

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

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

(Раздел в справочное пособие «Проектирование инженерных систем для отопления и горячего водоснабжения с использованием тепловых насосов». Задача 24)

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

И. С. Жидович

Минск- 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Источники низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов	3
2. Устройства отбора и трансформации потоков низкопотенциальной теплоты	8
3. Выбор основного оборудования	20
4. Размещение оборудования теплонасосных установок	25
5. Особенности проектирования систем инженерного обеспечения теплонасосных установок	27
6. Охрана труда и техника безопасности	28
7. Охрана окружающей среды	29
8. Обоснование проектного решения и эффективности применения теплонасосных установок	31
Список использованных источников	37
Приложение	38

1. ИСТОЧНИКИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

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. В природных и социально-экономических условиях городов НПИТ могут быть наружный воздух, грунт, подземные и поверхностные воды, сточные воды, оборотные воды промышленных предприятий, солнечная радиация, дымовые газы домовой котельной.

Наличие НПИТ и величина их теплового потенциала зависит от градостроительных условий расположения проектируемого жилого здания, его архитектурно-планировочных и конструктивных решений и др. 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.

Базовая информация о значениях параметров наружного воздуха и других метеорологических факторов приведена в материалах многолетних наблюдений погоды на ближайших метеостанциях Гидрометеослужбы Беларуси [1]. При ее использовании необходимо делать поправку на место размещения проектируемого жилого здания на территории населенных пунктов [2]. Например, температура наружного воздуха в центре г. Минска на 2..4⁰ выше, чем в периферийных районах.

В таблице 1.1 приведены данные о средних месячных температурах наружного воздуха и средней за месяц суточной амплитуды наружного воздуха в областных центрах республики [1].

Таблица 1.1 – Значения средней за месяц температуры наружного воздуха (числитель) и средней за месяц суточной амплитуды ее изменения (знаменатель)

Город	М е с я ц ы г о д а											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Брест	$\frac{-4,9}{5,5}$	$\frac{-3,5}{6,3}$	$\frac{0,7}{7,4}$	$\frac{7,3}{9,4}$	$\frac{13,6}{10,8}$	$\frac{16,7}{10,9}$	$\frac{18,4}{10,8}$	$\frac{17,4}{10,4}$	$\frac{13,3}{9,7}$	$\frac{7,7}{7,8}$	$\frac{2,6}{4,7}$	$\frac{-1,8}{4,5}$
Витебск	$\frac{-7,9}{6,2}$	$\frac{-7,2}{6,8}$	$\frac{-2,7}{7,6}$	$\frac{5,1}{8,8}$	$\frac{12,6}{10,8}$	$\frac{16,0}{10,7}$	$\frac{17,8}{10,3}$	$\frac{16,2}{10,1}$	$\frac{11,1}{8,8}$	$\frac{5,3}{6,4}$	$\frac{-0,3}{4,4}$	$\frac{-5,1}{5,0}$
Гомель	$\frac{-7,0}{6,3}$	$\frac{-6,1}{7,2}$	$\frac{-1,5}{7,2}$	$\frac{6,6}{9,1}$	$\frac{13,9}{11,6}$	$\frac{17,0}{11,6}$	$\frac{18,5}{11,6}$	$\frac{17,4}{11,8}$	$\frac{12,5}{11,4}$	$\frac{6,5}{8,7}$	$\frac{0,7}{5,5}$	$\frac{-4,1}{5,0}$
Гродно	$\frac{-5,1}{5,7}$	$\frac{-4,4}{6,3}$	$\frac{-0,5}{7,2}$	$\frac{6,3}{9,4}$	$\frac{12,9}{11,0}$	$\frac{16,1}{10,8}$	$\frac{17,8}{10,6}$	$\frac{16,7}{10,1}$	$\frac{12,5}{9,4}$	$\frac{7,0}{7,3}$	$\frac{1,7}{4,3}$	$\frac{-2,7}{4,5}$
Могилев	$\frac{-7,6}{6,4}$	$\frac{-6,9}{7,0}$	$\frac{-2,3}{7,7}$	$\frac{5,5}{8,8}$	$\frac{12,9}{11,1}$	$\frac{16,3}{10,8}$	$\frac{18,0}{10,8}$	$\frac{16,5}{10,7}$	$\frac{11,6}{9,7}$	$\frac{5,4}{7,0}$	$\frac{-0,1}{4,9}$	$\frac{-4,9}{5,3}$
г.Минск	$\frac{-6,9}{6,2}$	$\frac{-6,2}{6,6}$	$\frac{-2,0}{7,3}$	$\frac{5,5}{8,9}$	$\frac{12,7}{11,0}$	$\frac{16,0}{10,6}$	$\frac{17,7}{10,3}$	$\frac{16,3}{10,1}$	$\frac{11,6}{9,2}$	$\frac{5,8}{6,6}$	$\frac{0,2}{4,3}$	$\frac{-4,3}{4,7}$

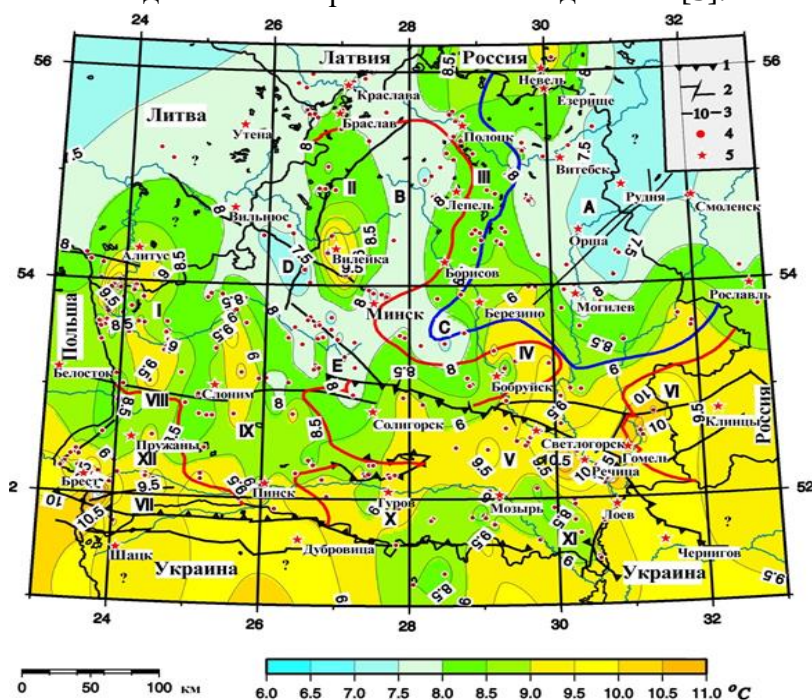
Расчеты показывают, что сегодня при строительстве энергоэффективных жилых зданий наружный воздух обосновано можно считать перспективным НПИТ.

Грунт, так же как и наружный воздух, представляет собой возобновляемый тепловой ресурс неограниченного объема, эффективность использования теплоты которого зависит от его температуры, состава и влажности. Характерно, что колебания температуры верхних слоев грунта (до 5 м) запаздывают во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха. В среднем для условий Республики годовая амплитуда температуры грунта на глубине 0,8 м около $5...10^{\circ}\text{C}$, а глубине 1,5 м – $2...7^{\circ}\text{C}$ [1]. 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 строительства многоэтажного жилого здания и применении геотермальных свай (исследования ГП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.»).

Подземные воды также относятся к числу возобновляемых 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 на глубине 20 м наблюдаются сезонные колебания температуры воды от 6°C в зимние месяцы до 15°C – в летние. С ростом глубины растет и температура воды. Температура воды на глубине 35 м уже не зависит от температуры наружного воздуха и составляет $8,8^{\circ}\text{C}$, на глубине 100 м она уже $9,6^{\circ}\text{C}$, 150 м – $10,5^{\circ}\text{C}$, 200 м – $11,5^{\circ}\text{C}$ и т.д. В районе г. Бреста температура подземных вод на глубине 25 м около $8,7^{\circ}\text{C}$, глубине 50 м – $9,0^{\circ}\text{C}$, глубине 100 м – $9,5^{\circ}\text{C}$, глубине 125 м – $10,0^{\circ}\text{C}$.

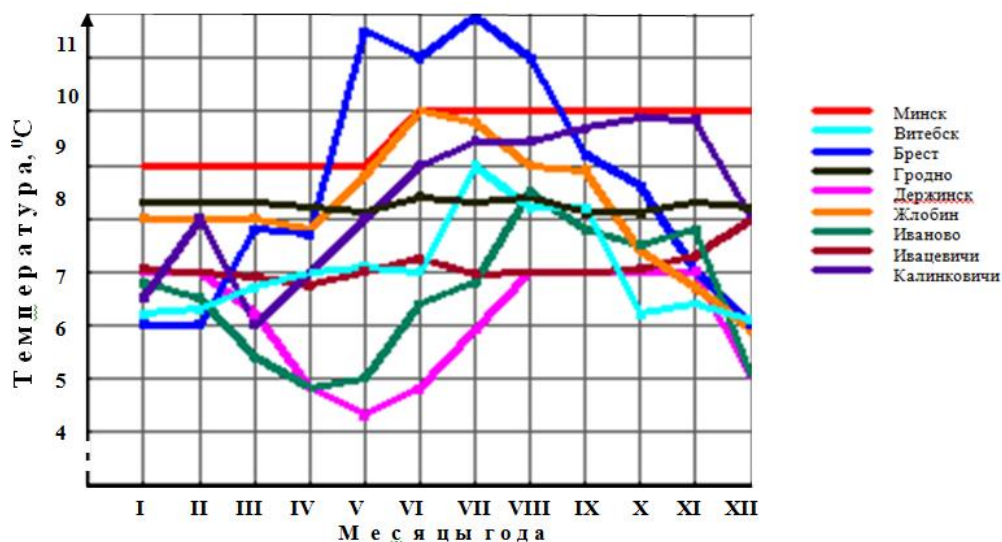
На илл. 1.1 приведена карта Республики с температурами на глубине 100 м, составленная по данным геотермических исследований [3].



