

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Отчет

**Применение тепловых насосов для экономии топливно-энергетических
ресурсов при эксплуатации жилых зданий в Республике Беларусь
и за рубежом**

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

И.С.Жидович

Минск
сентябрь 2013

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДЕЛ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ТЭР ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ..	4
1.1. Типы применяемых тепловых насосов и виды источников низкопотенциальной теплоты, используемые при эксплуатации жилых зданий	4
1.2. Опыт применения тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий за рубежом.....	6
1.3. Опыт применения тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий и жилой застройки в проектной практике Республики Беларусь ...	11
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ	13
2.1. Общие положения	13
2.2. Особенности проектирования архитектурно-строительной части зданий с учетом применения тепловых насосов.....	14
2.3. Источники низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов....	14
2.4. Особенности проектирования инженерных систем многоэтажных жилых зданий с учетом применения тепловых насосов	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

ВВЕДЕНИЕ

Значительным резервом экономии расхода топливно-энергетических ресурсов на теплоснабжение многоэтажных жилых зданий является использование вторичных энергетических ресурсов самих зданий (вентвыбросы, сточные воды) и природных возобновляемых источников энергии (наружный воздух, грунт, подземные и поверхностные воды). По температурным параметрам они отнесены к категории низкопотенциальных источников теплоты (НПИТ), вовлечение в оборот теплового потенциала которых технически возможно с применением современных конструкций теплообменных аппаратов, тепловых насосов и систем генерирования тепловой энергии на их основе.

Наибольший энергетический и экологический эффект достигается при системном учете всех доступных технических решений по использованию НПИТ для каждой из теплопотребляющих систем зданий (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение), включая применение тепловых насосов.

Как свидетельствует мировой опыт, тепловые насосы интенсивно вытесняют традиционные схемы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива. Это обусловлено известными преимуществами тепловых насосов: компактностью, экологичностью, возможностью размещения прямо на объекте теплоснабжения. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства к 2020 году в развитых странах 75% теплоснабжения (коммунального и промышленного) будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

В настоящем отчете приведен зарубежный опыт применения тепловых насосов при эксплуатации жилых зданий, показан отечественный опыт работ и приведены рекомендации по проектированию инженерных систем жилых зданий с учетом применения тепловых насосов.

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДЕЛ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ТЭР ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

1.1. Типы применяемых тепловых насосов и виды источников низкопотенциальной теплоты, используемые при эксплуатации жилых зданий

Типы применяемых тепловых насосов, их мощность и виды используемых источников низкопотенциальной теплоты (НПИТ) определяются расчетами в зависимости от параметров жилых зданий, условий их размещения, ресурсов НПИТ.

В настоящее время за рубежом и в Республике Беларусь эксплуатируются тепловые насосы типа «воздух-воздух», «воздух-вода», «вода-вода», «гликоль-вода» различных фирм из различных стран. Наиболее широко представлены тепловые насосы из Швеции, Германии, Австрии, Италии, США, Японии, Польши, Франции.

Тепловые насосы «воздух-воздух» изготавливаются с производительностью от 1,5 кВт до 5,0 кВт со спиральными компрессорами. Рабочие агенты фреоны – R410A и R407C. Применяются как теплоисточники для отопления и вентиляции помещений в течение всего отопительного периода. Как правило, тепловые насосы «воздух-воздух» работают и в летний период в реверсивном режиме для охлаждения отапливаемых помещений.

Тепловые насосы «воздух-вода» изготавливаются с производительностью от 4,0 кВт до 150 кВт со спиральными или винтовыми компрессорами. Рабочие агенты – фреоны R410A, R407C, R134a, R290 (пропан) и CO₂. Применяются как теплоисточники для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Минимальная температура воздуха на входе в испаритель, в зависимости от технических характеристик, гарантируемых изготовителями, составляет минус 25⁰С, температура воды на выходе из конденсатора – плюс 65⁰С. Тепловые насосы «воздух-вода» могут применяться в реверсивном режиме и для охлаждения отапливаемых помещений в летний период.

Тепловые насосы «вода-вода» изготавливаются с производительностью от 5 кВт до 1000 кВт со спиральными и винтовыми компрессорами. Рабочие агенты – R410A, R407C, R134a. Применяются как теплоисточники для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения помещений. Минимальная температура воды, поступающей в испаритель, 5⁰С, температура воды на выходе из конденсатора не выше 65⁰С. Тепловые насосы «вода-вода» могут применяться в реверсивном режиме для охлаждения отапливаемых помещений в летний период.

