теплообменник-подогреватель горячей воды контура конденсаторов; $Т_{гв}$ – теплообменник-подогреватель горячей воды контура горячего водоснабжения; $Н_к$ – насосы контура конденсаторов; $Н_{исп.}$ – насосы контура испарителей; $Н_{БА}$ – насосы бака-аккумулятора горячей воды; $Н_{от}$ – насосы системы отопления; $Н_{гв}$ – насосы системы горячего водоснабжения)*

5. Объемы годовых энергетических потоков в ТНУ включают потоки тепловой энергии, отбираемой от НПИТ и выработанной тепловыми насосами, и электрической энергии, расходуемой для обеспечения выработки.

Объем годовой выработки теплоты тепловыми насосами ($\mathbf{Q^{год}_{тн}}$) определяется как сумма выработанной теплоты на отопление и горячее водоснабжение в течение отопительного периода ($\mathbf{Q^{\Sigma от.пер.}_{тн}}$) и остальное время года ($\mathbf{Q^{гв\ лет.}_{тн}}$)

$$\mathbf{Q^{год}_{тн} = Q^{\Sigma от.пер.}_{тн} + Q^{гв\ лет.}_{тн}}, \text{ Гкал}^8 \qquad (5.13)$$

Объем выработки в течение отопительного периода определяется как сумма выработанной теплоты на отопление и горячее водоснабжение

$$\mathbf{Q^{\Sigma от.пер.}_{тн} = Q^{от}_{тн} + Q^{гв\ от.\ периода}_{тн}}, \text{ Гкал} \qquad (5.14)$$

$$\mathbf{Q^{от}_{тн} = Q^{от}_{р}\ \{[(t^{р}_{вн.} - t^{р}_{нар.ср.от.})/(t^{р}_{вн.} - t^{р}_{нар.})]0{,}86\ n_{от}\}\varphi_{сумм.}}, \text{ Гкал} \qquad (5.15)$$

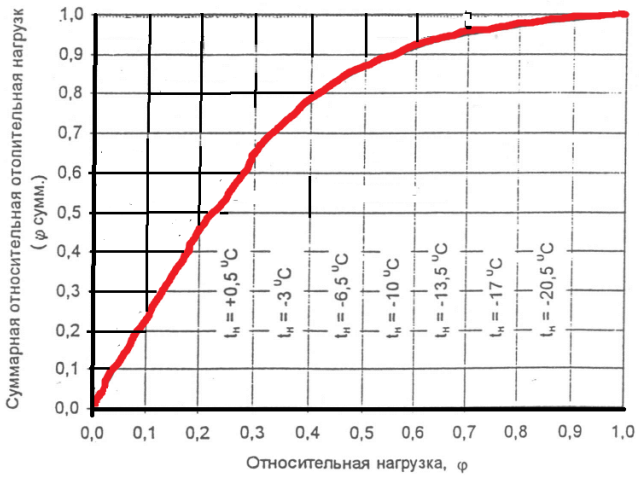
где $\mathbf{t^{р}_{вн.}}$ – расчетная температура в отапливаемых помещениях, $^0$С; $\mathbf{t^{р}_{нар.}}$ – расчетная температура наружного воздуха, $^0$С; $\mathbf{t^{р}_{нар.ср.от}}$ –средняя за отопительный период температура наружного воздуха, $^0$С; $\mathbf{n_{от}}$ – продолжительность отопительного периода, час; $\boldsymbol{\varphi_{сумм}}$ – составляющая выработки теплоты тепловыми насосами с суммарном расходе теплоты на отопление за весь отопительный период ($\mathbf{Q^{от}_{тн}\ /\ Q^{от}_{\Sigma}}$)

$$\mathbf{Q^{гв\ от.\ периода}_{тн} = Q^{гв}_{р}\ (0{,}86\ n_{от})\varphi^{от.\ пер.}_{гв}}, \text{ Гкал}, \qquad (5.16)$$

где $\boldsymbol{\varphi^{от.\ пер.}_{гв}}$ – составляющая выработки теплоты тепловыми насосами на горячее водоснабжение с суммарном расходе теплоты на горячее водоснабжение за весь отопительный период.

Интегральный график зависимости $\boldsymbol{\varphi_{сум.}}$ от значения относительной отопительной нагрузки $\boldsymbol{\varphi_{от}}$ (см. илл.5.4) приведен на илл.5.9

[8] здесь и далее для удобства применения в практике проектирования и эксплуатации единицей измерения количества теплоты принята Гкал (переходной множитель в систему СИ – 1 Гкал = 4,187 ГДж)




*Илл. 5.9 – Интегральный график* $\varphi_{сум.} = f(\varphi_{от})$

Объем выработки теплоты тепловыми насосами на горячее водоснабжение в летний и переходные периоды года

$$Q^{гв\ лет.}_{тн} = Q^{гв}_{р}\ (8760 - n_{от})\ 0{,}86\ \varphi^{лет.}_{гв}\ , \text{Гкал} \qquad (5.17)$$

Отношение годового объема теплоты, произведенной тепловыми насосами ($Q^{год}_{тн}$), к объему теплоты, рассчитанной при 100% их работе в течение года с расчетной теплопроизводительностью ($Q^{р}_{тн}$), является показателем энергоэкономической эффективности ТНУ ($\beta$)

$$\beta = 1{,}16 Q^{год}_{тн} / (Q^{р}_{тн}\ 8760) \qquad (5.18)$$

Годовые потоки низкопотенциальной теплоты, отбираемые тепловыми насосами от i-го НПИТ ($Q^{год}_{нпит}$) рассчитываются как

$$Q^{год}_{нпит} = Q^{от}_{нпит} + Q^{гв\ от.\ периода}_{нпит} + Q^{гв\ лет.}_{нпит}\ , \text{Гкал} \qquad (5.19)$$

$$Q^{от}_{нпит} = Q^{от}_{тн}\ (\varepsilon^{ср.от}_{тн} - 1)/\ \varepsilon^{ср.от}_{тн}\ , \text{Гкал} \qquad (5.20)$$

$$Q^{гв\ от.\ периода}_{нпит} = Q^{гв\ от.\ периода}_{тн}\ (\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн} - 1)/\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн}\ , \text{Гкал} \qquad (5.21)$$

$$Q^{гв\ лет.}_{нпит} = Q^{гв\ лет.}_{тн}\ (\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн} - 1)/\varepsilon^{гв\ ср.\ лет.}_{тн}\ , \text{Гкал} \qquad (5.22)$$

По определенным значениям годовых потоков низкопотенциальной теплоты (см. формулы 5.20, 5.21 и 5.22) и соответствующих коэффициентов трансформации низкопотенциальной теплоты ($\varepsilon^{ср.от}_{тн}$, $\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн}$ и $\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн}$) рассчитываются годовые объемы подачи теплоносителей от источника низкопотенциальной теплоты на теплообменники промежуточного контура испарителей тепловых насосов

$$G^{год}_{нпит} = G^{от}_{нпит} + G^{гв\ от.\ периода}_{нпит} + G^{гв\ лет.}_{нпит}\ , \text{тыс. м}^3\text{/год}; \qquad (5.23)$$

$$G^{от}_{нпит} = Q^{от}_{тн}\ (\varepsilon^{ср.от}_{тн} - 1)/(\varepsilon^{ср.от}_{тн}\ \Delta t^{от}_{нпит}), \text{тыс. м}^3\text{/сезон}; \qquad (5.24)$$

$$G^{гв\ от.}_{нпит} = Q^{гв\ от.}_{тн}\ (\varepsilon^{гв\ ср.от.}_{тн} - 1)/(\varepsilon^{гв\ ср.от.}_{тн}\ \Delta t^{гв\ ср.от.}_{нпит}), \text{тыс. м}^3\text{/сезон}; \qquad (5.25)$$

$$G^{гв\ лет.}_{нпит} = Q^{гв\ лет.}_{тн}\ (\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн} - 1)/(\varepsilon^{гв\ ср.\ лет.}_{тн}\ \Delta t^{гв\ ср.\ лет}_{нпит}), \text{тыс. м}^3\text{/сезон}; \qquad (5.26)$$

Значение $G^{год}_{нпит}$ для варианта, когда ТНУ является единственным теплоисточником (см. рис.5.1 а и табл. 5.1) и в структуре его годовой выработки доля нагрузки отопления около 40%, горячего водоснабжения в отопительный период около 35% и горячего водоснабжения летом и переходные периоды около 25%, составит

$$G^{год}_{нпит} = 0{,}4\ Q^{год}_{тн}(\varepsilon^{ср.от}_{тн} - 1)/(\varepsilon^{ср.от}_{тн}\ \Delta t^{от}_{нпит}) + 0{,}35\ Q^{год}_{тн}\ (\varepsilon^{гв\ ср.от.}_{тн} - 1)/(\varepsilon^{гв\ ср.от.}_{тн}\ \Delta t^{гв\ ср.от.}_{нпит}) + 0{,}25\ Q^{год}_{тн}(\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн} - 1)/\varepsilon^{гв\ ср.\ лет.}_{тн}\ \Delta t^{гв\ ср.\ лет}_{нпит}.$$

При средневзвешенных $\varepsilon^{ср.от}_{тн} = 4,4$, $\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн} = 3,8$, $\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн} = 4,1$ и $\Delta t^{от}_{н\text{-}пит} = \Delta t^{гв\ ср.от.}_{нпит} = \Delta t^{гв\ ср.\ лет}_{нпит} = 4^0C$ значение $G^{год}_{нпит} = 0,19\ Q^{год}_{тн}$.

Объемы циркуляции теплоносителей в контурах испарителей и конденсаторов тепловых насосов рассчитываются по значениям годового объема теплоты, отбираемой в испарителях ($\mathbf{Q^{год}_{нпит}}$), и годового объема теплоты, выработанной тепловыми насосами и переданной на потребление ($\mathbf{Q^{год}_{тн}}$)

$$\mathbf{G^{год}_{исп.тн} = Q^{год}_{нпит} /\Delta t_{исп.})}, \text{ тыс.м}^3\text{/год}; \quad (5.27)$$

$$\mathbf{G^{год}_{конд.тн} = Q^{год}_{тн} /\Delta t_{конд.})}, \text{ тыс.м}^3\text{/год}; \quad (5.28)$$

Годовой расход электрической энергии тепловыми насосами для выработки годового объема теплоты рассчитывается по формуле:

$$\mathbf{W^{год}_{тн} = Q^{от.}_{тн} / 0,86\ x\ \varepsilon_{ср}^{зим} + Q^{лет.}_{тн} /0,86\ x\ \varepsilon_{ср}^{лет}}, \text{ Гкал} \quad (5.29)$$

где $\mathbf{Q^{от.}_{тн}}$ и $\mathbf{Q^{лет.}_{тн}}$ – объемы выработки теплоты в отопительный период и летний и переходные периоды года, Гкал; $\mathbf{\varepsilon_{ср}^{зим}}$ и $\mathbf{\varepsilon_{ср}^{лет}}$ – средние за отопительный период и летний и переходные периоды года коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты.