Илл. 1.1 – Карта Республики и прилегающих территорий с распределением 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 [4]. На глубине 200 метров в скважине «Брест-19» зарегистрирована температура 12,98⁰С. Для сравнения отметим, что в районе Минска температура 13⁰С достигается на глубине около 550 метров.

На илл. 1.2 показаны изменения в течение года значений температуры воды эксплуатируемых горизонтов в различных районах Республики.



Илл. 1.2 – Годовой ход температуры воды 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 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 3⁰С до 20⁰С. Температура подрусловой воды также изменяется в течение года, но в меньшем интервале (от 6⁰С до 10⁰С). Минимальные ее значения наблюдаются весной при таянии снега.

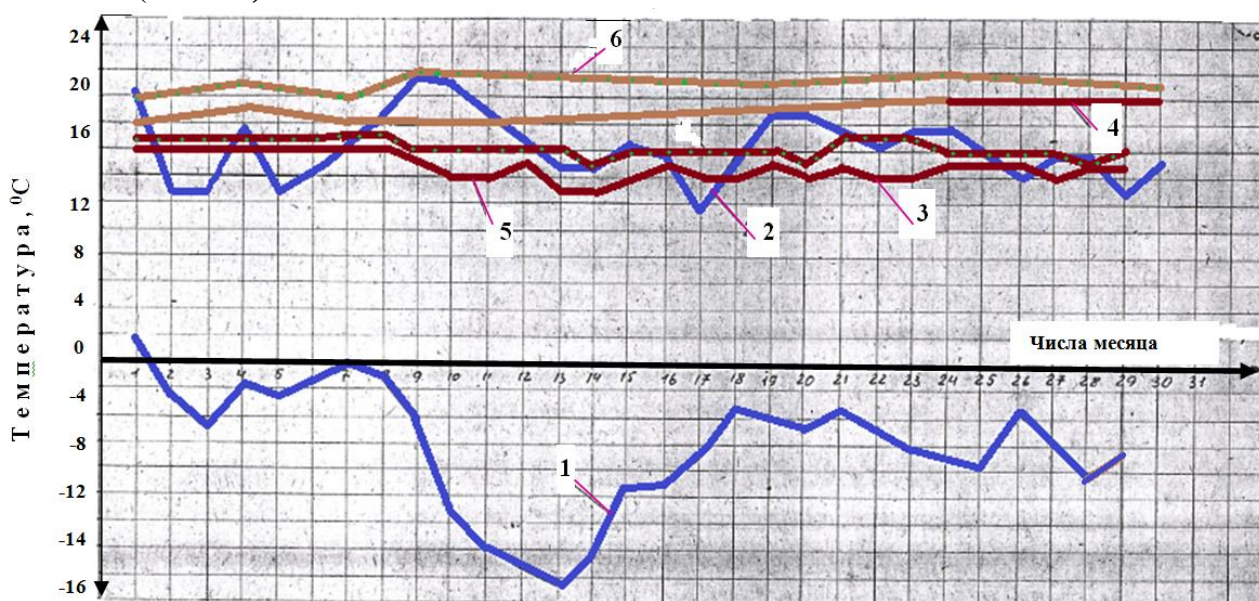
При проектировании наиболее сложным является определение расчетных значений температур и располагаемого теплового потенциала водоемов. Необходимо учитывать влияние термических режимов протекающих водообменных процессов, эффект стратификации, теплопоступления через донную поверхность водоемов и др.

Сточные воды представляют собой полидисперсную жидкость с органическими и минеральными включениями. В жилом секторе 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 [5].

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 конструктивное исполнение внутридомовой канализационной сети. На выпусках зданий их температура изменяется в интервале от 15°C до 35°C при среднесуточной величине около 24°C [6]. Поэтому, с требуемой для расчета систем утилизации достоверностью, можно принимать значение среднесуточной температуры сточных вод на выпусках жилых зданий равной 21°C . 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°C .

Сточные воды во внутриквартирных трубопроводах характеризуются неравномерным и неуставившимся режимом потока, особенно на начальных участках. В районных и общегородских коллекторах суточный график отведения более равномерный с изменением температуры в зимние сутки от $8...12^{\circ}\text{C}$ с 24.00 до 6.00 и до $12...18^{\circ}\text{C}$ – с 6.00 до 24.00.

На выпусках сооружений биологической очистки *очищенные сточные воды* сбрасываются в водоток практически равномерно с температурой зимой $12...15^{\circ}\text{C}$, летом – $15...25^{\circ}\text{C}$ (илл. 1.3).



Илл. 1.3 – 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.

В целом, сточные воды являются местным НПИТ, обязательным для рассмотрения возможности использования их теплоты. Принимаемые для проектирования значения су-

точных 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.

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 10⁰С 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» [7].

2. УСТРОЙСТВА ОТБОРА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПОТОКОВ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ

При проектировании ТНУ процесс выбора типа и параметров устройств отбора и трансформации потоков низкопотенциальной теплоты является итерационным. Если вид возможных к использованию НПИТ определяется, как правило, по результатам целевого анализа местных условий, 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 надежности 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.

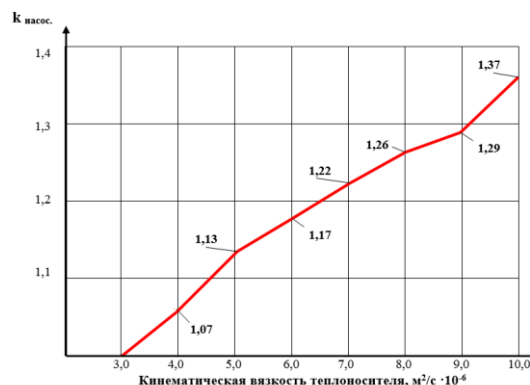
Устройства отбора низкопотенциальной теплоты представляют блоки с различными конструкциями теплообменников, включенные трубопроводами в контур испарителей тепловых насосов, и непосредственно тепловыми насосами. Нагреваемой средой может быть вода систем горячего водоснабжения, теплоноситель контура испарителей и рабочий агент тепловых насосов. Контуров испарителей, в зависимости от качества и температуры НПИТ, могут быть заправлены водой или незамерзающим теплоносителем, например, на основе водных растворов пропиленгликоля (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Значение теплофизических свойств водного раствора пропиленгликоля (без присадок) в зависимости от его весового содержания¹

Вес пропиленгликоля в водном растворе, %	0	25	38	47
Температура замерзания (начала кристаллизации), °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. 2.1. 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. 2.1.

¹ <http://himtermo.ru>; <http://cp-h.ru>; <http://www.propylen-glycol.ru>



Илл. 2.1. Изменение коэффициента увеличения расхода электрической энергии на циркуляцию ($K_{\text{насос}}$) для теплоносителя с разной кинематической вязкостью

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°C при технической возможности отбора до минус 15°C . В последние годы производители предлагают новые модификации тепловых насосов, устойчиво работающие при температуре наружного воздуха до минус 25°C , что позволяет рассчитывать на его круглогодичное использование [8, 9, 10].

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 [7].

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 – расположенных 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 участков земли в высокоплотной застройке для прокладки горизонтальных теплообменников, бурение скважин имеет организационные проблемы и для достоверности расчетов требует дополнительных инженерно-геологических исследований.

Для проектирования необходимы только объективные данные о физико-механических и теплофизических свойствах грунта по глубине скважин. При их отсутствии требуется выполнить целевые инженерно-геологических 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 многоцелевое 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 [4].

К категории геотермальных можно отнести воду водозаборов питьевого и технического водоснабжения, пилотные технические решения по отбору теплоты которой внедрены еще в 1996 году, подтверждены практикой и тиражируются [11]. 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 9⁰С зимой и 15⁰С летом.

Использование теплоты грунтовых вод предпочтительно при размещении проектируемых жилых зданий на площадках, требующих водопонижения, на пойменных и намывных территориях [12]. 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.

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 подрусовой 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.

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

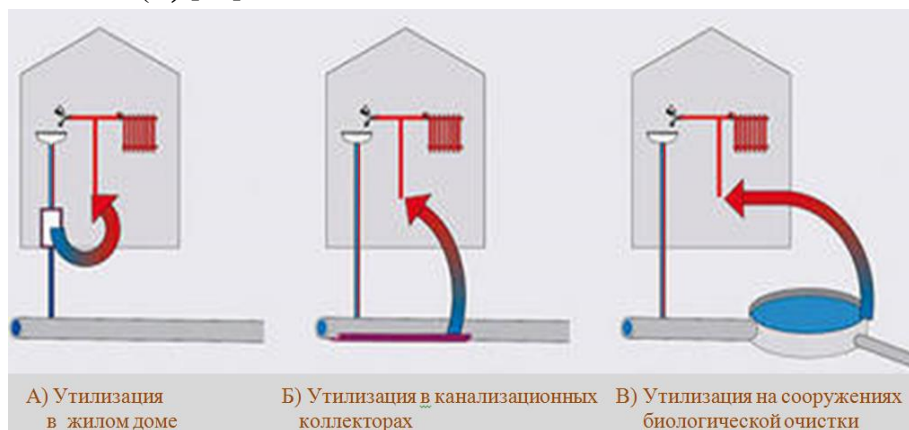
Разработанные решения по отбору теплоты подрусовых вод апробированы в проектах и реализованы для теплоснабжения объектов социальной сферы и ВКХ в г. Гомеле (р.Сож), Речицком районе (р.Березина), Минском районе (р.Свислочь), а речной воды – для отопления насосной станции водозабора ПО «Стекловолокно» (р.Западная Двина).