Тепловые насосы «гликоль-вода» изготавливаются с производительностью от 4 кВт до 650 кВт со спиральными и винтовыми компрессорами. Рабочие агенты R410A, R407C, R134a. Применяются как теплоисточники для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения помещений. Температура гликоля, поступающего в испаритель (определяется

расчетом) – от минус 10°C до плюс 5°C , температура воды на выходе из конденсатора не выше 65°C . Тепловые насосы “гликоль-вода” могут применяться одновременно и для охлаждения помещений.

В последние годы активизировались работы по совершенствованию тепловых насосов на основе двигателя внутреннего сгорания с газовым приводом компрессоров. Основное их отличие от повсеместно используемых тепловых насосов с электрическим приводом в использовании теплоты газового двигателя и дымовых газов. Преимуществом газовых тепловых насосов является возможность отпуска теплоносителя с более высокой температурой (до 90°C).

Наиболее важным условием эффективного применения тепловых насосов всех типов является наличие источника низкопотенциальной теплоты. В климатических условиях республики возможно использование для автономного теплоснабжения жилых зданий низкопотенциальной теплоты: ветвыбросов, наружного воздуха, сточных вод, грунта, подземных и поверхностных вод. Отбор низкопотенциальной теплоты осуществляется или непосредственно в испарителях тепловых насосов или через промежуточный контур с теплообменниками специальных конструкций. С учетом известных изменений потенциала потоков в течение суток и года для стабильной работы тепловых насосов целесообразно комбинировать использование различные виды низкопотенциальных источников теплоты.

Вытяжной воздух для тепловых насосов является эффективным для использования в качестве НПИТ. Температура вытяжного воздуха стабильна в течение отопительного периода и составляет в среднем около 18°C . Объемы удаляемого из помещений воздуха пропорциональны площади и назначения вентилируемых помещений.

Наружный воздух является самым доступным НПИТ неограниченного объема. Эффективность его использования ограничена значительной амплитудой колебания температуры в течение суток, отопительного периода и года.

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

Сточные воды жилых зданий представляют собой полидисперсную жидкость с органическими и минеральными включениями. Их объемы и температура в общем случае зависят от уровня инженерного благоустройства жилого дома, температуры водопроводной воды, конструктивного исполнения и режимов работы внутридомовой системы канализации. Сточные воды характеризуются неравномерным и неустойчивым режимом поступления в канализационную сеть. Температура на выпусках зданий изменяется в интервале от 10°C до 30°C .

Подземные воды являются НПИТ с относительно постоянным тепловым потенциалом. Их тепловой режим определяется взаимодействием двух противоположно направленных потоков тепловой энергии - от поверхности

вглубь, имеющего своим источником солнечную радиацию, и из глубин к поверхности, имеющего своим источником тепло земных недр. Поэтому их температура зависит от местных условий и определяется глубиной залегания, расстоянием от поверхностных водотоков и др. Например, температура грунтовых вод на глубине 10-15 м колеблется в пределах от 6⁰С до 11⁰С; на глубинах 40-60 м располагается зона постоянных температурных полей (нейтральный слой) в среднем на 3-5⁰С выше среднегодовой температуры воздуха. На глубинах около 100 м температура подземных вод выше 10⁰С.

1.2. Опыт применения тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий за рубежом

1.2.1. Опыт западноевропейских стран

Применение тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий началось в 70 годах 20 века. Особенно интенсивно развернулись работы в странах Западной Европы и Скандинавии (Германии, Великобритании, Швейцарии, Австрии, Швеции, Норвегии).

В начале 70 годов тепловые насосы устанавливались преимущественно в односемейных зданиях. В последующем накопленный фирмами опыт эксплуатации и безвредность для окружающей среды поставил задачу их применения для теплоснабжения и многоэтажных жилых зданий. Ведущими в разнообразии и масштабах применения тепловых насосов были и являются: по использованию теплоты наружного воздуха и грунта – Германия и Швеция, подземных природных и сточных вод – Швейцария.