Отношение годового расход электрической энергии ($\mathbf{W^{год}_{тн}}$) к объему произведенной теплоты ($\mathbf{Q^{год}_{тн}}$) является среднегодовым показателем эффективности трансформации тепловыми насосами низкопотенциальной теплоты ($\mathbf{\varepsilon_{ср}^{год}}$)

$$\mathbf{\varepsilon_{ср}^{год} = Q^{год}_{тн}/0,86\ W^{год}_{тну}} \quad (5.30)$$

Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты ТНУ ($\mathbf{W^{год}_{тну}}$) определяется как сумма расходов электрической энергии тепловыми насосами ($\mathbf{W^{год}_{тн}}$) и циркуляционными насосами ($\mathbf{W^{год}_{насосов}}$)

$$\mathbf{W^{год}_{тну} = W^{год}_{тн} + W^{год}_{насосов} =}$$

$$= \mathbf{W^{год}_{тн} + (W^{год}_{нас.\ нпит} + W^{год}_{нас.\ исп.тн} + W^{год}_{нас.\ конд.\ тн})}, \text{ МВтч/год} \quad (5.31)$$

Годовой расход электрической энергии на забор и подачу теплоносителя от источника низкопотенциальной теплоты в теплообменник отбора теплоты ($\mathbf{W^{год}_{нпит}}$), циркуляцию теплоносителей в контурах испарителей ($\mathbf{W^{год}_{нас.\ исп.тн}}$) и конденсаторов тепловых насосов ($\mathbf{W^{год}_{нас.\ конд.\ тн}}$) рассчитывается по формуле:

$$\mathbf{W^{год}_{насосов} = (G^{год}_{нпит} + G^{год}_{нас.\ исп.тн} + G^{год}_{нас.\ конд.\ тн})\ э_{уд.}}, \text{ МВтч/год} \quad (5.32)$$

где $\mathbf{э_{уд.}}$ – удельный расход электрической энергии на работу насосов, кВтч/м$^3$;

На практике годовой расход электрической энергии на работу насосов забора и подачи низкопотенциальной теплоты в контур испарителей ($\mathbf{W^{год}_{нас.\ нпит}}$) и циркуляционных насосов контуров испарителей ($\mathbf{W^{год}_{нас.\ исп.тн}}$) и конденсаторов тепловых насосов ($\mathbf{W^{год}_{нас.\ конд.\ тн}}$), который во многом зависит от вида и параметров НПИТ, может изменяться в интервале от 5% до 15% расхода электрической энергии на привод тепловых насосов ($\mathbf{W^{год}_{тн}}$).

Отношение годового расход электрической энергии на выработку теплоты ТНУ ($\mathbf{W^{год}_{тну}}$) к объему произведенной теплоты ($\mathbf{Q^{год}_{тн}}$) является показателем энергетической эффективности ТНУ ($\mathbf{\beta}$)

$$\mathbf{\beta = Q^{год}_{тн}/0,86\ W^{год}_{тну}} \quad (5.33)$$

Энергоэкономическую эффективность ТНУ характеризует показатель $\mathbf{\mu}$, который равен отношению годового расхода электрической энергии, потребляемой ТНУ ($\mathbf{W^{год}_{тну}}$), к объему произведенной теплоты, рассчитанной при 100% работе тепловых насосов с расчетной теплопроизводительностью

$$\mathbf{\mu = 1,16 Q^{год}_{тн}/(Q^{р}_{тн}\ 8760)} \quad (5.34)$$

Не трудно заметить, что **μ** всегда меньше **β,** а **β** всегда меньше $\varepsilon_{ср}^{год}$.

Величина обратная **μ** есть число часов использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов ($T^{год}_{расч.}$), величина которого вместе с $\varepsilon_{ср}^{год}$ во многом определяет экономическую эффективность работы ТНУ

$$T^{год}_{расч.тну} = (Q^{р}_{тн}\ 8760)/\ 1{,}16\ Q^{год}_{тн}\ , \text{ час} \qquad (5.35)$$

При использовании в ТНУ рекомендуемых источников низкопотенциальной теплоты (см. табл 5.1) значения $\varepsilon^{ср.от}_{тн}$ , $\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн}$ и $\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн}$ определяются с учетом принятого отопительного графика и продолжительности работы тепловых насосов в заданных температурных интервалах теплоносителей на входе в испарители и выходе конденсаторов. Их оценочные интервалы значений**:** $\varepsilon^{ср.от}_{тн}$ **= 4,0…4,8** , $\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн}$ **= 3,5…4,2** и $\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн}$ **= 3,7…4,5** (для сточных вод); $\varepsilon^{гв\ ср.от.\ периода}_{тн}$ **= 2,8…3,5** и $\varepsilon^{гв\ ср.лет.}_{тн}$ **= 3,5…5,0** (для наружного воздуха). Принимается, что выработка теплоты тепловыми насосами для покрытия отопительной нагрузки осуществляется по графику качественного регулирования, т.е. со снижением температуры теплоносителя при снижении тепловой нагрузки. Поэтому, значение $\varepsilon^{ср.от}_{тн}$ всегда больше $\varepsilon^{р}_{тн}$ (см. илл. 5.2).

Результаты расчетов годового расхода ресурсов на выработку тепловой энергии, которые являются основанием для анализа энергетической эффективности каждого из альтернативных вариантов ТНУ и выбора конкурентных для выбора проектного решения, сводятся в таблицу 5.3.

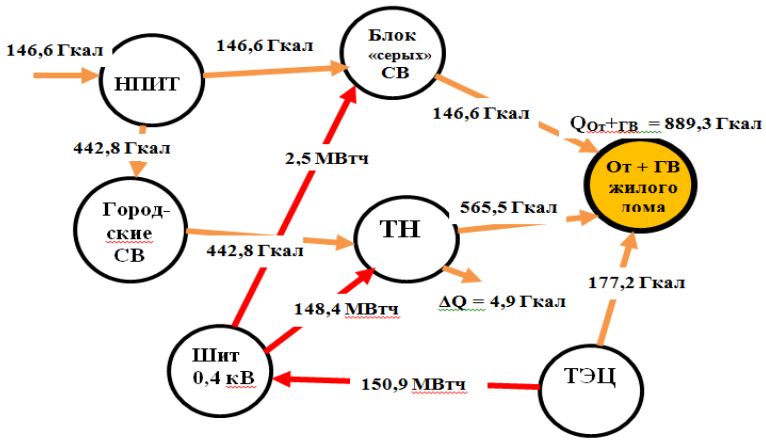
*Таблица 5.3 – Годовое теплопотребление жилого здания и источники его покрытия*

| № п/п | Наименование показателей | Ед. изм. | Значение для альтернативных вариантов | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вар.1 | Вар. 2 | Вар.3 |
| 1 | Годовое потребление теплоты на отопление и горячее водоснабжение здания, всего | Гкал | | | |
| | в т. ч. на отопление | - “ - | | | |
| | • на горячее водоснабжение | - “ - | | | |
| 2 | Годовая выработка теплоты теплогенерирующим оборудованием местного теплоисточника, всего | Гкал | | | |
| | в т. ч. ТН на отопление | - “ - | | | |
| | • ТН на горячее водоснабжение в отопительный период | - “ - | | | |
| | • ТН на горячее водоснабжение в остальные периоды года | - “ - | | | |
| | …… * | - “ - | | | |
| 3 | Количество теплоты, отбираемой от НПИТ для годовой выработки теплоты тепловыми насосами | Гкал | | | |
| 4 | Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты теплогенерирующим оборудованием, всего | Мвтч | | | |
| | в т. ч. тепловыми насосами на отопление | - “ - | | | |
| | • ТН на горячее водоснабжение в отопительный период | - “ - | | | |
| | • ТН на горячее водоснабжение в остальные периоды года | - “ - | | | |
| | ……* | - “ - | | | |

*- точками обозначено место для записи данных другого вида теплогенерирующего оборудования входящего с источник отопления и горячего водоснабжения жилого здания

Как и энергетические потоки в расчетных условиях отопления и горячего водоснабжения, значения годовых энергетических потоков от теплогенерирующего оборудования и их направления могут представляться в виде ориентированного графа, узлы которого являются энергогенерирующим оборудованием, а дуги – энергетическим потоками. В качестве примера на илл. 5.10 приведен ориентированный граф годовых энергетических потоков одного из альтернативных вариантов поливалентного источника отопления и го-

рячего водоснабжения, в котором теплогенерирующим оборудованием являются тепловые насосы (63,6%), блок использования теплоты «серых» сточных вод (16,5%) и источник централизованного теплоснабжения (19,9%).




*Илл. 5.10 – Ориентированный граф годовых энергетических потоков в структуре поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения многоэтажного жилого здания*

Анализ приведенных в табл. 5.2, 5.3 и илл. 5.8, 5.9 значений энергетических потоков в альтернативных источниках отопления и горячего водоснабжения с ТНУ и показателей эффективности применения дает основание для их ранжирования с учетом местных ограничений по приемлемости применения в проекте.

## 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

В разделе рассматриваются некоторые технологические схемы поливалентных источников отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого здания с ТНУ, отличающиеся структурой, участием тепловых насосов в покрытии тепловой нагрузки многоэтажных энергоэффективных жилых зданий, видом и потенциалом НПИТ, потребителями и параметрами произведенной тепловой энергии. В основу их формирования положен опыт разработки проектов ТНУ для отопления и горячего водоснабжения жилых зданий и объектов социальной инфраструктуры.