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. 2.2), 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**) [13].



Илл.2.2 – Размещение устройств отбора теплоты сточных вод

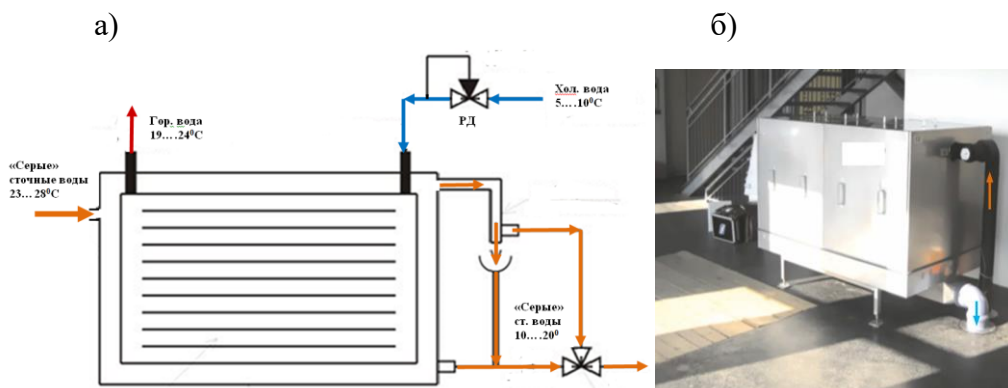
А. Отбор теплоты бытовых сточных вод в жилом здании (илл. 2.2А).

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. 2.2а 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 такого теплообменника в здании показан на илл. 2.2б.



Илл. 2.2 – Схема теплообменного блока с погружным теплообменником (а) и пример размещения проточного теплообменника (б)

Б. Отбор теплоты городских сточных вод в безнапорных канализационных коллекторах (см. илл. 2.2 Б).

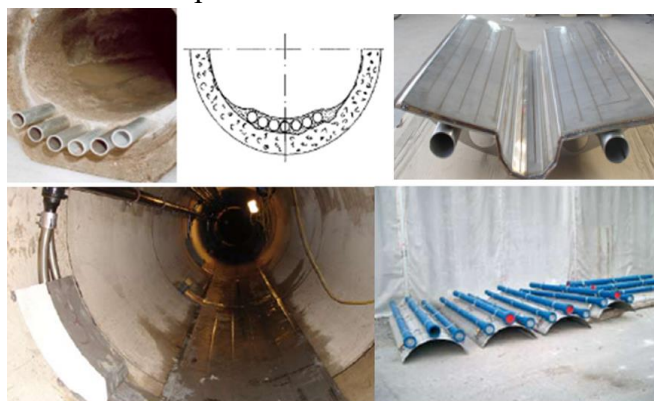
Исходными для выбора структуры и конструктивного исполнения устройств являются данные предприятий, эксплуатирующих канализационные коллекторы:

- 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.

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 [14].

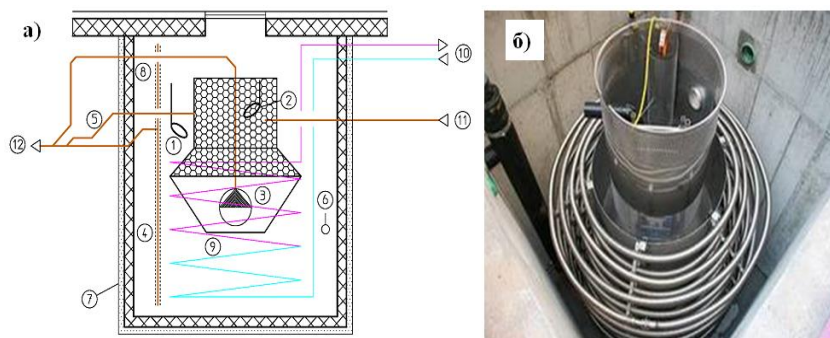
Варианты конструктивного исполнения теплообменников и их размещения в трубопроводе канализационной сети приведены на илл. 2.3.



Илл.2.3 – Варианты конструкции теплообменников из труб и панелей и их размещения на дне коллектора

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

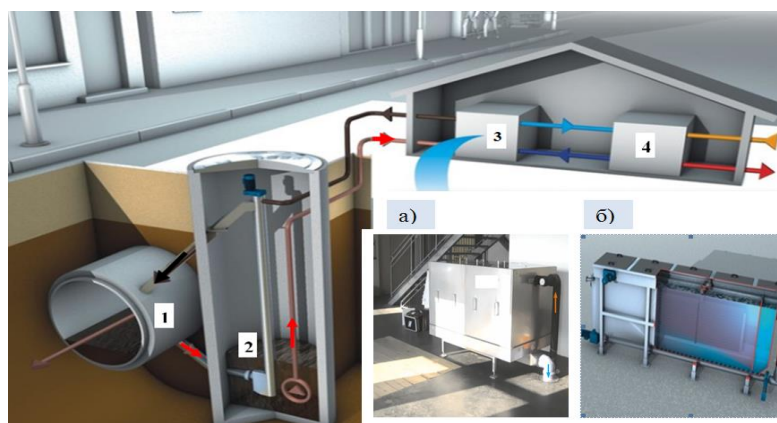
Техническое решение варианта много лет реализуется в странах Европы. На илл. 4.9 показаны состав (а) и конструктивное исполнение (б) теплообменного блока [15].



Илл.2.4 – 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)

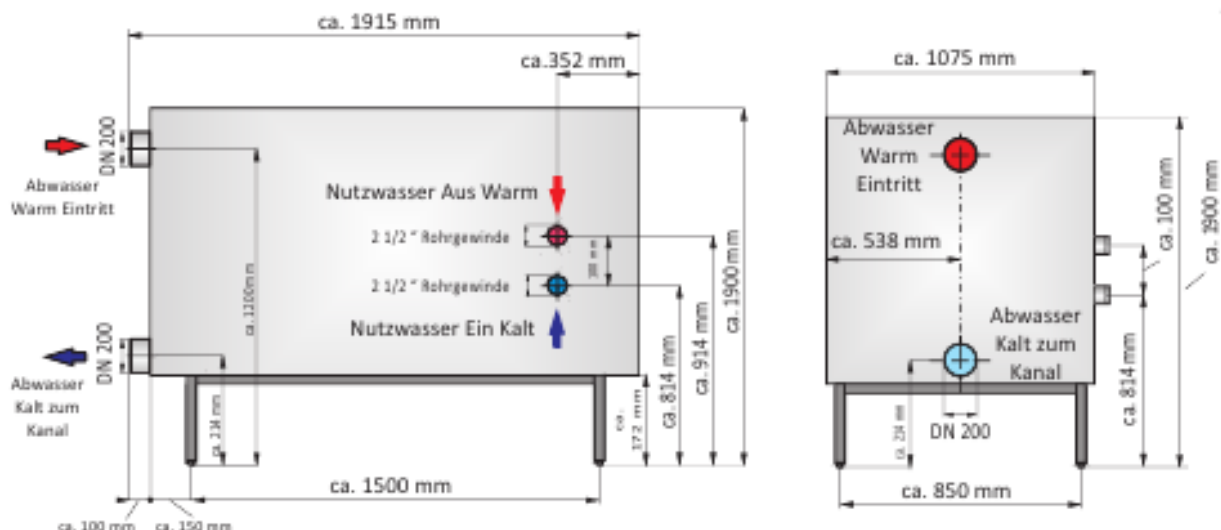
Как видно (см. илл. 2.4), в резервуаре размещается теплообменник специальной конструкции из нержавеющей стали, сетка-фильтр и насос удаления осадка. Теплообменник всегда находится в сточных водах без крупных фракций, которые могли бы вызвать закупорку пространства между витками теплообменных трубок. 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. 2.5).