Еще в 1975г. научно-исследовательской организацией по вопросам строительства «*Building research Establishment*» была основана лаборатория, занимающаяся проблемами энергопотребления в зданиях и мерами сокращения расходов энергии в жилых зданиях. Были построены четыре экспериментальных дома:

- в первом осуществлялась рекуперация теплоты вытяжного воздуха с помощью теплообменника и использование теплоты сточных вод с помощью тепловых насосов;
- во втором - смонтированы солнечные коллекторы суммарной площадью 20 м², резервуар-аккумулятор вместимостью 40 м³ и три тепловых насоса;
- третье здание оборудовано системой воздушного отопления, включающей тепловые насосы, работающие на низкопотенциальной теплоте вытяжного воздуха и воздуха, предварительно нагретого солнечными коллекторами;
- в четвертом смонтирована система напольного отопления с прокладкой пластмассовых труб.

Проведенные исследования с анализом эксплуатационных расходов показали, что наиболее экономичными являются системы первого и второго здания [1]. Исследовались и особенности использования с помощью тепловых

насосов теплоты природных источников низкопотенциальной теплоты (наружного воздуха, грунта, речной воды).

Специалистами Швеции реализован проект теплонасосной установки, рассчитанной на горячее водоснабжение 817 квартир микрорайона г.Стокгольма. Применен тепловой насос «воздух-вода», покрывающий около 80% годовой потребности микрорайона. При температуре наружного воздуха около 0⁰С и ниже в систему подключаются котлы на жидком топливе [2].

От крупной теплонасосной установки на основе двух тепловых насосов, использующих теплоту воды из скважины глубиной 400 м, обеспечивается теплоснабжение около 130 зданий. Подземная вода поступает в тепловой насос с температурой около 18⁰С, охлаждается до 4⁰С и сбрасывается в ручей. После конденсатора теплового насоса теплоноситель с температурой 65⁰С поступает в систему теплоснабжения. Максимальная теплопроизводительность двух тепловых насосов, смонтированных швейцарской фирмой *Schwarz AG*, около 1700 кВт [3].

Источником теплоснабжения крупного жилого комплекса с магазинами, отелями и административными зданиями в кантоне Роршах (Швейцария) является теплонасосная установка на основе тепловых насосов, использующих теплоту озерной воды с температурой 4⁰С. В составе ТНУ котлы тепловой мощностью 225 кВт, три тепловых насоса теплопроизводительностью 345 кВт, бак-аккумулятор системы отопления 40 м³ и бак-аккумулятор горячей воды системы горячего водоснабжения емкостью 10 м³ [4].

Теплонасосная установка с тепловыми насосами, использующими теплоту речной воды р. Эрфг (приток р.Рейн), обеспечивает тепловой энергией жилые здания, расположенные на территории прибрежной полосы длиной 40 км и шириной 5 км. Речная вода с температурой около 10⁰С (даже в самые холодные дни) проходит специальную очистку с помощью резиновых шариков. Тепловые насосы покрывают около 50 % тепловой нагрузки жилого района [5].

Группа жилых домов в г.Дюссельдорф общей жилой площадью 10800 м² обеспечивается теплом (отопление напольное) от теплонасосной установки с газомоторным приводом компрессора. Источником низкопотенциальной теплоты является вода расходом 66 м³/час из скважины. При утилизации теплоты дымовых газов общая тепловая мощность установки составляет 630 кВт. Мощность газового двигателя равна 115 кВт, теплопроизводительность теплового насоса 434 кВт. Срок окупаемости капитальных вложений в такую систему теплоснабжения 5 лет [6].

Последние 20 лет в Европе прошли под знаком технического совершенствования и экономического стимулирования применения тепловых насосов. Их энергетическая и экологическая эффективность учитывается странами при реализации Директив ЕС, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и увеличение доли энергии из возобновляемых источников, согласно утвержденной в ноябре 2010 г. «Энергетической стратегии 2020» (ЭС2020).

Наряду с тиражированием ранее апробированных систем [2, 3, 4, 5, 6] началось массовое использование теплоты сточных вод и наружного воздуха на базе новых конструкций тепловых насосов [7, 8, 9].

Законодателями в области использования теплоты сточных вод является Швейцария, где была разработана система *Feka*. В этой системе, включающей самоочищающиеся водяные фильтры, баки-аккумуляторы и автоматические промывные устройства, эффективно утилизируется теплота сточных вод или на выпусках зданий или в каналах наружной канализационной сети. На сайте фирмы *FEKA-Energiesysteme AG* приведены примеры эксплуатируемых систем [10].

Разработанные в последнее десятилетие тепловые насосы на рабочих агентах R290 (пропан) и CO₂, обеспечивают техническую возможность отбора теплоты наружного воздуха до минус 25⁰С и широко применяются в странах западной Европы и Скандинавии [7, 8, 9, 11, 12].