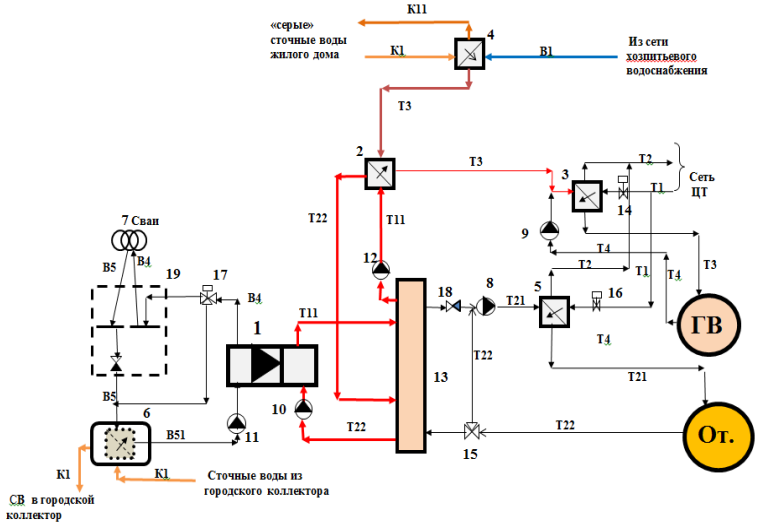
Учитывая технические особенности тепловых насосов, на выбор базовых технологических схем источников отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого здания с ТНУ влияют:

- архитектурно-планировочные и конструктивные решения проектируемых жилых зданий;
- параметры систем отопления и горячего водоснабжения (см. раздел 2);
- параметры и режимы потока НПИТ (см. раздел 3);
- экологические ограничения;
- соотношения тарифов на тепловую и электрическую энергию;
- интересы участников всего цикла проектирования, строительства и эксплуатации ТНУ.

Обязательным является учет возможности эффективной работы тепловых насосов совместно с источниками централизованного теплоснабжения и местным теплогенерирующим оборудованием, которым могут быть водогрейные котлы на природном газе, электрические котлы, гелиоустановки, утилизаторы теплоты «серых» сточных вод. Выбор их мощности и распределение тепловой нагрузки производится по критериям энергетической и экономической эффективности с учетом экологических и санитарно-гигиенических требований при сохранении надежности работы стыкуемых внутридомовых и наружных систем электроснабжения, водоснабжения и водоотведения.

На илл. 6.1 … 6.10 приведены технологические схемы некоторых идеализированных источников отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий, отличающиеся структурой, видом тепловой нагрузки, типом теплогенерирующего оборудования, источниками низкопотенциальной теплоты, режимами работы и участием тепловых насосов в покрытии тепловых нагрузок. Схемы максимально упрощены. Показаны только основные элементы схем и направления тепловых потоков, поясняющие работу источника отопления и горячего водоснабжения зданий в целом, без устройств управления режимами работы и защиты, которые обязательны для всех систем. Например, показан один тепловой насос, а в реальном проекте источник включает, как правило, два и более тепловых насосов, объединенные технологически в каскад.

По технологической схеме илл. 6.1 базовая часть нагрузки отопления и горячего водоснабжения покрывается за счет тепловых насосов «антифриз-вода» и теплоты «серых» сточных вод, а пики потребления – из сети централизованного теплоснабжения. НПИТ – сточные воды городского коллектора и грунт.




*Илл. 6.1 – Технологическая схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «антифриз-вода», использующих теплоту городских сточных вод и грунта*

В структуре поливалентного источника (см. илл. 6.1) тепловые насосы **1** работают по графику качественного регулирования системы отопления на гидравлический разделитель **13**. Насосом **8** теплоноситель с температурой 35….45$^0$С подается на теплообменник **5** и подогревается (при необходимости) по отопительному графику сетевой водой от источника централизованного теплоснабжения (ЦТ) открытием клапана **16**. При температуре теплоносителя из системы отопления выше, чем температура теплоносителя в разделителе **13**, клапан **15** закрывается в направлении **13**, а циркуляция в контуре отопления обеспечи-

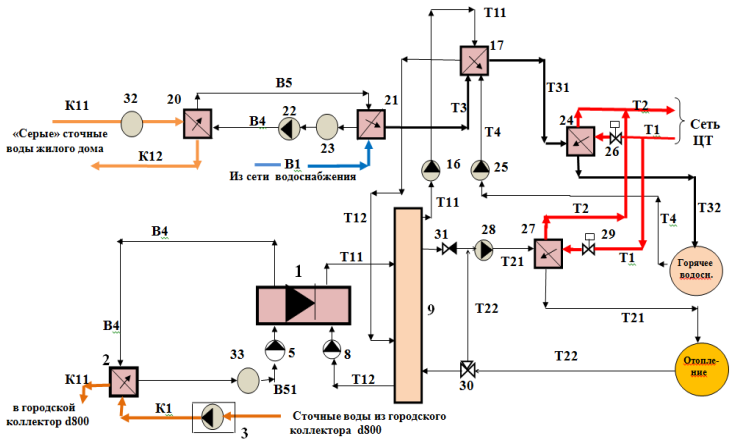
вается насосом **8** и обратным клапаном **18** до температуры теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления на 4…5$^0$С ниже, чем температура на выходе конденсаторов теплового насоса. Это достигается режимом периодического отопления.

Для горячего водоснабжения насосом **12** из гидравлического разделителя **13** теплоноситель с температурой 35….45$^0$С подается в теплообменник-подогреватель горячей воды **2**. Температура горячей воды на выходе теплообменника **2** изменяется в зависимости от температуры входящей холодной воды (5...21$^0$С) и ее расхода у потребителя. Ее подогрев до 55$^0$С осуществляется в теплообменнике **3** сетевой водой от ЦТ открытием клапана **14**.

Техническим решением предусматривается применение блока **6** отбора теплоты городских сточных вод, с размещением теплообменника непосредственно в коллекторе сточных вод (см. илл. 4.8), и блока погружного теплообменника **4** отбора теплоты «серых» сточных вод жилого дома (см. илл. 4.7а), вписанного в трубопровод отведения стоков дома в наружную канализационную сеть.

Исключение из схемы контура отбора теплоты грунта **7** на основе свайных или других теплообменников принципиально не меняет логику работы ТНУ.

В схеме на илл. 6.2 сточные воды городского коллектора являются единственным НПИТ, а их подача в теплообменник-утилизатор **2** (см. илл. 4.7б, 4.11) осуществляется микро-КНС **3** (см. илл. 4.12). Теплота «серых» сточных вод отбирается в установке на основе высокоэффективного компактного теплообменника **20** (см. илл. 4.7б, 4.11) и пластинчатого теплообменника **21**.



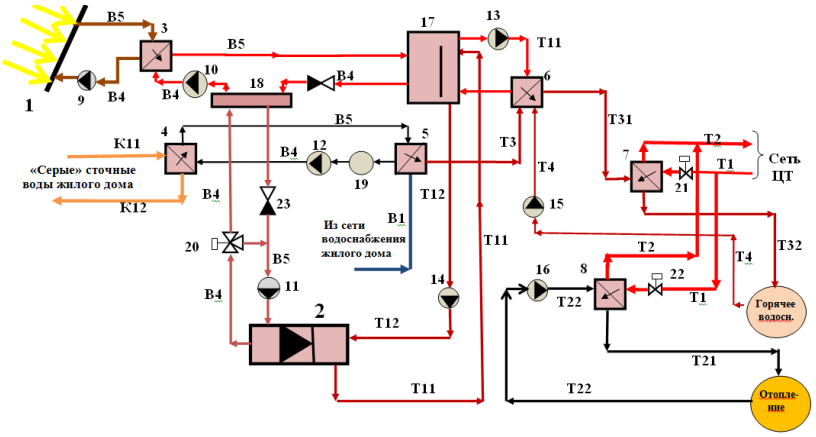

*Илл. 6.2 – Технологическая схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «антифриз-вода», использующих теплоту городских сточных вод*

Для многоэтажных жилых зданий, в которых не планируется использование теплоты «серых» сточных вод, схема на илл.6.2 несколько преобразуется с исключением оборудования **20** + **21** + **22** + **23** + **32** и подачей водопроводной воды непосредственно в теплообменник **17**.

Приведенная на илл. 6.2 схема могут быть применена для использования теплоты подземной или оборотной воды, качественные показатели которых исключают их подачу непосредственно в испарители тепловых насосов.

На илл. 6.3 и 6.4 приведены технологические схемы, в которых тепловые насосы «вода-вода» участвуют в покрытии только тепловой нагрузки горячего водоснабжения совместно с гелиосистемой и блоком отбора теплоты «серых» сточных вод.

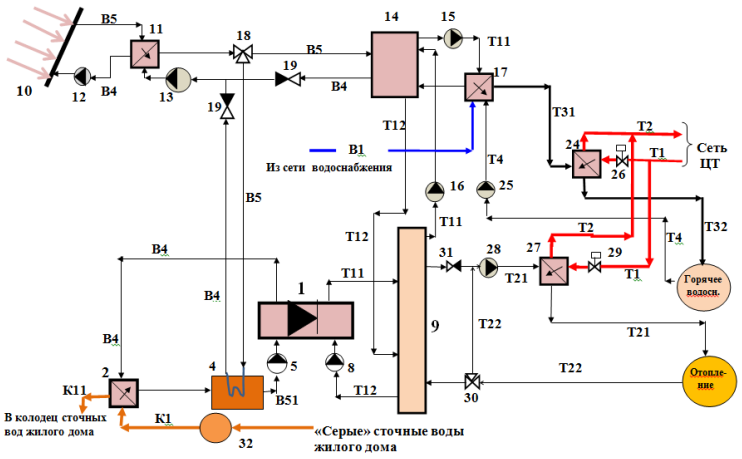
Стимулировали разработку таких решений результаты расчетов параметров гелиосистемы, запроектированной для горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г.Могилеве. Предложенные варианты интеграции тепловых насосов в контур гелиоколлекторов повышают экономичность таких поливалентных источников за счет увеличении времени полезной работы гелиоустановки в течение года.




*Илл. 6.3 – Технологическая схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «вода-вода», использующих теплоту солнечной радиации из вторичного контура гелиосистемы*

Режим работы тепловых насосов **2** полностью зависит от температуры теплоносителя (воды) во вторичном контуре гелиоколлекторов и воды на разных уровнях атмосферного резервуара **17**. Управление режимом осуществляется встроенным микропроцессором головного теплового насоса, интегрированного в системный контроллер. Температура теплоносителя на входе в испаритель поддерживается в интервале от $7^0$C до $20^0$C. Регулирование осуществляется трехходовым клапаном **20**. Контроль над разрешенным интервалом расхода теплоносителя в контуре выполняет реле протока и датчик температуры воды на входе испарителя, которые одновременно являются элементами защиты испарителя от замерзания при аварийном отключении циркуляционного насоса **11**. Гидравлическая устойчивость вторичного контура гелиосистемы и контура испарителя теплового насоса обеспечивается разделителем **18**. Теплота «серых» сточных вод, как и в схеме на илл. 6.2, отбирается в блоке **4** + **5** + **12** + **19**.