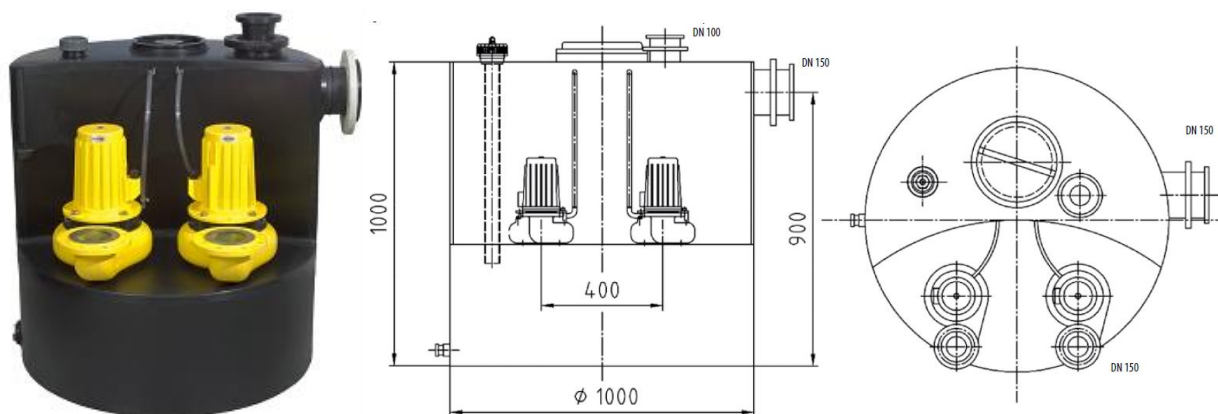


Илл. 2.5 – Схема отбора теплоты сточных вод и конструктивное исполнение теплообменного блока (1 - трубопровод канализационной сети, 2- микро-КНС, 3- теплообменник конструкций а) и б), 4- тепловой насос)

В теплообменник сточные воды непрерывно 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. 2.6 и 2.7 показаны конструкции теплообменника (см. поз.3а на илл. 2.5) и микро-КНС (см. поз.2 на илл. 2.5).



Илл.2.6 – Конструкция пластинчатого теплообменника отбора теплоты городских сточных вод ($Q = 111,2 \text{ кВт}$, $G_{\text{св}} = 40 \text{ м}^3/\text{час}$, $t_{\text{св. вх.}} = 15^\circ\text{C}$, $t_{\text{св. вых.}} = 12,6^\circ\text{C}$, $G_{\text{нагр.}} = 20 \text{ м}^3/\text{час}$, $t_{\text{нагр. вх.}} = 3^\circ\text{C}$, $t_{\text{нагр. вых.}} = 8,6^\circ\text{C}$)



Илл. 2.7 – Конструкция насосного блока сухой микро-КНС ($G_{\text{max}} = 60 \text{ м}^3/\text{час}$; $H_{\text{max}} = 11 \text{ м}$; $P_1 = 4 \text{ кВт}$; $P_2 = 3 \text{ кВт}$; $n = 1400 \text{ об/мин}$) [16]

В таблице 2.2 показаны результаты экспертной оценки преимущества и недостатков рассмотренных вариантов структуры и конструктивного исполнения устройств отбора теплоты сточных вод в безнапорных канализационных коллекторах.

Таблица 2.2– Основные преимущества и недостатки альтернативных решений

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

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 сооружений (илл. 2.8) или в подвалах проектируемых зданий.



Илл. 2.8 – 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. В расчетах 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 2⁰С температуры воды в водотоке.

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 [17].

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 насосы² 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, 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

² Для при технико-экономическом обосновании в структуре местной котельной на природном газе могут применяться абсорбционные тепловые насосы

(пропан) составляет 45 ... 65⁰С, а с R744(CO₂) – 90⁰С. Основные свойства названных рабочих агентов приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные свойства рабочих агентов тепловых насосов

Виды рабочих агентов	Нормальная температура кипения, °С	Критическая температура, °С	Критическое давление, МПа	Озоноразрушающий потенциал (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 1) 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 24⁰С температура воды на выходе конденсаторов с рабочими агентами R407C, R410A и R717 (пропан) составляет 45 ... 50⁰С, а при температуре плюс 35⁰С – 55... 60⁰С. Для тепловых насосов с R744(CO₂) в этом диапазоне температур наружного воздуха (минус 24⁰С...плюс 35⁰С) максимальная рабочая температура воды на выходе газоохладителей 90⁰С.

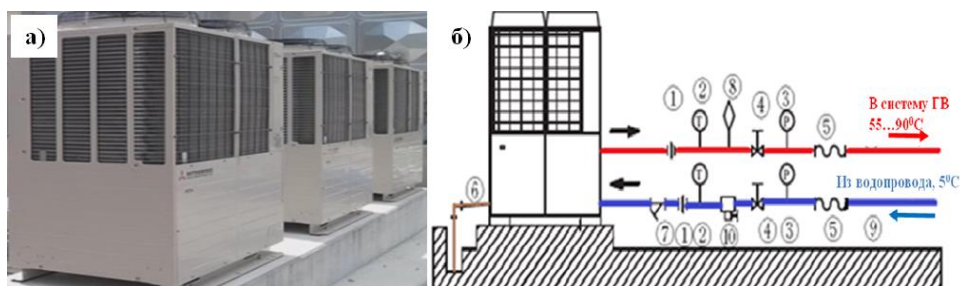
Кроме различия в рабочих агентах, компрессорах и диапазоне рабочих температур, аэротермальные тепловые насосы отличаются типами испарителей (с вентиляторами и пассивные), забором и отведением воздуха вентиляторами (радиальные, осевые), конструкциями (агрегатированные или разделенные на испарительный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

В Республике Беларусь получают признание, в основном, агрегатированные тепловые насосы с вентиляторными испарителями и их размещением вне помещений. В приложении 1 приведены технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» модели F2300 фирмы «NIBE» (Швеция) [8].

Разделенные на блоки тепловые насосы с испарителями наружной установки, оборудованные радиальными вентиляторами с бесступенчатым регулированием числа оборотов, производит фирма «Ochsner» (Австрия). 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 В приложении 2 приведены основные технические характеристики теплового насоса “воздух-вода” GMLW 35, заправленного рабочим агентом R407C [9].

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(CO₂) и R717 (пропан).

Наиболее перспективны из агрегатированных являются тепловые насосы модели Q-ton ESA30 фирмы «Mitsubishi Heavy Industries» (Япония), заправленные R744(CO₂), которые идеально подходят для круглогодичного покрытия нагрузки горячего водоснабжения жилых зданий. Основные технические характеристики тепловые насосы модели Q-ton ESA30 фирмы «Mitsubishi Heavy Industries» (Япония), заправленные R744(CO₂), приведены в приложении 3 [10]. Энергетическую эффективность работы Q-ton ESA30 обеспечивает спирально-роторный инверторный компрессор двойного сжатия «SCROTARY». Благодаря синтезу технологий и свойств диоксида углерода (CO₂) в газоохладителе теплового насоса можно нагревать воду питьевого качества с 5⁰С до 90⁰С в диапазоне температур наружного воздуха от минус 25⁰С до плюс 43⁰С при постоянной теплопроизводительности, начиная с температуры минус 7⁰С 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.2.9.



Илл. 2.9 – 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) [18]. 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. 2.10). Площадь одного профиля эквивалентна поверхности 64 метрового трубопровода диаметром 22 мм. Компрессорно-конденсаторный модуль включает спиральный компрессор, пластинчатый паяный конденсатор, датчики и др.



Илл. 2.10 – Конструкции испарителей тепловых насосов 120X

Их применение особенно эффективно при повышенных требованиях к акустическому режиму жилых территорий. Основные технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» модели 120X, предусмотренные для отопления и горячего водоснабжения зданий жилого комплекса в г. Киеве, приведены в приложении 4 [18].

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°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°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°C ... 65°C .

Основные технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода», наиболее представленные в Республике, приведены приложениях 5, 6 и 7 [18, 19, 20].

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 насосов с данными об опыте их эксплуатации на объектах с аналогичными местными условиями.

3. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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 ТНУ основным оборудованием их блока 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.

При выборе оборудования ТНУ, первоочередным является учет градостроительных регламентов на размещение проектируемого жилого здания, возможностей централизованного теплоснабжения и наличия доступных ресурсов низкопотенциальной теплоты. Кроме указанных, исходными для расчетов параметров оборудования принимаются данные проекта жилого здания (градостроительные условия, расчетные тепловые нагрузки, объемы потребления холодной и горячей воды, температурный график систем отопления и др.).

В настоящее время может быть рекомендована следующая последовательность расчета параметров ТНУ.

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

$$Q^p_i = 1,16 \cdot G_i \cdot (t^k_i - t^u_i) \cdot C_i = 1,16 \cdot G_i \cdot \Delta t_i \cdot C_i, \text{ кВт} \quad (5.1)$$

где G_i – количество i -го вида НПИТ, возможного к использованию в расчетный час отопительного периода; $\text{м}^3/\text{час}$; t^k_i – температура охлажденного потока НПИТ i -го вида, $^{\circ}\text{C}$; t^u_i – температура теплого потока НПИТ i -го вида, $^{\circ}\text{C}$; Δt_i – глубина охлаждения потока НПИТ i -го вида, $^{\circ}\text{C}$; C_i – теплоемкость потока НПИТ i -го вида, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Минимальная глубина охлаждения потока жидких НПИТ в отопительный период принимается равной $2,5^{\circ}\text{C}$, максимальная – по местным ограничениям.