1.2.2. Опыт стран Восточной Европы

В последнее десятилетие тепловые насосы начали активно устанавливаться для теплоснабжения многоэтажных зданий в Польше. В основном в качестве источника низкопотенциальной теплоты используется подземные воды и грунт [13].

На основе использования теплоты воды из скважин установлены тепловые насосы «*HIBERNATUS*»: типа «вода-вода» тепловой мощностью 260 кВт для отопления и горячего водоснабжения 10-ти этажного 60-ти квартирного жилого дома в Гданьске (2006 г.); тепловой мощностью 57,5 кВт для горячего водоснабжения жилого дома 1000м² с бассейном в Варшаве (2002 г.); тепловой мощностью 34,2 кВт для горячего водоснабжения жилого дома 900 м² в Варшаве (2003 г.); для теплоснабжения и охлаждения (летом) жилого комплекса площадью 2000 м² в г. Лодзь (2006 г.) применены тепловые насосы «вода-вода» тепловой мощностью 133 кВт [14].

Тепловыми насосами «*HIBERNATUS*» тепловой мощностью 80,4 кВт используется теплота грунта (теплообменники в траншее) для круглогодичного горячего водоснабжения жилого дома 1800 м² в г. Пясечно (2012 г.), а в г. Отвоцк (2012 г.) тепловыми насосами 66,2 кВт - для круглогодичного горячего водоснабжения и охлаждения летом жилого дома 1400 м² [14].

Тепловые насосы фирмы *NIBE* (тепловая мощность 3х60 кВт) с использование теплоты грунта установлены в 2009 г. в г. Леба (теплообменники длиной 3000 м в скважинах) для отопления и горячего водоснабжения двух 55-ти квартирных жилых домов (5000 м²). Капитальные вложения в теплонасосную установку, включая теплообменники, буферные емкости, скважины, составили 400 тыс. долларов. На строительство жители взяли кредит на пять лет в банке *BISE* [9].

С использованием теплоты наружного воздуха от тепловых насосов фирмы *Danfoss* осуществляется отопление и горячее водоснабжение 30-ти квартирного жилого дома (1100 м²) в пригороде г. Лодзь. Установлен каскад из шести тепловых насосов суммарной тепловой мощностью 90 кВт. Капитальные вложение на установку тепловых насосов составили около 100 тыс. долларов [15].

1.2.3. Опыт России и Украины

Началось применение тепловых насосов для теплоснабжения многоэтажных жилых зданий в России и Украине.

В 2001 г. в московском микрорайоне Никулино-2 введены в строй два 17-ти этажных 82-х квартирных жилых дома. Расчетное количество жителей 292. Внедрена система горячего водоснабжения здания на основе теплообменника-утилизатора сточных вод и тепловых насосов, использующих низкопотенциальное тепло грунта (100 кВт) и вентиляционных выбросов (110 кВт). Тепловая нагрузка системы горячего водоснабжения – 321 кВт [16].

В Хабаровске построен экспериментальный дом, в котором установлены тепловые насосы, использующие низкопотенциальную теплоту земли для нужд кондиционирования, гелиоустановки для горячего водоснабжения, а также предусмотрена рекуперация теплоты сбросного воздуха в системах вентиляции. Первая очередь дома (общая площадь 1500 м²), состоящая из 8-ми квартир, сдана в эксплуатацию в 2007 году, вторая (500 м²) – в конце 2010 года. С начала эксплуатации применяемые в нем инновационные технологии проходят «обкатку» и уже получены некоторые результаты, позволяющие оценить их эффективность: в 2009 году жильцы данного дома заплатили за отопление на 60% меньше, чем жильцы в аналогичной по площади квартире типового дома, не оснащенного общедомовым прибором учета тепловой энергии [17].

На Украине (г.Киев) в здании аспирантов КиевЗНИИЭП в 1998 году установлен тепловой насос для горячего водоснабжения в летний период, приемник теплоты атмосферного воздуха, интенсифицированный теплообменник системы горячего водоснабжения с регуляторами температуры и воздухоохладитель в системе теплового насоса [18].