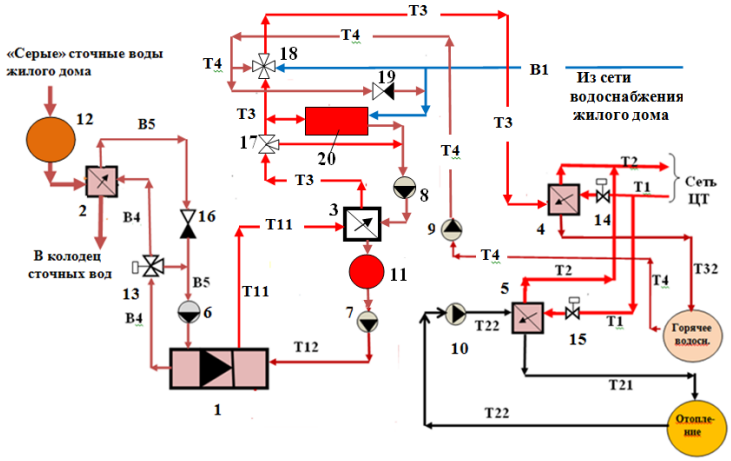
Энергетически эффективным решением при ограничениях в размещении гелиоколлекторов может быть совместное использование тепловыми насосами теплоты вторичного контура гелиоколлекторов и «серых» сточных вод. Возможная схема такой комбинации показана на илл. 6.4.




*Илл. 6.4 – Технологическая схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «вода-вода», использующих теплоту «серых» сточных вод и солнечной радиации из вторичного контура гелиосистемы*

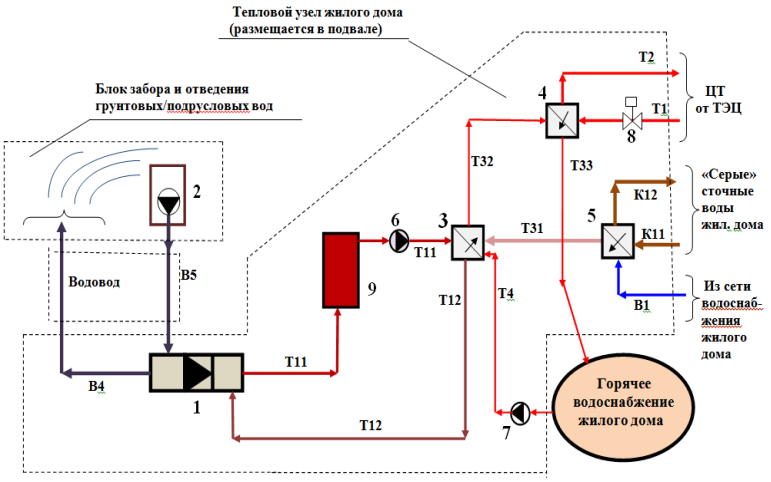
Тепловые насосы **1** используют теплоту «серых» сточных вод жилого дома, отбираемую в теплообменнике **2** и теплоту теплоносителя вторичного контура гелиоколлекторов **10**, переданную через трехходовой клапан **18** в резервуар **4** с погружным теплообменником. Выработанная тепловыми насосами тепловая энергия передается через гидравлический разделитель **17** в системы отопления и горячего водоснабжения жилого дома. В дневные часы провала графика горячего водоснабжения тепловые насосы **1** работают с использованием теплоты от гелиоколлекторов на покрытие отопительной нагрузки.

Энергетическая эффективность ТНУ повышается при независимой работе теплогенерирующего оборудования на покрытие изменяющейся нагрузки отопления и условно постоянной в течение сезонов нагрузки горячего водоснабжения [33]. Такое фунциональное разделение может быть реализовано при применении тепловых насосов **1** для «глубокого» использования теплоты «серых» сточных вод. Для сглаживания несовпадения режимов отведения сточных вод и потребления горячей воды контур горячего водоснабжения дополняется аккумуляторами горячей воды **20**. На илл. 6.5 показана технологическая схема такого решения.




*Илл. 6.5 – Технологическая схема поливалентного источника горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «антифриз-вода», использующих теплоту «серых» сточных вод*

Технологическая схема источника горячего водоснабжения, использующего теплоту качественных геотермальных вод, очищенных сточных вод и оборотных вод с температурой на входе в испарители тепловых насосов не менее $7^0$С, показана на илл.6.6.




*Илл. 6.6 – Технологическая схема поливалентного источника горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «вода-вода», использующих теплоту подземных вод*

Приведенные схемы (см. илл. 6.1- 6.6) основаны на апробированных в Республике тепловых насосах «антифриз-вода» и «вода-вода», заправленных уже традиционными рабочими агентами R407C, R410A и R134a (см. раздел 4).

В последние годы в европейских странах началось внедрение тепловых насосов, использующих теплоту наружного воздуха с температурой до минус $25^0$С, заправленных рабочими агентами R290 (пропан) и R744($CO_2$) (см. раздел 4). Имеющийся теоретический задел оценки технической возможности и эффективности, а также обобщение зарубежного опыта их эксплуатации дает основание рассматривать их в качестве источников круглогодичного горячего водоснабжения многоэтажных энергоэффективных жилых зданий. Технологические схемы таких технических решений приведены на илл. 6.7, 6.8 и 6.10.

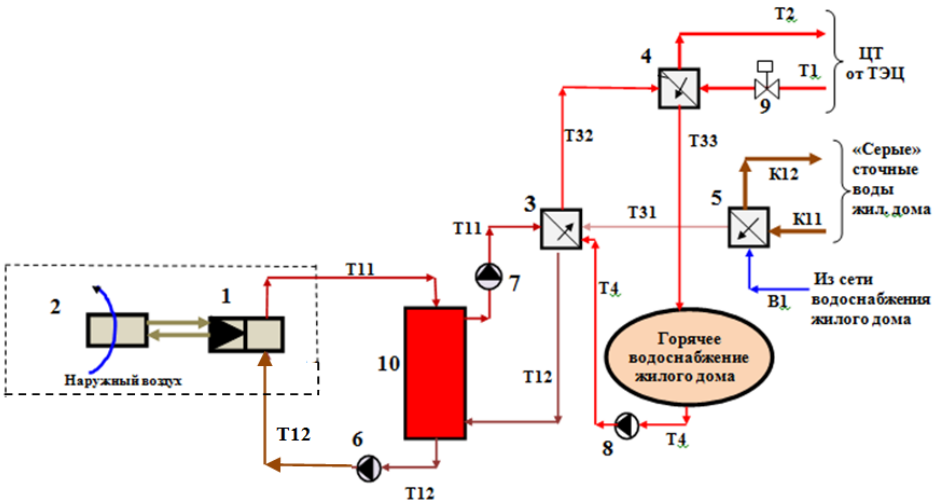



*Рис. 6.7 – Технологическая схема источника горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «вода-вода», заправленных рабочим агентом R717 (пропан)*

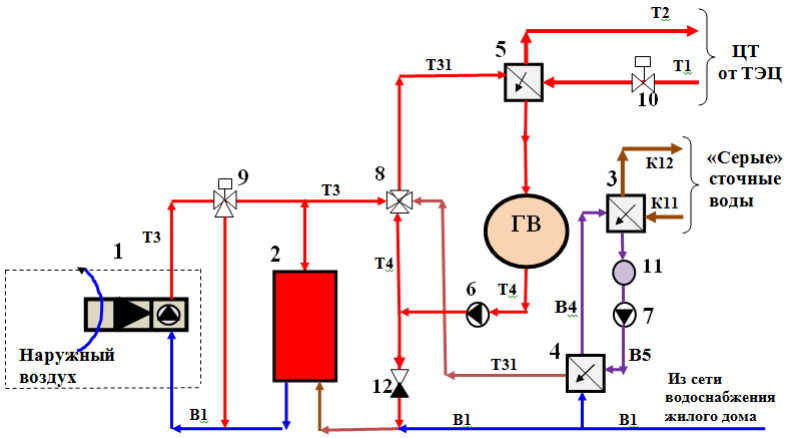
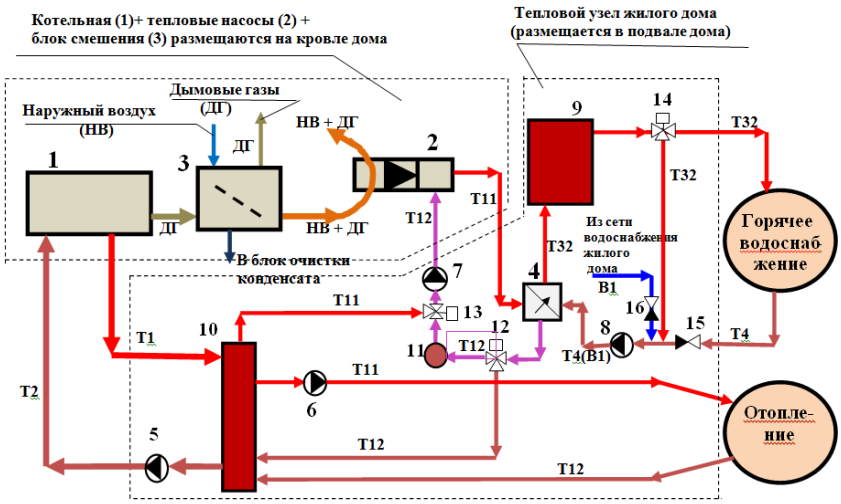



*Рис. 6.8 – Технологическая схема источника горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «воздух-вода», заправленных рабочим агентом R 744 ($CO_2$)*

Во всех рассмотренных выше вариантах (илл.6.1-6.8) тепловые насосы рассчитываются на работу в бивалентном режиме с источником централизованного теплоснабжения района на основе РК или ТЭЦ.

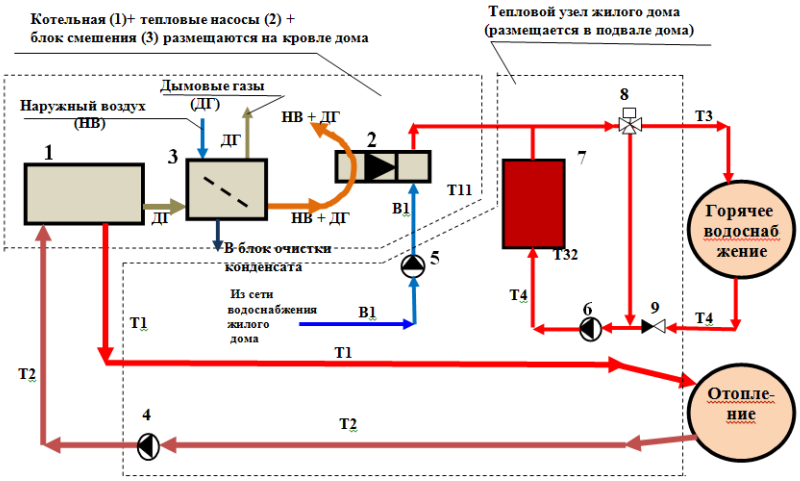
При ограничениях на присоединение к сети централизованного теплоснабжения или отсутствии такой возможности актуально применение местных поливалентных теплоисточников, в которых тепловые насосы рассчитываются на круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения.