2. Максимальная теплопроизводительность тепловых насосов ($Q^{\text{макс.тн}}$), которая может быть получена для покрытия j -ой тепловой нагрузки (Q^p_j), определяется из соотношения

$$Q^{\text{макс.тн}} = Q^p_j \cdot [\varepsilon^p_{ij} / (\varepsilon^p_{ij} - 1)], \text{ кВт} \quad (3.1)$$

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

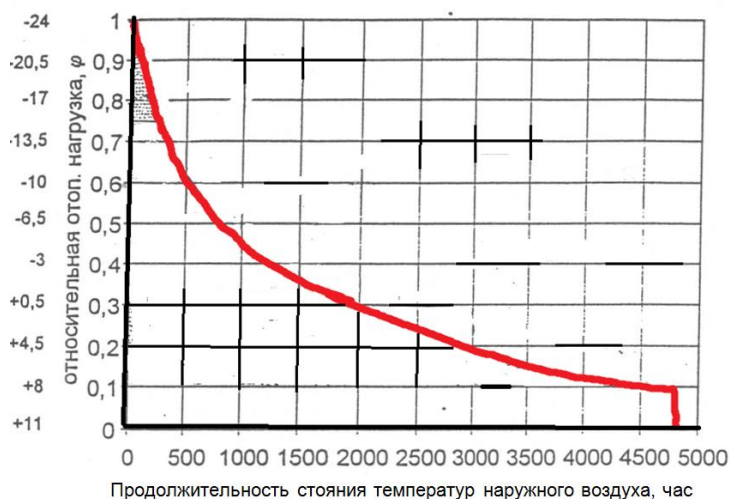
Значение ε_{pij} зависит от степени совершенства термодинамического цикла теплового насоса, вида рабочего агента, температуры потока низкопотенциальной теплоты i -вида на входе в испарители теплового насоса ($t_{исп.}$) и температуры теплоносителя на выходе конденсатора ($t_{конд.}$). Значение ε_{pij} можно принимать по паспортным данным тепловых насосов или определять по формуле

$$\varepsilon_{pij} = 0,55... 0,65 \cdot (275 + t_{исп.}) / [4 + (t_{конд.} - t_{исп.})], \quad (3.2)$$

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

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

Проектной практикой определено³, что в поливалентных ТНУ тепловые насосы рационально рассчитывать на покрытие 60...75 % расчетной нагрузки отопления, что соответствует температурам наружного воздуха минус 10⁰С ... минус 15⁰С. Основанием этого является особенности климатических условий республики, в которых продолжительность стояния температуры наружного воздуха минус 10⁰С и ниже составляет в среднем около 12,0 %, а температуры минус 15⁰С и ниже – около 6,0 % всего отопительного периода (илл. 3.2).



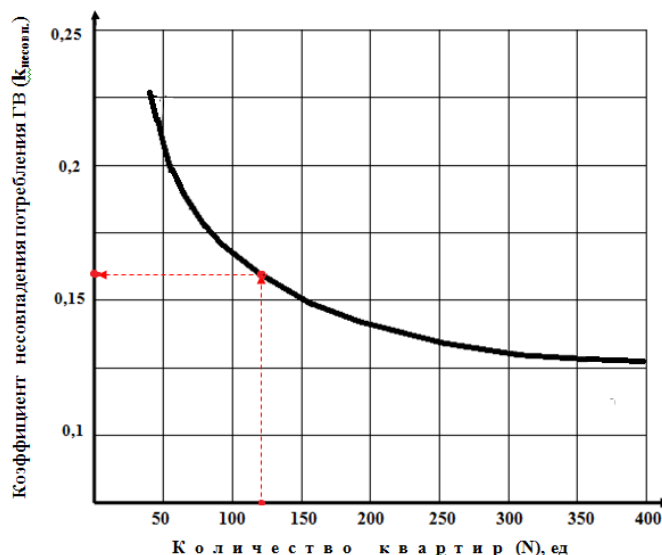
Илл. 3.2 – График средней продолжительности стояния относительной отопительной нагрузки ($\varphi_{от} = Q_{тек.от} / Q_{от}$)

В отличие от отопительной на величину расчетной нагрузки горячего водоснабжения жилого дома, ее суточное и сезонное изменение влияет температура исходной холодной 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 ($t^{вб}_{тн}$), зависит

³ - зависимость экономической эффективности тепловых насосов от числа часов использования их расчетной теплопроизводительности показана в разделе 9

от температурного графика систем отопления и технических возможностей тепловых насосов.

Понятно, что величина расчетной тепловой нагрузки горячего водоснабжения непосредственно влияет на выбор теплопроизводительности теплогенерирующего и теплообменного оборудования источника ее покрытия и рассчитывается с учетом всех влияющих на ее факторов, включая несовпадение одновременности потребления горячей воды в квартирах проектируемого жилого здания в часы максимума ее суточного потребления⁴ (илл. 3.3).



Илл. 3.3 – Зависимость коэффициента снижения тепловой нагрузки жилого здания в часы суточного максимума от количества квартир

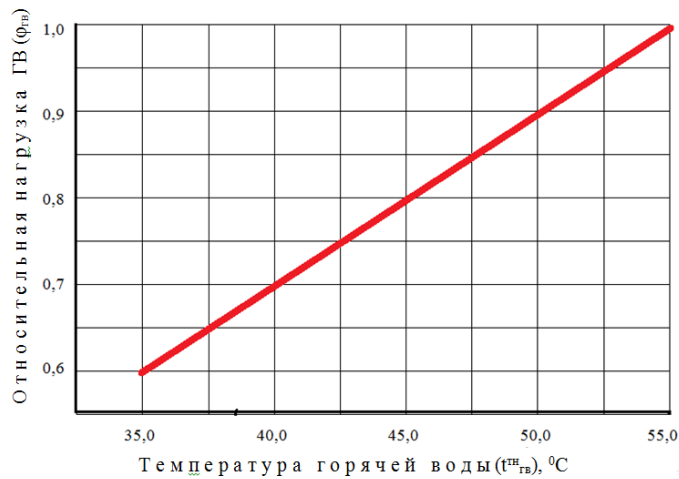
С требуемой достоверностью теплопроизводительность тепловых насосов для покрытия 100% нагрузки горячего водоснабжения ($Q^p_{\text{тн}}$) может рассчитываться по формуле

$$Q^p_{\text{тн}} = 1,16 N \cdot (G_{\text{сут}}/24) \cdot (t^{\text{г}}_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) \cdot k_{\text{пик}} \cdot k_{\text{макс.потр.}} \cdot k_{\text{сем. кв.}} \cdot (1 + k_{\text{потерь}}/100), \text{ кВт} \quad (3.3)$$

где N – количество квартир, ед; $G_{\text{сут}}$ – средний за сутки расход горячей воды на одного жителя, л/сутки; $t^{\text{г}}_{\text{гв}}$ – температура горячей воды, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{хв}}$ – температура холодной воды, $^{\circ}\text{C}$; $k_{\text{пик}}$ – коэффициент, характеризующий превышение объемов потребления горячей воды в часы суточного максимума над среднесуточными; $k_{\text{несовп.}}$ – коэффициент несовпадения суммы расчетных объемов потребления горячей воды квартир жилого здания (см. илл. 3.3); $k_{\text{сем. кв.}}$ – коэффициент семейности, человек/квартиру; $k_{\text{потерь}}$ – тепловые потери в циркуляционном контуре, %

Зависимость нагрузки горячего водоснабжения ($\phi_{\text{гв}}$) от температуры горячей воды, подогреваемой тепловыми насосами ($t^{\text{гв}}_{\text{тн}}$) при температуре холодной воды 5°C и температуре в сети горячего водоснабжения 55°C , показана на илл. 3.4.

⁴ – 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)



Илл. 3.4 – Зависимость нагрузки горячего водоснабжения от температуры горячей воды на выходе теплообменника контура теплового насоса $\phi_{ГВ} = (t^p_{ГВ} - 5)/(t^p_{ГВ} - 5)$

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. 3.5 показана такая структура ТНУ с указанием температуры теплоносителей в ее контурах, габаритов теплового насоса и баков аккумуляторов горячей воды.



Илл. 3.5 – Структура ТНУ на основе теплового насоса «воздух-вода» модели Q-ton ESA30, заправленного рабочим агентом R744 (см. раздел 2)

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 слоев 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 спо-

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.

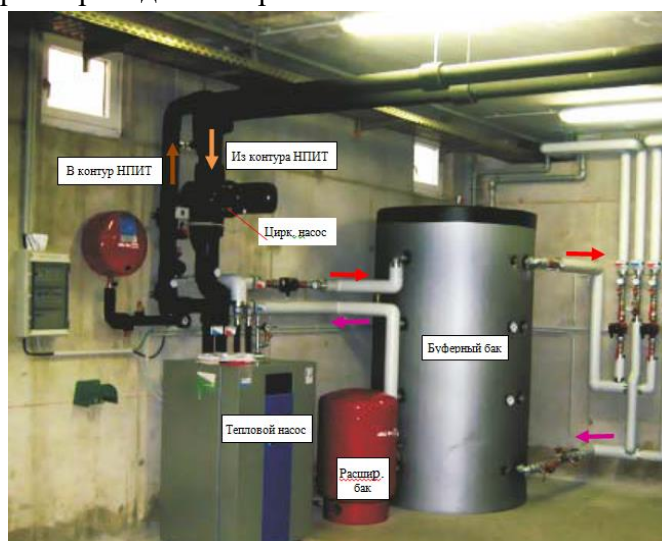
4. РАЗМЕЩЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

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 1) и тип применяемых тепловых насосов (см. раздел 2). Например, тепловые насосы «антифриз-вода» и «вода-вода» могут находиться непосредственно в тепловых пунктах или стыкуемых помещениях, в которых желательно устанавливать блоки отбора низкопотенциальной теплоты, циркуляционные насосы и баки-аккумуляторы горячей воды.

На илл. 4.14.5 показаны примеры размещения и особенности обвязки тепловых насосов «вода-вода» и «антифриз-вода» некоторых известных фирм, в т. ч. технические характеристики которых приведены в приложении.