В 2006 году в систему теплонасосного горячего водоснабжения планировалось включить сточно-гликолевые теплообменники и вертикальные грунтовые теплоприемники. Конфигурация существующей канализационной системы здания определила возможность установки в техническом подполье на прямых участках канализационных выпусков двух сточно-гликолевых теплообменников длиной 4 метра каждый с уклоном 0,02, соответствующим уклону замененных канализационных трубопроводов. Вертикальные грунтовые теплоприемники представляют собою заглубленные в грунт петли, выполненные из полиэтиленовых (РЕХ-а) трубопроводов диаметром 16x2,2 мм длиной 3 метра. Используемые теплообменники были предоставлены компанией Аква-Пекс, эксклюзивным представителем израильской компании Голан Пластик Продактс в Украине. Трудоемкость ручного бурения скважин в существующем техническом подполье высотой 1,7 метра исключает возможность устройства более глубоких грунтовых теплообменников. Однако в связи с тем, что скважины эти находятся под зданием вне зоны активного воздействия низких наружных температур, можно предположить, что отбор теплоты грунта будет достаточно интенсивным по всей длине петли. Всего на площади около 80 м установлено 60 петель с шагом 1,2 метра. Общая длина трубопроводов грунтового теплообменника - 360 метров. Над поверхностью грунта петли обвязаны стальными трубопроводами, образующими этиленгликолевый циркуляционный контур. Испаритель теплового насоса впервые включен в гликолевый циркуляционный контур. Это позволит

увеличить продолжительность работы теплового насоса в течение года. Прежде при понижении температуры охлажденной воды ниже $+5^{\circ}\text{C}$ автоматика безопасности выключала компрессор, и в относительно холодные сентябрьские ночи вода не подогревалась. Теперь в холодные дни лета тепловой насос будет отнимать тепло не от прохладного атмосферного воздуха, а от теплых стоков и от грунта [18].

В КиевЗНИИЭПе разработан перспективный экспериментальный проект жилого дома, намеченный к реализации в Оболонском районе г. Киева [19]. Проект предполагает автономное обеспечение жилого дома тепловой энергией, вырабатываемой тепловыми насосами, использующими низкопотенциальную теплоту из четырех источников: наружного воздуха; вытяжного воздуха; сточных вод и грунта, расположенного под зданием. Приемником теплоты атмосферного воздуха станет полый металлический купол над кровлей. В экспериментальном доме вентиляция будет механической и регулируемой, а удаляемый вентилятором вытяжной воздух будет отдавать тепло тепловому насосу. Предполагается разделить систему бытовой канализации таким образом, чтобы условно чистые стоки протекали по одним трубопроводам, а фекальные — по другим и, не нарушая обычного самотечного движения, установить на пути стоков теплообменники-утилизаторы. Четвертая часть необходимого для дома тепла может быть отобрана от грунта. Для этого в полу подвальной части здания будут заложены змеевики, которые будут выполнять роль теплоприемников. Создатели экспериментального дома уверены, что, несмотря на то, что он будет насыщен нетрадиционными инженерными системами, стоимость одного квадратного метра общей площади в нем не превысит обычного уровня, в то время как затраты жителей на эксплуатацию будут уменьшены на 25-30% по сравнению с другими многоэтажками.

1.2.4. Выводы

Краткий ретроспективный обзор зарубежного опыта эксплуатации тепловых насосов для теплоснабжения многоэтажных жилых домов подтверждает техническую возможность и энергетическую эффективность применения тепловых насосов, а при определенных условиях и рентабельность даже при действующих ценах на электрическую энергию и топливо.

Применяются, в основном, тепловые насосы с электрическим приводом компрессоров, использующих теплоту грунта, сточных вод, поверхностных и подземных вод, наружного воздуха. Теплота вытяжного воздуха используется редко.

К сожалению, отсутствие открытой информации не позволило провести анализ состояния внутридомовых инженерных систем, в которые интегрируются тепловые насосы. Только на основании собственного опыта участия в работах по применению тепловых насосов разных модификаций для теплоснабжения и отдельно для горячего водоснабжения многоэтажных жилых зданий можно констатировать, что на этих объектах системы отопления проектируются с пониженными параметрами теплоносителей или существующие системы вентиляции с естественным побуждением переводятся в другой температурный режим (эффект теплоизоляции зданий). При применении тепловых насосов только на горячее водоснабжение они комплектуются баками-аккумуляторами горячей

воды с погружными теплообменниками и электроводонагревателями. Устанавливаются тепловые насосы, как правило, в тепловых пунктах зданий.

1.3. Опыт применения тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий и жилой застройки в проектной практике Республики Беларусь

До настоящего времени в Беларуси тепловые насосы для теплоснабжения отдельных многоэтажных зданий не устанавливались. Одной из причин такого положения является соотношение цен на электроэнергию и топливо, а соответственно, на тепловую энергию от котельных ТЭЦ, т.к. эффективность тепловых насосов тем выше, чем дешевле электрическая энергия и дороже топливо.