Если рассматривается вариант строительства домовой котельной с котлами на природном газе, то улучшить его энергетические и экологические показатели рационально при интегрировании в тепловую схему котельной тепловых насосов «воздух-вода», использующих теплоту дымовых газов и наружного воздуха [15]. На илл. 6.9 приведена технологическая схема такого бивалентного источника, состоящего из котлов на органическом топливе **1**, тепловых насосов **2**, установки смешения дымовых газов и наружного воздуха **3** и аккумуляторов горячей воды **9**. Заправленные рабочими агентами R410A или R407C тепловые насосы рассчитываются на круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения и отопления в периоды начала и окончания отопительного периода.




*Илл. 6.9 – Технологическая схема бивалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «воздух-вода», заправленных рабочим агентом R410 A или R717 (пропан)*

Полное функциональное разделение теплопотребляющих систем жилого здания от местного бивалентного теплоисточника на основе газовой котельной **1** можно при применении тепловых насосов «воздух-вода» **2**, заправленных рабочим агентом R744 ($CO_2$) по схеме, приведенной на илл.6.10. Учитывая технические особенности таких тепловых насосов (см. раздел 4) повышается энергетическую эффективность их круглогодичной работы на нагрузку горячего водоснабжения.




*Илл. 6.10 – Технологическая схема бивалентного источника отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов «воздух-вода», заправленных рабочим агентом R 744 ($CO_2$)*

В целом, приведенные технологические схемы являются основой для детализации и преобразования, применительно к конкретным местным условиям проектируемого жилого здания (см. раздел 5) и с учетом заданных критериев эффективности теплоснабжения.

## 7. ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В зависимости от архитектурно-планировочных условий теплогенерирующее оборудование ТНУ может размещаться на крышах жилых зданий (только тепловые насосы, тепловые насосы + гелиоколлекторы, тепловые насосы + котлы на природном газе), в технических подпольях и пристроенных к зданию помещениях (только тепловые насосы, тепловые насосы + электрические котлы, тепловые насосы + тепловой пункт сети централизованного теплоснабжения) и на прилегающей к дому территории (тепловые насосы «воздух-вода»).

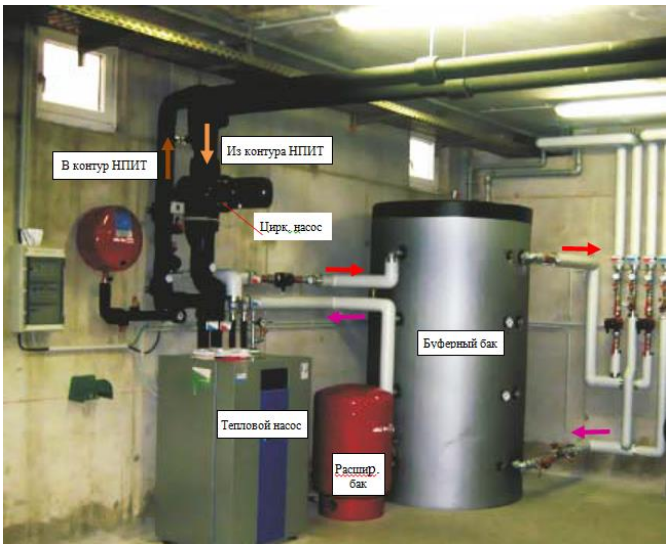
Для выбранного варианта принимаемые решения должны обеспечивать максимальную компактность и удобства в обслуживании структурных блоков ТНУ с учетом экономичности строительства и эксплуатации жилого здания в целом. Уже на предпроектной стадии следует согласовать размеры дверных проемов, устройства монтажных окон и высоту помещений с оборудованием (не менее 2,5 м).

При равных условиях определяющими выбор места размещения являются вид источника низкопотенциальной теплоты (см. раздел 3) и тип применяемых тепловых насосов (см. раздел 4). Например, тепловые насосы «антифриз-вода» и «вода-вода» могут

находиться непосредственно в тепловых пунктах или стыкуемых помещениях, в которых желательно устанавливать блоки отбора низкокотенциальной теплоты, циркуляционные насосы и баки-аккумуляторы горячей воды.

На илл. 7.1 ….7.5 показаны примеры размещения и особенности обвязки тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» некоторых известных фирм, в т. ч. технические характеристики которых приведены в разделе 4.

На илл. 7.1 ….7.5 показаны примеры размещения тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» некоторых известных фирм в зданиях и особенности их гидравлической обвязки.




*Илл.7.1 – Размещение и обвязка оборудования ТНУ*

*Илл.7.2 – Размещение и обвязка тепловых насосов Greenline F 65 фирмы «IVT» (Швеция)*

*Илл.7.3 – Размещение и обвязка тепловых насосов TERRA61 фирмы «Ochsner» (Австрия)*

*Илл.7.4 – Размещение и обвязка тепловых насосов GWC020BC фирмы «GEA» (Германия)*

Тепловые насосы «воздух-вода», в зависимости от планировочных, санитарных и экологических ограничений, а также технических требований к установке, могут размещаться в подвалах и на улице со стороны расположения теплового пункта, крышах и верхних технических этажах.

При оценке возможности их установки в подвалах следует учитывать ограничения по шумовым параметрам работы компрессоров и вентиляторов, если на крышах и верхних технических этажах – возможность организации эвакуационного выхода на лестничную клетку.

На улице тепловые насосы «воздух-вода» устанавливаются на минимально разрешенным расстоянии от стенки здания с обязательным ограждением от проникновения и механических повреждений сетчатым забором.

Все тепловые насосы «воздух-вода» наружной установки должны иметь на входных и выходных решетках вентиляторов специальные элементы защиты корпуса от воздействия ветра и снега (илл.7.5)

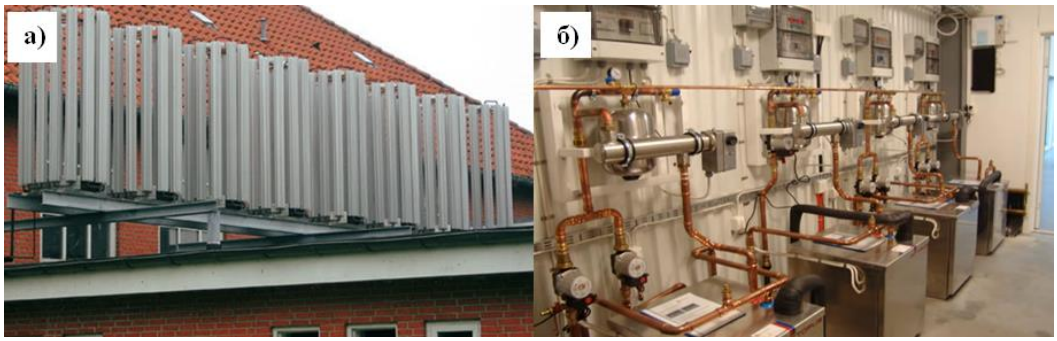
.

*Илл. 7.5 – Вид на тепловой насос «воздух-вода» с элементами для защиты от воздействия снега и ветра*

Тепловые насосы, которые функционально интегрированы в домовые котельные с котлами на природном газе, размещаются в соответствии с требованиями для проектирования котельных (П1-03 к СНиП II-35-76 Проектирование автономных и крышных котельных).

На илл. 7.5….7..8 показаны примеры размещения некоторых моделей тепловых насосов «воздух-вода», а на илл. 7.9 – баков аккумуляторов горячей воды.

*Илл.7.6 – Размещение каскада из агрегатированных тепловых насосов «воздух-вода» F2300 фирмы «NIBE» (см. табл. 4.8)*




*Илл.7.7 – Размещение каскада из испарителей (а) и компрессорно-конденсаторных блоков (б) тепловых насосов «воздух-вода» модели 120X фирмы «Octopus» (см. табл. 4.12)*

*Илл. 7.8 – Размещение и обвязка аккумуляторов горячей воды*

Другие примеры размещения тепловых насосов и других устройств отбора теплоты НПИТ показаны в разделе 4.

# 8. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Как следует из разделов 5 и 6, ТНУ является теплогенерирующей установкой в составе энергоэффективного источника отопления и горячего водоснабжения жилого здания. Вследствие этого выбор проектного решения ТНУ определяется по результатам сравнения значений энергетических, экологических, экономических и других показателей эффективности работы источника отопления и горячего водоснабжения в целом. Из предположения, что ЗАКАЗЧИКОМ при составлении технического задания учитываются интересы заинтересованных сторон (ЗС), определяющими критериями для принятия решения о проектном варианте ТНУ могут быть:

- максимум экономии первичного топлива, минимум выбросов $CO_2$ и минимум приведенных затрат, когда ЗС является государство;
- минимум единовременных капитальных вложений, минимум простого срока окупаемости, максимум чистого дисконтированного дохода, когда ЗС является ИНВЕСТОР, который сам планирует эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения;
- минимум единовременных капитальных вложений и минимум простого срока окупаемости, когда ЗС является ИНВЕСТОР, который планирует передачу в эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения товариществу собственников;
- минимум ежегодных эксплуатационных расходов и приведенных затрат, когда ЗС являются жилищные товарищества, которые сами инвестируют в строительство и планируют эксплуатацию ТНУ.

Определение значений названных критериев выполняется по действующим рекомендациям и программам, которые применяются для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [35,36]. Для расчетов при выборе ТНУ необходимо учитывать:

- что продолжительность строительства источника не более одного года, а длительность расчетного периода принимается равной сроку службы основного оборудования;
- зависимость срока службы тепловых насосов от их типа, теплопроизводительности и участия в покрытии суточного и годового теплопотребления жилого дома;
- непредсказуемость ежегодных затрат на эксплуатацию ТНУ в течение их срока службы, зависящих от текущих цен на природный газ, тарифов на тепловую и электрическую энергию;
- экономическую оценку экологического эффекта ТНУ;
- согласие жилищных товариществ оплачивать более капиталоемкие решения, которые имеют меньшие ежегодные затраты на эксплуатацию и обеспечивают большую надежность теплоснабжения;
- неопределенность прогноза экономической эффективности в условиях инфляции при системной оценке конкурирующих технологических решений источников.

Ожидается, что большинство из приведенных выше факторов будет учитываться в целевой методике оценки эффективности принимаемых энергосберегающих решений при проектировании энергоэффективных многоэтажных жилых зданий, которая планируется к разработке в проекте ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».