Илл.4.1 – Размещение и обвязка оборудования ТНУ



Илл.4.2 – Размещение и обвязка тепловых насосов Greenline F 65 фирмы «IVT» (Швеция)



Илл.4.3 – Размещение и обвязка тепловых насосов TERRA61 фирмы «Ochsner» (Австрия)



Илл.4.4 – 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 разрешенном 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.4.5)



Илл. 4.5 – 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. 4.5....4.8 показаны примеры размещения некоторых моделей тепловых насосов «воздух-вода», а на илл. 4.9 – баков аккумуляторов горячей воды.



Илл.4.6 – Размещение каскада из агрегированных тепловых насосов «воздух-вода» F2300 фирмы «NIBE»



Илл.4.7 – Размещение каскада из испарителей (а) и компрессорно-конденсаторных блоков (б) тепловых насосов «воздух-вода» модели 120X фирмы «Octopus»



Илл. 4.8 – Размещение и обвязка аккумуляторов горячей воды

5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

При проектировании систем инженерного обеспечения ТНУ (электроснабжение, отопления, вентиляции, водоснабжения и канализации) следует руководствоваться действующими нормативными требованиями и учитывать рекомендации настоящего раздела.

Электроснабжение. Теплонасосные установки являются потребителями I и II категории по надежности электроснабжения: тепловые насосы и насосы перекачки теплоносителей – II категория, нагреватели антизамораживания воды в трубопроводах с тепловыми насосами «воздух-вода» и устройства автоматики тепловых насосов всех типов – I категория.

Расчетной является мощность, потребляемая одновременно в период максимальных нагрузок отопления и горячего водоснабжения оборудованием ТНУ: компрессорами и вентиляторами тепловых насосов, насосами перекачки теплоносителей, нагревателями антизамораживания воды, запорной арматурой с электроприводом.

Электроснабжение целесообразно предусматривать на напряжении 0,4 кВ от собственного распределительного шкафа с его запиткой двумя кабелями от разных секций электрощитовой жилого дома. Сечение кабельных линий и защитное оборудование выбирается в соответствии с требованиями присоединяемого оборудования, с учетом паспортных значений $\cos \varphi$ тепловых насосов и установкой в них блоков «мягкий пуск». Распределительный шкаф рекомендуется размещать в помещении с тепловыми насосами. Для обеспечения надежности электроснабжения устройства автоматики и нагреватели антизамерзания (только в периоды отрицательных температур наружного воздуха) необходимо запитывать от щита пожаротушения здания или источника бесперебойного питания (жилого здания или собственного).

Тепловые насосы должны быть оборудованы отдельными выключателями замыкания на землю. Систему защитного заземления токопроводящих частей оборудования ТНУ рекомендуется предусматривать посредством применения РЕ-проводников в составе питающих кабелей. Схема уравнивания потенциала трубопроводов и насосов подключается к системе уравнивания потенциала здания.

В помещениях с оборудованием ТНУ следует предусматривать рабочее искусственное освещение для VI разряда зрительной работы и аварийное. Наружное освещение площадок с тепловыми насосами «воздух-вода» решается с применением энергосберегающих светильников антивандального исполнения.

Для регистрации расходов электрической и выработки тепловой энергии должны предусматриваться двухтарифными счетчиками с дистанционным считыванием показаний и передачей.

Отопление и вентиляция. При размещении оборудования ТНУ в помещениях (см. раздел 7) устройство систем отопления обязательна. Расчет выполняется с учетом тепловыделения от оборудования и трубопроводов. Минимально расчетная температура воздуха в помещениях ТНУ – 5⁰С, максимальная – не более 30⁰С. Приточно-вытяжная вентиляция рассчитывается по результатам теплового баланса помещений, но не менее однократного естественного воздухообмена.

Водоснабжение и водоотведение. Главными требованиями к проектированию хозяйственно-питьевого водоснабжения ТНУ является обязательность передачи данных о параметрах водопотребляющего оборудования, качестве, объемах и режимах потребления воды. При использовании в качестве НПИТ подземные воды, оборотные воды и очищенные сточные воды следует инициировать их рассмотрение для использования на не питьевые нужды (туалеты, мытье полов) жилого дома.

Объектами водопотребления и образования сточных вод в ТНУ являются резервуары с теплоносителями, трубопроводы контуров теплового насоса, туалет и умывальник, если они отсутствуют при тепловом узле дома. В полу помещений ТНУ следует предусматривать трап для возможности отведения сточных вод при опорожнении оборудования и трубопроводов. Сточные воды отводятся с разрывом струи самотеком или с применением дренажных насосов.

6. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Принятые проектные решения ТНУ должны соответствовать всем действующим нормативным требованиям и правилам охраны труда и техники электро-, пожаро-, взры-

воопасности безопасности в строительстве, которые могут быть применены при эксплуатации источников теплоснабжения на основе тепловых насосов.

Как правило, ТНУ полностью автоматизированы и необходимость присутствия в них постоянного обслуживающего персонала отсутствуют. Контроль за работой системы и переключение на разные режимы осуществляет дежурный персонал, прошедший соответствующее обучение. Сервисное обслуживание тепловых насосов, как правило, осуществляет поставщик тепловых насосов по отдельным договорам.

При размещении ТНУ в помещениях необходимо учитывать негативный эффект многократного отражения звуковых волн от отражающихся поверхностей при работающего оборудования. Основными источниками шума и вибрации являются компрессоры всех типов тепловых насосов, вентиляторы тепловых насосов «воздух-вода» и насосы перекачки теплоносителей. Значения звуковой мощности предоставляется производителями тепловых насосов по запросу. Как правило, уровень звуковой мощности, образующийся при работе известных моделей тепловых насосов, не требует проектирования специальных устройств.

При необходимости мероприятия по шумо-и виброзащите должны быть обоснованы акустическими расчетами [21]. Распространение шума через ограждающие конструкции помещений можно ограничить устройством из мягкого звукопоглощающего материала. Для снижения шума, вибрации и резонансных явлений тепловые насосы должны устанавливаться на виброизолирующих основаниях, а трубопроводы присоединяться гибкими демпфирующими вставками.

Для тепловых насосов «воздух-вода» должны быть дополнительно предусмотрено устройство ограждений на отверстиях забора и отведения наружного воздуха со стороны наружных стен здания. При их установке около жилого здания, при планировочных ограничениях, может возникнуть необходимость применения устройств по снижению шума. В этом случае площадка с тепловыми насосами ограждается защитными экранами. Уровень звука должен быть измерен при выполнении пуско-наладочных работ.

Проектирование противопожарной защиты ТНУ должно быть увязано с общей системой пожаротушения здания.

7. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ТНУ являются местными экологически чистыми источниками теплоснабжения, так как для привода оборудования используется электрическая энергия. В составе ТНУ применяются парокомпрессионные тепловые насосы, заправленные озонобезопасными рабочими агентами R407C, R134a, R410 A, R290 (пропан) и R744(CO₂), основные характеристики которых приведены в таблице 2.3 (см. раздел 2). Количество агента зависит от типа тепловых насосов, их конструкции и тепловой мощности. Данные о виде рабочих агентов и их объеме принимаются из каталога фирмы-производителя и подтверждаются фирмой-поставщиком в составе других технических характеристик тепловых насосов.

Проектные решения ТНУ должны обеспечивать минимальное отрицательное влияние на окружающую естественную среду. При проектировании необходимо учитывать

экологические условия государственных природоохранных и санитарных органов и материалы экологических разделов предыдущих градостроительных проектов.

Основной проблемой в применении большинства тепловых насосов «воздух-вода» с вентиляторными испарителями является соблюдение ТКП 45-2.04-154-2009, согласно которому уровень звука на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, должен быть с 7.00 до 23.00 не более 70 dB(A), а с 23.00 до 7.00 – 60 dB(A). Для площадок отдыха максимально допустимый уровень звука равен 60 dB(A) круглосуточно [21]. При превышении этих нормативных значений мероприятием снижения шума может быть установка шумогосящей ограды.

Экологическая эффективность применения ТНУ может оцениваться объемом сокращения выбросов CO₂ при сжигании органического топлива на источниках энергосистемы для выработки годового объема тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение жилого здания и выработки электрической энергии, расходуемой ТНУ для выработки тепловой энергии того же объема.

Объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии источниками отопления и горячего водоснабжения с ТНУ, являющийся показателем экологической эффективности ТНУ, равен сумме выбросов, образующихся при выработке теплоты их теплогенерирующими установками: ТНУ (CO₂^{год тну}); источником централизованного теплоснабжения (CO₂^{год цт}); домовой котельной (CO₂^{год дом.кот.}) и другим местным оборудованием (CO₂^{год др. мест.})

$$\begin{aligned} \text{CO}_2^{\text{год ист.О и ГВ}} &= \text{CO}_2^{\text{год тну}} + \text{CO}_2^{\text{год цт}} + \text{CO}_2^{\text{год дом. кот.}} + \text{CO}_2^{\text{год др. мест.}} = \\ &= (\text{В}^{\text{год тну}} + \text{В}^{\text{год цт}} + \text{В}^{\text{год дом. кот.}} + \text{В}^{\text{год др. мест.}}) \cdot \text{а}, \text{ ТОНН}, \end{aligned} \quad (7.1)$$

где а – количество выбросов CO₂, 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.