Обязательными для расчетов во всех методиках являются потребление первичного топлива, единовременные капитальные вложения на сооружение и ежегодные расходы на эксплуатацию источников отопления и горячего водоснабжения. Ниже для сравнения эффективности разработанных решений приведены основные формулы для их значений. Исходными являются результаты расчетов энергетических потоков (см. раздел 5), значения удельных расходах энергетических ресурсов (топливо, тепловая и электрическая энергия), стоимости этих ресурсов, а также плата за используемые тепловыми насосами потоки низкопотенциальной теплоты.

**Суммарный расход первичного топлива** источником отопления и горячего водоснабжения с ТНУ ($\mathbf{B^{год}_{ист.О\ и\ ГВ}}$), равен сумме топлива, расходуемого ТНУ ($\mathbf{B^{год}_{\ тну}}$), источником централизованного теплоснабжения ($\mathbf{B^{год}_{цт}}$), домовой котельной ($\mathbf{B^{год}_{дом.\ кот.}}$) и другого местного теплогенерирующего оборудования ($\mathbf{B^{год}_{др.\ мест.}}$).

$$\mathbf{B^{год}_{\ ист.О\ и\ ГВ} = B^{год}_{\ тну} + B^{год}_{цт} + B^{год}_{дом.\ кот.} + B^{год}_{др.\ мест.}},\ \text{ту.т./год} \qquad (8.1)$$

Расход топлива на выработку теплоты ТНУ определяется из выражения

$$\mathbf{B^{год}_{\ тну} = W^{год}_{тну}\, b_{ээ}},\ \text{ту.т./год} \qquad (8.2)$$

где $\mathbf{W^{год}_{тну}}$ – годовой расход электрической энергии на выработку теплоты ТНУ (см. 5.29), МВтч; $\mathbf{b_{ээ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии на источнике электрической энергии, ту.т./МВтч.

Расход топлива на выработку теплоты источником централизованного теплоснабжения (илл. 6.1-6.8) определяется из выражения:

$$\mathbf{B^{год}_{\ ти} = Q^{год}_{ти}\, b_{тэ}/1000},\ \text{ту.т./год} \qquad (8.3)$$

где $\mathbf{Q^{год}_{тэц}}$ – объемы годовой выработки теплоты на источнике централизованного теплоснабжения (см. 5.12), Гкал; $\mathbf{b_{тэ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии на источнике централизованного теплоснабжения, ту.т/Гкал.

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты домовой котельной (см. илл. 6.9, 6.10):

$$\mathbf{B^{год}_{дом.\ кот.} = Q^{год}_{дом.\ кот.}\,(b_{дом.кот} + b_{ээ\ дом.кот}\, b_{ээ}\ /1000)},\ \text{ту.т./год}, \qquad (8.4)$$

где $\mathbf{Q^{год}_{дом.\ кот.}}$ – объемы годовой выработки теплоты домовой котельной, Гкал; $\mathbf{b_{кот}}$ – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии домой котельной, ту.т/Гкал; $\mathbf{b_{ээ\ дом.кот}}$ – удельный расход электрической энергии на выработку 1 Гкал домовой котельной, кВтч/Гкал**.**

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием (см. илл. 6.1-6.8):

$$\mathbf{B^{год}_{др.\ мест.} = Q^{год}_{др.мест.}\, b_{др.мест.}\, b_{ээ}\ /1000)},\ \text{ту.т./год.} \qquad (8.5)$$

где $\mathbf{Q^{год}_{др.мест.}}$ – объемы годовой выработки теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием, Гкал; $\mathbf{b_{ээ\ др.\ мест.}}$ – удельный расход электрической энергии на выработку 1 Гкал другим местным теплогенерирующим оборудованием, кВтч/Гкал**.**

Значения удельных расходов топлива на выработку электрической и тепловой энергии на источниках энергосистемы и других источниках централизованного теплоснабжения ($\mathbf{b_{ээ}}$ и $\mathbf{b_{тэ}}$) принимаются по данным эксплуатирующих организаций, а домовых котельных и другого теплогенерирующего оборудования ($\mathbf{b_{дом.кот}}$ **,** $\mathbf{b_{ээ\ дом.кот}}$ и $\mathbf{b_{др.мест}}$) – по паспортным данным устанавливаемого оборудования и др.

**Объем выбросов углекислого газа** от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии альтернативными источниками отопления и горячего водоснабжения, являющийся показателем их экологической эффективности, равен сумме выбросов, образующихся при выработке теплоты их теплогенерирующими установками: ТНУ ($\mathbf{CO_2^{год}_{\ тну}}$); источником централизованного теплоснабжения ($\mathbf{CO_2^{год}_{цт}}$); домовой котельной ($\mathbf{CO_2^{год}_{дом.кот.}}$) и другим местным оборудованием ($\mathbf{CO_2^{год}_{др.\ мест.}}$)

$$CO_2^{год}{}_{ист.О\ и\ ГВ} = CO_2^{год}{}_{тну} + CO_2^{год}{}_{цт} + CO_2^{год}{}_{дом.\ кот.} + CO_2^{год}{}_{др.\ мест.} =$$
$$= (B^{год}{}_{тну} + B^{год}{}_{цт} + B^{год}{}_{дом.\ кот.} + B^{год}{}_{др.\ мест.}) \cdot a, \text{ тонн}, \quad (8.6)$$

где **а** – количество выбросов $CO_2$, образующихся при сжигании 1 т у.т. для природного газа.

Принимается, что на источниках производства тепловой и электрической энергии сжигается только природный газ, а тепловые насосы заправлены экологически чистыми рабочими агентами.

**Сравнение экономической эффективности проектных решений источника отопления и горячего водоснабжения с ТНУ** как объектов нового строительства могут выполняться по величине капитальных вложений, ежегодным эксплуатационным расходам и приведенным затратам. В условиях неопределенности экономических прогнозов денежной единицей в расчетах принят доллар США[9], ставка рефинансирования – 5% (в Европе не более 4%).

*Капитальные вложения на сооружение ТНУ* складываются из затрат на:

- разработку проектной документации, включая выполнение научно-исследовательских работ, авторский надзор и др. (рассчитываются по действующим ценникам на планируемый объем работ в соответствии с техническим заданием ЗАКАЗЧИКА);
- приобретение основного оборудования и материалов для обвязки тепловых насосов, их контуров испарителей и конденсаторов, а также сети инженерного обеспечения ТНУ (по данным прайс-листов организаций, являющихся производителями оборудования или представляющих их интересы в Республике Беларусь, исполнительных смет для построенных ТНУ на объектах различного назначения и др.);
- выполнение строительно-монтажных работ, включая внеплощадочные работы по системам отбора низкопотенциальной теплоты, сети электроснабжения и др., пусконаладочные работы, которые предусматривают проверку работоспособности отдельного оборудования ТНУ и комплексную наладку всего взаимосвязанного оборудования и контуров источника отопления и горячего водоснабжения (по данным строительно-монтажных и пусконаладочных организаций, специализирующихся на выполнении аналогичных работ);
- непредвиденные затраты, включая проведение дополнительных инженерных изысканий и др.(по согласованию с ЗАКАЗЧИКОМ).

Для ориентирования в объемах единовременных капитальных вложений на строительство ТНУ на этапе преддоговорных контактов с потенциальным ЗАКАЗЧИКОМ можно принять, что затраты на приобретение тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» составляют от 300 до 600 долл. за 1 кВт в интервале их расчетной теплопроизводительности 40…100 кВт, а «воздух-вода» – от 500 до 1200 долл./кВт в интервале расчетной теплопроизводительности 30…70 кВт. Капитальные вложения на приобретение оборудования устройств отбора низкопотенциальной теплоты контуров испарителей тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» в зависимости от местных условий расположения проектируемого жилого здания могут составить до 100 % их стоимости, а строительно-монтажные и пусконаладочные работы – до 30% стоимости всего оборудования ТНУ. Строительно-монтажные и пусконаладочные работы для тепловых насосов «воздух-вода» составляютдо до 15% их стоимости.

[9] - среднегодовая инфляция доллара в США за последние 10 лет составила 1,85%, российского рубля – 9,49%, белорусского рубля – 20,43% [52]

*Ежегодные эксплуатационные расходы для работы ТНУ* **($И_{\sum тну}$)** рассчитываются как сумма платы за электрическую энергию, амортизационные отчисления, затрат на текущий ремонт и обслуживание

$$И_{\sum тну} = И_{энерг.} + И_{а} + И_{тек.рем.} + И_{обслуж..}, \text{ тыс. долл.} \quad (8.7)$$

где $И_{энерг.}$ - затраты на оплату за электрическую энергию; $И_{а}$ - амортизационные отчисления, равные сумме отчислений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт; $И_{тек.рем.}$ - затраты на текущий ремонт; $И_{обслуж.}$ - расходы на обслуживание.

В расчетах $И_{энерг}$ используются значения годовых расходов электрической энергии (см. раздел 6) и значения тарифов на электроэнергию из энергосистемы ($ц_{эс}$).

Для определения значений $И_{а}$ принимаются средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на приобретение оборудования, материалов и строительно-монтажные работы, учитывающие срок службы: на реновацию ($р_{рен.} = 4\ \%$) и капитальный ремонт оборудования ($р_{кап.\ ремонт} = 4\%$).

Величина $И_{а}$ рассчитывается из соотношения

$$И_{а} = (р_{рен.} + р_{кап.\ ремонт})\ К_{тну} \quad (8.8)$$

Значения $И_{тек.\ ремонт}$ определяются в % от амортизационных отчислений, которые учитывают нормативные технические требования и местные особенности эксплуатации теплоисточников – $р_{тек.\ ремонт} = 10\ \%$.

$$И_{тек.\ ремонт} = р_{тек.\ ремонт}\ И_{а} \quad (8.9)$$

Расходы на обслуживание $И_{обслуж..}$ включают сервисные работы поставщиков оборудования (принимаются по аналогам). Периодическое контролирование параметров может быть поручено специалистам по обслуживанию сети отопления и электроснабжения многоэтажного жилого здания.

*На первой стадии* выбор конкурирующих источников отопления и горячего водоснабжения выполняется сравнением их экономической эффективности по формуле приведенных затрат. Наиболее экономичным принимается вариант, для которого сумма приведенных затрат имеет минимальное значение. При разнице менее 10% выбор определяется сравнением вариантов по другим параметрам, в первую очередь по экономии первичного топлива, где очевидное преимущество имеют источники с большим участием ТНУ в покрытии годового теплопотребления.

Капитальные вложения на строительство и эксплуатационные расходы для функционирования сети централизованного теплоснабжения ($К_{цт}$ , $И_{цт}$), домовой котельной ($К_{дом.\ кот.}$ , $И_{дом.\ кот.}$) и другого местного теплогенерирующего оборудования ($К_{др.\ местн.}$ , $И_{др.\ местн.}$) определяются по отраслевым методикам.