С целью охраны водных объектов и атмосферы от загрязнения следует руководствоваться следующим:

- при использовании теплоты наружного воздуха проектное решение по размещению тепловых насосов должно быть согласовано с генпроектировщиком и санитарно-гигиенической службой района расположения проектируемого жилого дома;
- при использовании теплоты грунта вертикальными теплообменниками (зондами) проектное решение должно быть согласовано органами охраны окружающей среды региона;
- при использовании теплоты поверхностных вод водозаборные сооружения должны быть оборудованы эффективными рыбозащитными устройствами;
- при использовании теплоты сточных вод городских коллекторов необходимо учитывать влияние снижения температуры сточных вод на работу сооружений по их биологической очистке, от которых зависит качество отведения очищенных сточных вод в водоток;
- при использовании теплоты очищенных сточных вод необходимо создать условия для максимального их последующего использования на хозяйственные нужды и для охлаждения технологического оборудования.

8. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

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.

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 функционально связанным теплогенерирующим оборудованием. 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 [22, 23]. 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 теплоснабжения 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.

Большинство из приведенных выше факторов учитываться в разделе , где приведена методика системной оценки эффективности принимаемых энергосберегающих решений для всего жилого здания.

Сравнение эффективности проектируемого ТНУ и традиционного источника отопления и горячего водоснабжения выполняется по годовым расходам первичного топлива (энергетический эффект), объемам выбросов CO₂ (экологический эффект), сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений (эффект инвестора), ежегодным эксплуатационным расходам (интересы жителей) и другим критериям, которые заданы ЗАКАЗЧИКОМ.

Обязательными для расчетов являются потребление первичного топлива, единовременные капитальные вложения на сооружение и ежегодные расходы на эксплуатацию источников отопления и горячего водоснабжения.

Суммарный расход первичного топлива источником отопления и горячего водоснабжения с ТНУ ($V_{\text{ист.о и гв}}^{\text{год}}$), равен сумме топлива, расходуемого ТНУ ($V_{\text{тну}}^{\text{год}}$), источником централизованного теплоснабжения ($V_{\text{цт}}^{\text{год}}$), домовой котельной ($V_{\text{дом. кот.}}^{\text{год}}$) и другого местного теплогенерирующего оборудования ($V_{\text{др. мест.}}^{\text{год}}$).

$$V_{\text{ист.о и гв}}^{\text{год}} = V_{\text{тну}}^{\text{год}} + V_{\text{цт}}^{\text{год}} + V_{\text{дом. кот.}}^{\text{год}} + V_{\text{др. мест.}}^{\text{год}}, \text{ ту.т./год} \quad (8.1)$$

Расход топлива на выработку теплоты ТНУ определяется из выражения

$$V_{\text{тну}}^{\text{год}} = W_{\text{тну}}^{\text{год}} b_{\text{ээ}}, \text{ ту.т./год} \quad (8.2)$$

где $W_{\text{тну}}^{\text{год}}$ – годовой расход электрической энергии на выработку теплоты ТНУ, МВтч; $b_{\text{ээ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии на источнике электрической энергии, ту.т./МВтч.

Расход топлива на выработку теплоты источником централизованного теплоснабжения определяется из выражения:

$$V_{\text{ти}}^{\text{год}} = Q_{\text{ти}}^{\text{год}} b_{\text{тэ}} / 1000, \text{ ту.т./год} \quad (8.3)$$

где $Q_{\text{ти}}^{\text{год}}$ – объемы годовой выработки теплоты на источнике централизованного теплоснабжения, Гкал; $b_{\text{тэ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии на источнике централизованного теплоснабжения, ту.т./Гкал.

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты домовой котельной:

$$V_{\text{дом. кот.}}^{\text{год}} = Q_{\text{дом. кот.}}^{\text{год}} (b_{\text{дом. кот.}} + b_{\text{ээ}} b_{\text{ээ}} / 1000), \text{ ту.т./год}, \quad (8.4)$$

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

Годовой расход условного топлива на выработку теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием:

$$V_{\text{др. мест.}}^{\text{год}} = Q_{\text{др. мест.}}^{\text{год}} b_{\text{др. мест.}} b_{\text{ээ}} / 1000, \text{ ту.т./год}. \quad (8.5)$$

где $Q_{\text{др. мест.}}^{\text{год}}$ – объемы годовой выработки теплоты другим местным теплогенерирующим оборудованием, Гкал; $b_{\text{ээ}} b_{\text{др. мест.}}$ – 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 ($b_{\text{ээ}}$ и $b_{\text{тэ}}$) принимаются по данным эксплуатирующих организаций, а домо-

вых котельных и другого теплогенерирующего оборудования ($b_{\text{дом.кот}}$, $b_{\text{эз дом.кот}}$ и $b_{\text{др.мест}}$) – по паспортным данным устанавливаемого оборудования и др.

Капитальные вложения на сооружение ТНУ складываются из затрат на:

- разработку проектной документации, включая выполнение научно-исследовательских работ, авторский надзор и др. (рассчитываются по действующим ценам 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» составляют до 15% их стоимости.

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

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

$$I_{\Sigma \text{ тну}} = I_{\text{энерг.}} + I_{\text{а}} + I_{\text{тек.рем.}} + I_{\text{обслуж.}}, \text{ ТЫС. ДОЛЛ.} \quad (8.6)$$

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

В расчетах $I_{\text{энерг.}}$ используются значения годовых расходов электрической энергии и значения тарифов на электроэнергию из энергосистемы ($\text{ц}_{\text{э}}$).

Традиционно сравнение 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:

$$K_{э} = (I_{баз.} - I_1) / (K_1 - K_{баз.}), \quad (8.7)$$

где $K_{баз.}$, K_1 — капитальные вложения по базовому и альтернативному варианту, долл.; $I_{баз.}$, I_1 — ежегодные эксплуатационные расходы, долл.

- простому сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$T_{ок} = (K_1 - K_{баз.}) / (I_{баз.} - I_1), \text{ лет} \quad (8.8)$$

- величине приведенных затрат, которые рассчитываются по формуле 8.10.

Системным критерием эффективности являются приведенные затраты — чем меньше величина приведенных затрат, тем выше эффективность капитальных вложений. 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 теплоснабжения.

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

$$Z_{ист.о и гв} = Z_{тну} + Z_{цт} + Z_{дом. кот.} + Z_{др. местн.} = (P_6 K_{тну} + I_{тну}) + (P_6 K_{цт} + I_{цт}) + (P_6 K_{дом. кот.} + I_{местн. кот.}) + (P_6 K_{др. местн.} + I_{др. местн.}) \quad (8.9)$$

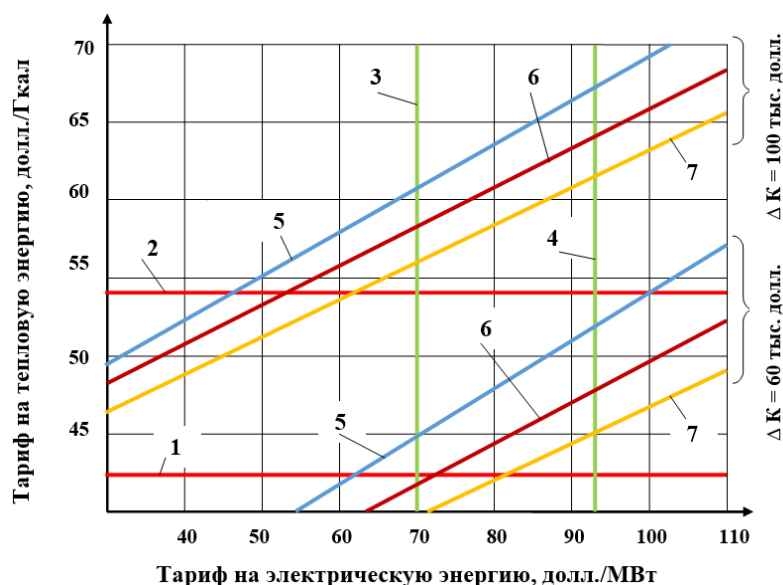
где P_6 — средний банковский процент; K_i — суммарные капитальные вложения на сооружение i -го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.; I_i — ежегодные эксплуатационные расходы на работу i -го типа теплогенерирующего устройства, тыс. долл.

Вместе с тем, в зависимости от степени участия государства в строительстве и приоритетности критериев, решение о проектом варианте ТНУ определяется по принципу, что и насколько важно для проекта: экономика, энергетика, экология или качественные показатели (эстетика, конъюнктура).

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 [24].

Влиянии тарифов на экономическую эффективность применения ТНУ показано на илл.8.1, функционально связывающие значения экономически обоснованных тарифов (ЭОТ) на электрическую энергию для ТНУ теплопроизводительностью 100 кВт и тепло-

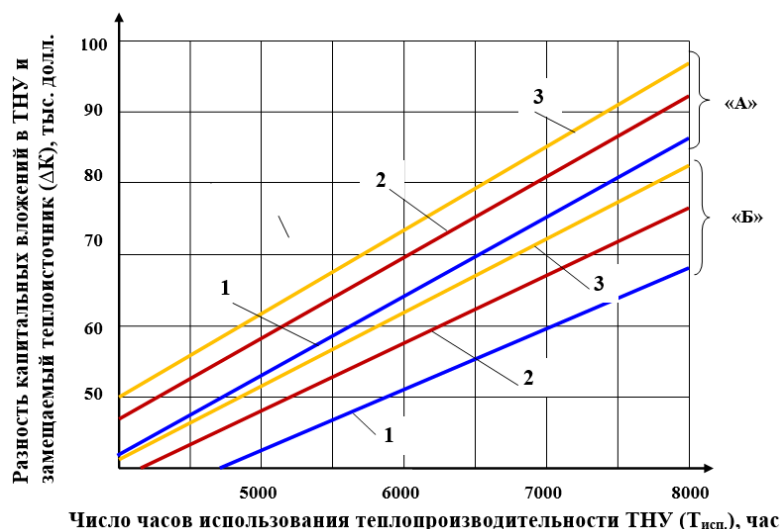
вую энергию от замещаемого источника централизованного теплоснабжения при числе часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ, равном 7000 часов.