Приведенные затраты на строительство и эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения с ТНУ рассчитываются как сумма приведенных затрат в ТНУ ($З_{тну}$), сеть централизованного теплоснабжения ($З_{цт}$), местную котельную ($З_{местн.\ кот.}$) и другое местное теплогенерирующее оборудование ($З_{др.\ местн.}$)

$$З_{ист.О\ и\ ГВ} = З_{тну} + З_{цт} + З_{дом.\ кот.} + З_{др.\ местн.} = (П_{б}К_{тну} + И_{тну}) + (П_{б}К_{цт} + И_{цт}) + (П_{б}К_{дом.\ кот.} + И_{местн.\ кот.}) + (П_{б}К_{др.\ местн.} + И_{др.\ местн.}) \quad (8.10)$$

где $П_{б}$ - средний банковский процент; $К_{i}$ - суммарные капитальные вложения на сооружение i-го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.; $И_{i}$ - ежегодные эксплуатационные расходы на работу i-го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.

Рассчитанные значения критериев эффективности для базового и альтернативных источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ сводятся в результирующую таблицу 8.1.

*Таблица 8.1 – Основные показатели эффективности альтернативных источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ*

| № п/п | Наименование показателей | Ед. изм. | Базовый | Альтернативные | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | № 1 | ……. |
| 1 | Суммарный расход первичного топлива источником отопления и горячего водоснабжения (**$В^{год}_{ист.О\ и\ ГВ}$**), всего | ту.т./год | | | |
| | в т.ч. ТНУ (**$В^{год}_{тну}$**) | - “ - | | | |
| | • источниками централизованного теплоснабжения (**$В^{год}_{цт}$**) | - “ - | | | |
| 2 | Объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение (**$CO_2^{год}{}_{ист.О\ и\ ГВ}$**), всего | т/год | | | |
| | в т.ч. ТНУ (**$CO_2^{год}{}_{тну}$**), | - “ - | | | |
| | • источниками централизованного теплоснабжения (**$CO_2^{год}{}_{цт}$**) | - “ - | | | |
| 3 | Капитальные вложения на строительство источника отопления и горячего водоснабжения (**$К_{ист.О\ и\ ГВ}$**), всего | тыс. долл./год | | | |
| | в т.ч. ТНУ (**$К_{тну}$**) | - “ - | | | |
| | • сети централизованного теплоснабжения (**$К_{цт}$**) | - “ - | | | |
| 4 | Ежегодные эксплуатационные расходы для работы источника отопления и горячего водоснабжения (**$И_{ист.О\ и\ ГВ}$**), всего | тыс. долл./год | | | |
| | в т. ч. ТНУ (**$И_{\sum тну}$**) | - “ - | | | |
| | • сети централизованного теплоснабжения (**$И_{цт}$**) | - “ - | | | |
| 5 | Приведенные затраты на строительство и эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения, всего | тыс. долл./год | | | |
| | в т. ч. ТНУ (**$З_{тну}$**), | - “ - | | | |
| | • сети централизованного теплоснабжения (**$З_{цт}$**) | - “ - | | | |

Традиционно сравнение приведенных в табл. 8.1 значений показателей базового источника отопления и горячего водоснабжения (ТЭЦ или РК) и альтернативных с ТНУ, в условиях известной экономической неопределенности исходных данных, выполняется по трем показателям:

- коэффициенту сравнительной эффективности дополнительных капитальных вложений по зависимости:

$$К_{ээ} = (И_{баз.} - И_1)/(К_1 – К_{баз.}), \quad (8.11)$$

где $К_{баз}$ , $К_1$ — капитальные вложения по базовому и альтернативному варианту, долл.; $И_{баз.}$ , $И_1$—. ежегодные эксплуатационные расходы, долл.

- простому сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$Т_{ок}= (К_1 – К_{баз.})/ (И_{баз.} - И_1), \text{ лет} \quad (8.12)$$

- величине приведенных затрат, которые рассчитываются по формуле 8.10.

Приведенные затраты являются системным критерием эффективности – чем меньше величина приведенных затрат, тем выше эффективность капитальных вложений.

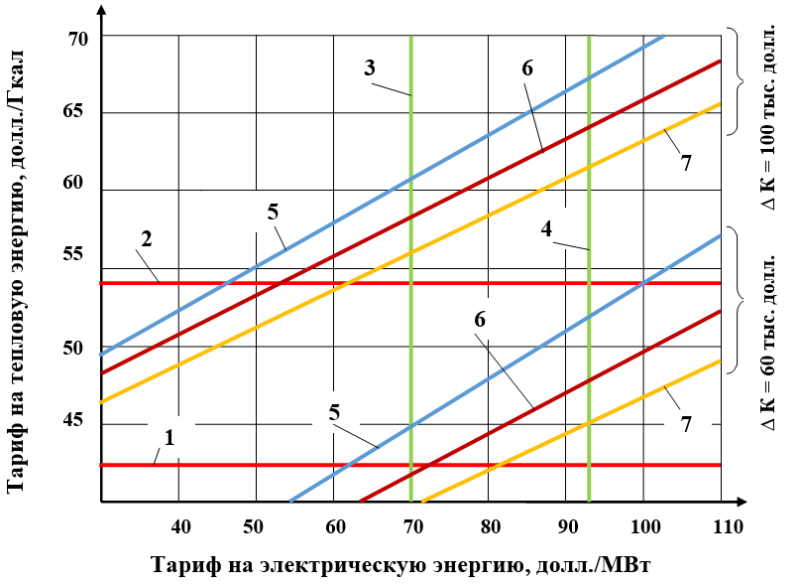
Вместе с тем, в зависимости от степени участия государства в строительстве и приоритетности критериев, решение о проектном варианте ТНУ определяется по принципу, что и насколько важно для проекта: экономика, энергетика, экология или качественные показатели (эстетика, конъюнктура). Достоверно взаимоувязанное решение можно обосновать комбинированием методов функционально-стоимостного анализа и экспертной оценки с учетом важности этих критериев для заинтересованных сторон, степени допускаемого ухудшения их показателей для получения максимального системного эффекта. Одновременно должна учитываться реальность продажи квот на углеродные выбросы

по схеме «зеленых инвестиций» с использованием полученных средств для приобретения тепловых насосов и снижения капиталоемкости проектного решения ТНУ.

Ниже до разработки целевой методики (см. стр.  ), принимая за основу интересы государства в строительстве энергоэффективных зданий (экономии первичного топлива) и заинтересованность жилищных товариществ в минимуме ежегодных эксплуатационных расходов на эксплуатацию источника отопления и горячего водоснабжения, в качестве подсказки приводятся некоторые соображения по учете этих факторов при оценке экономической эффективности применения ТНУ.

Практика показывает, что интересы производителей и потребителей энергии во многом совпадают, когда установленные значения тарифов на электрическую и тепловую энергию не уменьшают прибыль энергосистемы, а жителей – не увеличивают плату за потребляемую энергию. Максимальное снижение тарифа на электрическую энергию реально при замещении тепловыми насосами тепловой энергии, которая производится на теплоисточниках, не принадлежащих энергосистеме. Можно рассчитывать, что после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС ТНУ будут рассматриваться как эффективный потребитель-регулятор для снижения проблемы прохождения минимума электрической нагрузки энергосистемы, прежде всего в отопительный период, со стимулирующим снижением тарифа на электроэнергию [37].

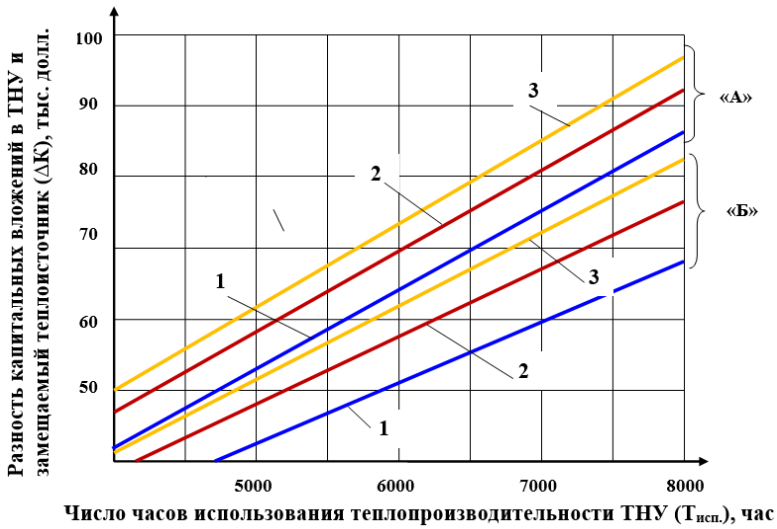
Для ориентирования во влиянии тарифов на экономическую эффективность применения ТНУ на рис.8.1 приведены графики, функционально связывающие значения экономически обоснованных тарифов (ЭОТ) на электрическую энергию для ТНУ теплопроизводительностью 100 кВт и тепловую энергию от замещаемого источника централизованного теплоснабжения при числе часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ, равном 7000 часов.




*Илл. 8.1 – Соотношения между основными показателями ТНУ и замещаемого источника централизованного теплоснабжения, при которых применение ТНУ будет экономически оправданными для жителей и энергосистемы (1 - ЭОТ от источников энергосистемы (42 долл./Гкал); 2 - ЭОТ от местных котельных (около 54 долл, /Гкал); 3 - ЭОТ при круглосуточном потреблении электроэнергии (92,3 долл./МВтч); 4 - ЭОТ при потреблении электроэнергии с 22.00 до 17.00 в рабочие дни и круглосуточно в выходные (70 долл./Гкал); 5 – при среднегодовом коэффициенте ТНУ* $\varepsilon_{ср}^{год}$ *равном 3,5; 6 - при* $\varepsilon_{ср}^{год}$ *равном 4,0; 7 – при* $\varepsilon_{ср}^{год}$ *равном 4,5)*

Как видно, кроме соотношения тарифов на электрическую энергию от энергосистемы и тепловую от замещаемого теплоисточника экономическая целесообразность применения ТНУ зависит от величины дополнительных затрат на строительство ТНУ и среднегодового коэффициента трансформации низкопотенциальной теплоты.

Зависимости, связывающие величину дополнительных капитальных вложений на сооружение ТНУ, тарифы на электрическую ($ц_{эс}$) и тепловую энергию ($ц_{цт}$), среднегодовые коэффициенты ТНУ $\varepsilon_{ср}^{год}$ и число часов использования теплопроизводительности ТНУ (см. формулу 5.33) при равенстве приведенных затрат на сооружение ТНУ и замещаемого источника централизованного теплоснабжения приведены на илл. 8.2.