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 $\epsilon_{\text{ср}}^{\text{год}}$ равном 3,5; 6 - при $\epsilon_{\text{ср}}^{\text{год}}$ равном 4,0; 7 – при $\epsilon_{\text{ср}}^{\text{год}}$ 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 ($u_{\text{э}}$) и тепловую энергию ($u_{\text{ит}}$), среднегодовые коэффициенты ТНУ $\epsilon_{\text{ср}}^{\text{год}}$ и число часов использования теплопроизводительности ТНУ 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 (ΔK) от числа часов использования расчетной теплопроизводительности ТНУ ($T_{\text{исп.}}$) (1 – при средне-

годовом 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 $\mu_{цит} = 50$ долл./Гкал и $\mu_{эс} = 70$ долл./МВтч; Б - при $\mu_{цит} = 50$ долл./Гкал и $\mu_{эс} = 90$ 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 [22, 23]:

- тепловая мощность ТНУ ($Q^P_{тну}$), кВт;
- годовая выработка тепловой энергии ТНУ ($Q^{год}_{тну}$), Гкал;
- потребляемая мощность электрооборудования ТНУ ($P^P_{тну}$), кВт;
- годовое потребление электрической энергии на выработку теплоты ($W^{год}_{тну}$), МВтч
- ежегодный расход первичного топлива ($V^{год}_{тну}$), т/год;
- величина капитальных вложений на строительство ТНУ ($K_{тну}$), млн. руб. (тыс. долл.);
- ежегодные эксплуатационные расходы для работы ТНУ ($I^{год}_{тну}$), млн. руб. (тыс. долл.);
- простой срок окупаемости капитальных вложений ($T_{ок}$), лет;
- удельный расход первичного топлива на 1 м² общей площади жилого здания ($b_{общ.зд} = V^{год}_{тну} / F_{общ.}$), кг у.т/м²;
- удельный расход первичного топлива на 1 м² общей площади квартир жилого здания ($b_{общ.кварт.} = V^{год}_{тну} / F_{общ.}$), кг у.т/м²;
- объем выбросов углекислого газа от сжигания органического топлива для выработки тепловой энергии ТНУ ($CO_2^{год}_{тну}$), т/год;
- удельные капитальные вложения на сооружение ТНУ ($k_{общ.кварт.} = K_{тну} / F_{общ.}$), долл./м² общей площади квартир жилого здания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология.
2. Матвеев Л. Т. Влияние большого города на метеорологический режим // Известия РАН. Серия географическая. -2007, № 4, с. 97-102.
3. Зуй В.И. Геотермические условия территории Беларуси // Мониторинг. Наука и технологии. -2009, №1, с.3-26.
4. Грибик Я.Г., Жидович И.С., Зуй В.И. Концепция использования геотермальной воды Брестской впадины для теплоснабжения тепличного комбината «Берестье». Мн., 2005.
5. 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.
6. Жидович И.С., Мухин О.А. Использование теплоты сточных вод в теплоснабжении // Водоснабжение и санитарная техника. -1989, №7, с.5-7.
7. Патент РБ №8154(2012). Теплоэнергетическая установка с комплексной системой глубокой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов.
8. www.nibe.by
9. www.ochsner.by
10. www.mhi.by
11. Жидович И.С.Белый В.Я. Применение тепловых насосов для теплоснабжения объектов водопроводно-канализационного хозяйства городов// Энергия и Менеджмент. -2003, №5, с.39-41.
12. Планировка, застройка и благоустройство районов городского строительства на намывных территориях. РСН 63-87. Мн.: БелНИИТИ Госплана БССР, 1987. - 84с.
13. 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.
- 14.www.feka.ch
- 15.www.fercher.at
16. www.aspol.com.pl
17. Жидович И.С. Применение тепловых насосов на промышленных предприятиях // Энергоэффективность. -1998, №9, с.9-11.
18. www.octopus.tm
19. www.portpc.pl
20. www.telemiks.by
21. ТКП 45-2.04-154-2009. Защита от шума. Строительные нормы проектирования.
22. ТКП 45-4.02-204-2010. Схемы теплоснабжения населенных пунктов. Правила разработки.
23. ТКП 241-2019 (02230). Порядок разработки технико-экономического обоснования выбора схем теплоснабжения при строительстве и реконструкции объектов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1 – Технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» F2300

Наименование показателей	Количество при t гор. воды на выходе конденсаторов 55°C при t нар. воздуха			
	минус 25°C	минус 7°C	7°C	20°C
Теплопроизводительность, кВт	9,0***	14,0	19,0	25,0
Расход воздуха через испаритель, м³/час	3700 (6000)*			
Расход воды через конденсатор, м³/час	1,7/3,4**			
Потребляемая мощность оборудования, кВт в т. ч. вентиляторов	5,5***	6	6,55	7
	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), м	1,455x0,620x1,385			
Вес, кг	230			

*- в скобках вторая скорость вентилятора;

** - числитель – минимальный расход, знаменатель – максимальный расход

*** – при температуре подачи теплоносителя 50°C.

Приложение 2 – Технические характеристики теплового насоса «воздух-вода» GMLW35 plus фирмы «Ochsner»

Наименование показателей	Количество при t гор. воды на выходе конденсатора 55°C при t нар. воздуха			
	минус 24°C*	минус 7°C	7°C	20°C
Теплопроизводительность, кВт	18,0	24,5	33,8	44,5
Расход воздуха через испаритель, м³/час	9800			
Расход воды через конденсатор, м³/час	6,0	6,0	6,0	6,0
Потребляемая мощность оборудования (всего) кВт т. ч. вентиляторов	8,6	9,0	9,7	9,9
	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 • наружного испарительного • внутреннего компрессорно-конденсаторного	2,22x0,96x1,08			
	0.6x0.65x1.15			
Вес наружного/внутреннего блоков, кг	180/164			

*- при минус 24°C температура теплоносителя 50°C

Приложение 3 – 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: - расход, м³/час - температура (вход/выход), ⁰C	0,328	0,469		
	5/60			
Потребляемая мощность оборудования, всего т. ч. привода компрессора - вентиляторов - нагревателей картера - нагревателей антизамораживания воды - встроенного насоса системы ГВ	10,154	11,664	7,922	7,44
	8,91	10,42	7,05	6,57
	0,772			
	0,02		-	
	0,352		-	
	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), м	1,35x0,72x1,69			
Вес теплового насоса	365			

Приложение 4 – Основная характеристика теплового насоса «воздух-вода» I20X

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, м³/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			
Вес/ габариты испарителя (ширина x глубина x высота), кг/м	97/ (0,81x0,98x2,22)			
Вес/габариты компрессорно-конденсаторного блока (ширина x глубина x высота), кг/м	115/0,605x580x820			

Приложение 5 – Технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» модели TH45 фирмы ЧПУП «Геотерматекс» (Республика Беларусь) [32]

Показатели	Количество при t теплоносителей на выходе конденсаторов 55°C* и на входе в испарители		
	0°C	5°C	10°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, м³/час	6,3-11,3		
Расход теплоносителя в контуре конденсатора, м³/час	6,0-8,8		
Габариты (ширина x глубина x высота), м	0,6x0,82x1,36		
Вес, кг	350		

* - данные для тепловых насосов «вода-вода»

Приложение 6 – Технические характеристики тепловых насосов «антифриз-вода» и «вода-вода» модели TERRA61 фирмы «Ochsner» (Австрия) [17]

Показатели	Количество при t теплоносителей на выходе конденсаторов 55°C и на входе в испарители					
	минус 2°C	0°C	5°C	7°C*	10°C*	15°C*
Тепловая мощность, кВт	52,6	56,5	66,1	69,8	75,1	84,0
Параметры теплоносителя через испаритель:						
• расход, м³/час	>16,0	>16,0	>16,0	>16,0	>16,0	>16,0
• температура (вход/выход), °C	0/-3	0/-3	0/-3	0/-3	0/-3	0/-3
Параметры воды через конденсатор:						
• расход, м³/час	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
• температура (вход/выход), °C	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), м	0,68x0,68x1,85					
Вес, кг	284					

*- данные для тепловых насосов «вода-вода»

Приложение 7 – 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°C при t теплоносителя на входе в испарители					
	минус 2°C	0°C	5°C	7°C*	10°C*	15°C*
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:						
• расход, м³/час	8,5/11,16*					
• температура (вход/выход), °C	-12/28*					
Параметры воды через конденсатор:						
• расход, м³/час	3,312/4,824					
• температура (вход/выход), °C	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), м	0,6 x 0,62 x 1,8					
Вес, кг	353					

* - данные для тепловых насосов «вода-вода»;

** - числитель – минимальное значение/ знаменатель – максимальное значение;

*** - уровень шума по стандарту EN 12102 при температурах B0/W35