*Илл. 8.2 – Зависимость экономически допустимой разности капитальных вложений в сооружение ТНУ (**ΔК**) от числа часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ (**$Т_{исп.}$**) (1 – при среднегодовом коэффициенте ТНУ $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 3,5; 2 - при $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 4,0; 3 – при $\varepsilon_{ср}^{год}$ равном 4,5; А – при $ц_{цт}$ =50 долл./Гкал и $ц_{эс}$ = 70 долл./МВтч; Б – при $ц_{цт}$ =50 долл./Гкал и $ц_{эс}$ = 90 долл./МВтч)*

Следует учитывать, что в ближайшие годы отношение значений тарифов на электрическую и тепловую энергию может измениться в сторону снижения, т.к. тариф на электрическую энергию будет в меньшей степени зависит от стоимости природного газа, что очевидно повысит конкурентность ТНУ в сравнении с традиционными теплоисточниками.

Обязательными технико-экономическими показателями ТНУ, по которым должны приниматься решения о проектировании источников отопления и горячего водоснабжения с ТНУ являются [3, 4]:

- тепловая мощность ТНУ (**$Q^{р}_{тну}$**), кВт;
- годовая выработка тепловой энергии ТНУ (**$Q^{год}_{тну}$**), Гкал;
- потребляемая мощность электрооборудования ТНУ (**$Р^{р}_{тну}$**), кВт;
- годовое потребление электрической энергии на выработку теплоты (**$W^{год}_{тну}$**), МВтч
- ежегодный расход первичного топлива (**$В^{год}_{тну}$**), ту.т/год;
- величина капитальных вложений на строительство ТНУ (**$К_{тну}$**), млн. руб. (тыс. долл.);
- ежегодные эксплуатационные расходы для работы ТНУ (**$И^{год}_{тну}$**), млн. руб. (тыс. долл.);
- простой срок окупаемости капитальных вложений (**$Т_{ок}$**), лет;
- удельный расход первичного топлива на 1 м$^2$ общей площади жилого здания (**$b_{общ.жд} = В^{год}_{тну} / F_{общ.}$**), кг у.т/м$^2$;

- удельный расход первичного топлива на 1 м$^2$ общей площади квартир жилого здания ($\mathbf{b_{общ.кварт.} = B^{год}_{тну} / F_{общ.}}$), кг у.т/м$^2$;
- объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии ТНУ ($\mathbf{CO_2^{год}{}_{тну}}$), т/год;
- удельные капитальные вложения на сооружение ТНУ ($\mathbf{k_{общ.кварт.} = K_{тну} / F_{общ.}}$), долл./м$^2$ общей площади квартир жилого здания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время проектирование ТНУ должно осуществляться в две стадии: прединвестиционная (предпроектная) и инвестиционная (проектная). Результатом предпроектной стадии является ТЭО и проект технического задания на разработку строительного проекта ТНУ. Состав и глубина разработки ТЭО определяются по результатам целевого анализа района размещения проектируемого многоэтажного энергоэффективного жилого здания. Обязательными для анализа является учет ограничений на размещение проектируемого жилого здания, возможностей централизованного теплоснабжения и наличия доступных ресурсов низкопотенциальной теплоты.

2. В зависимости от размещения и конструктивного решения жилых зданий и наличия источников инизкопотенциальной теплоты (НПИТ) в структуре ТНУ применяются тепловые насосы типа «воздух-вода», «рабочий агент-вода», «антифриз-вода» и «вода-вода». НПИТ могут быть возобновляемые природные источники (наружный воздух, подземные и поверхностные воды, солнечная радиация) и вторичные ресурсы (сточные воды, оборотная вода, дымовые газы котельной). Параметры ТНУ зависит от вида, качества и температуры теплового потока на входе в испарители тепловых насосов, вида рабочего агента и температуры теплоносителя на выходе конденсаторов – чем меньше разность температур, тем выше эффективность.

3. При выборе параметров теплоносителей в сети отопления и горячего водоснабжения от ТНУ необходимо учитывать плюсы, за счет повышения 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. Решение должно приниматься после комплексного сравнения технических и экономических показателей возможных вариантов.

4. ТНУ могут быть единственным источником отопления и горячего водоснабжения или работать во взаимосвязи с другим теплогенерирующим оборудованием в составе бивалентного или поливалентного источника теплоснабжения проектируемого жилого здания. В поливалентных ТНУ тепловые насосы рационально рассчитывать на покрытие 60…75 % расчетной нагрузки отопления, что соответствует температурам наружного воздуха минус $10^0$С ... минус $15^0$С.

5. Степень участие тепловых насосов в покрытии тепловой нагрузки, ее величина и виды используемых НПИТ определяют варианты ТНУ. При выборе теплопроизводительности тепловых насосов в структуре ТНУ надо учитывать теплоустойчивость энергоэффективных жилых зданий, возможность эпизодических переключениях тепловых насосов с отопительной на покрытие нагрузки горячего

водоснабжения, которая зависит от температуры исходной холодной воды, количества и заселенности квартир, уклада жизни и профессий жителей.

6. В зависимости от конструктивного решения многоэтажных жилых зданий теплогенерирующее оборудование ТНУ может размещаться на крышах (только тепловые насосы, тепловые насосы + котлы на природном газе), в технических подпольях и пристроенных к зданию помещениях (только тепловые насосы, тепловые насосы + электрические котлы, тепловые насосы + тепловой пункт сети централизованного теплоснабжения) и на прилегающей к дому территории (тепловые насосы «воздух-вода»).

7. Сравнение эффективности проектируемого ТНУ и традиционного источника отопления и горячего водоснабжения выполняется по годовым расходам первичного топлива (энергетический эффект), объемам выбросов $CO_2$ (экологический эффект), сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений (эффект инвестора), ежегодным эксплуатационным расходам (интересы жителей) и другим критериям, которые заданы ЗАКАЗЧИКОМ.

8. Наиболее благоприятными условиями для применения ТНУ можно рассматривать расположение проектируемого многоэтажного жилого здания:

- в благоустроенных районах центральной части городов (уплотнение) при ограничениях в покрытии дополнительной тепловой нагрузки по сети централизованного теплоснабжения;
- на реконструируемых площадках сохраняемой индивидуальной и малоэтажной жилой застройки при отсутствии возможности присоединения к тепловой сети или ограничениях в покрытии дополнительной тепловой нагрузки по сети централизованного теплоснабжения.
- на территории перспективного освоения периферии городов, при точечной застройке, требующей значительных капитальных вложений на реконструкцию головных участков магистральной и прокладку новой распределительной тепловой сети.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ


1. ТКП 45-3.01-286-2014. Градостроительный проект общего планирования. Генеральный план населенного пункта. Состав и порядок разработки.
2. ТКП 45-3.01-284-2014 (02250). Градостроительство. Градостроительный проект детального планирования. Состав и порядок разработки.
3. ТКП 45-4.02-204-2010. Схемы теплоснабжения населенных пунктов. Правила разработки.
4. ТКП 241-2019 (02230). Порядок разработки технико-экономического обоснования выбора схем теплоснабжения при строительстве и реконструкции объектов.
5. ТКП 45-1.02-298-2014. Строительство. Предпроектная (прединвестиционная) документация, состав, порядок разработки и утверждения.
6. СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология.
7. www.pogodaiklimat.ru
8. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Метеорологические факторы теплового режима зданий. - Л.: Гидрометеоиздат, 1973. -235 с.

9. Матвеев Л. Т. Влияние большого города на метеорологический режим // Известия РАН. Серия географическая. -2007, № 4, с. 97-102.

10. Строительный проект источника теплоснабжения инфраструктуры гребного канала в г. Гомеле. Мн., ООО «Тисктерм», 2009.

11. Зуй В.И. Геотермические условия территории Беларуси // Мониторинг. Наука и технологии. -2009, №1, с.3-26.

12. Грибик Я.Г., Жидович И.С., Зуй В.И. Концепция использования геотермальной воды Брестской впадины для теплоснабжения тепличного комбината «Берестье». Мн., 2005.

13. Жидович И.С., Новиченок Л.Н., Овчинникова С.И. Теплофизические свойства сточных вод // Реология полимерных и дисперсных жидкостей. Сб. науч. труд., Мн.: ИТМО им. А.В.Лыкова АН БССР, 1986, с.82-85.

14. Жидович И.С., Мухин О.А. Использование теплоты сточных вод в теплоснабжении // Водоснабжение и санитарная техника. -1989, №7, с.5-7.

15. Патент РБ №8154(2012). Теплоэнергетическая установка с комплексной системой глубокой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов.

16. www.nibe.by

17. www.ochsner.by

18. www.mhi.by

19. Жидович И.С.Белый В.Я. Применение тепловых насосов для теплоснабжения объектов водопроводно-канализационного хозяйства городов// Энергия и Менеджмент. -2003, №5, с.39-41.

20. Планировка, застройка и благоустройство районов городского строительства на намывных территориях. РСН 63-87. Мн.: БелНИИНТИ Госплана БССР, 1987. -84с.

21. Реконструкция ППТО (пункта пропуска) «Новая Рудня» Мозырской таможни. Источник теплоснабжения. Мн., УП «БелНИИПградостроительства», 2002.

22. Обоснование выбора источника теплоснабжения базы отдыха на озере Б. Швакшты. Мн., ООО «Тисктерм», 2008.

23. Предпроектная разработка источника теплоснабжения на основе тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения пилотного энергоэффективного жилого дома в г. Гродно (обосновывающие решения). ПРООН/ГЭФ, 2014.

24. Данилевский Л., Черкашин А. Система утилизации тепла сточных вод в жилых зданиях // Архитектура и строительство. №1, 2011.

25. Лукиных А.А, Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н.Павловского. Изд. 4-е. доп. М.: Стройиздат, 1974. -156 с.

26. www.feka.ch

27. www.fercher.at

28. www.aspol.com.pl

29. Жидович И.С. Применение тепловых насосов на промышленных предприятиях // Энергоэффективность. -1998, №9, с.9-11.

30. www.octopus.tm

31. www.portpc.pl

32. www.telemiks.by

33. Жидович И.С., Мухин О.А. Рационализация структуры систем теплоснабжения// Тез. докл. к Всесоюзному научно-техническому совещанию. Горький, май 1989 / Л.: ВСНТОЭ. 1989. - С.63-66.

34. ТКП 45-2.04-154-2009. Защита от шума. Строительные нормы проектирования.

35. Инструкция по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий. Минэнерго РБ. Мн., 2003.

36. Данилевский Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий // - Мн.: Бизнесофсет, 2011. - 375 с.

37. Жидович И.С. Системный подход к теплоснабжению энергоэффективной многоэтажной жилой застройки // Архитектура и строительство. -2015, №2, с.6-9.