Вместе с тем, специалистами республики накоплен опыт технико-экономического обоснования целесообразности применения тепловых насосов для теплоснабжения отдельных многоэтажных зданий и жилой застройки, как в составе градостроительных проектов, так и задельных (не финансируемых) работ. Известны теоретические работы научно-исследовательского плана, которые проводились ранее УП «БелНИИП градостроительства» и ведутся сейчас ГП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.» [20, 21].

В таблице 1. систематизированы общие сведения о работах, выполненных автором. Основными причинами их нерезультативности были высокие тарифы на электроэнергию (как для электродкотлов), отсутствие средств у заинтересованных организаций и отсутствие государственной поддержки. Положительным был опыт технического обоснования предложения, который в последующем был использован при проектировании действующих теплонасосных установок для теплоснабжения головных сооружений системы водоснабжения и канализации, предприятий, школ, торговых комплексов и других объектов.

Таблица 1: Общие сведения об объектах применения тепловых насосов для теплоснабжения многоэтажных жилых домов и жилой застройки

Объект	Предпосылки применения	Заинтересованные организации		Проектные предложения
		Заказчик	Проектная организация	
Многоэтажная жилая застройка в Новогрудке	Экономия ТЭР	Гродненский облисполком	БелНИИП градостроительства	Использование теплоты очищенных сточных вод, планируемых для технического водоснабжения города
Поселок Майский в Могилевской области	Высокие эксплуатационные расходы на теплоснабжение от поселковой электродкотельной	Могилевский ЖКХ		Замена электрических котлов на тепловые насосы, использующие теплоту подземных вод

Объект	Предпосылки применения	Заинтересованные организации		Проектные предложения
		Заказчик	Проектная организация	
Микрорайон в Слуцке	Экономия ТЭР	Сахарный завод	Минск-граждан-проект	Применение тепловых насосов для горячего водоснабжения микрорайона за счет теплоты очищенных сточных вод
Группа жилых домов в г.п. Чашники	Недостаточная мощность котлов в коммунальной котельной, протяженная теплосеть, подача горячей воды по графику	Чашнинский райисполком	БелНИИП градостроительства	Установка для горячего водоснабжения тепловых насосов «воздух-вода» на плоских крышах с баками-аккумуляторами горячей воды в подвалах зданий
Жилой дом в г.Береза	Теплоснабжение жилого дома от встроенной электрокотельной			Установка теплового насоса, использующего теплоту воды из водопроводной насосной станции
Жилой дом по ул.Торговой в г.Минске	Проблемы с теплоснабжением в центре города	Мингорисполком	Минскпроект	Установка для теплохладоснабжения теплового насоса, использующего теплоту подрусловой воды р.Свислочь
Жилой дом в пос. Озерцо, Минский район	Экономия ТЭР			Применение тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения подъездов за счет теплоты грунта (зонды)
Жилой дом в г.Червене	Перебои с горячим водоснабжением от производственной котельной	Автодор	БелНИИП градостроительства	Установка для горячего водоснабжения тепловых насосов «воздух-вода» с баками-аккумуляторами горячей воды в подвалах зданий. ГВ обеспечивается при температурах наружного воздуха выше минус 5 ⁰ С

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

2.1. Общие положения

Рекомендации предназначены для специалистов и организаций, проектирующих энергоактивные многоэтажные жилые здания с применением тепловых насосов в качестве источников теплоснабжения этих зданий.

Актуальность разработки рекомендаций обусловлена:

- существующей практикой проектирования многоэтажных жилых зданий с подчиненной ролью систем инженерного обеспечения;
- традиционным подходом к решению задач инженерного обеспечения зданий, базирующимся на централизации теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения;
- отсутствием апробированных технических решений по интеграции тепловых насосов в системы централизованного теплоснабжения от котельных и ТЭЦ;
- отсутствием отечественной практики автономного теплоснабжения жилых зданий от домовых топливных котельных с тепловыми насосами;
- отсутствием практики проектирования инженерных систем энергоактивных жилых зданий с тепловыми насосами как теплоисточниками;
- недостаточным учетом ресурсосберегающей возможности параллельного проектирования функционально взаимосвязанных архитектурно-строительных решений зданий и их инженерных систем.

Разработка проектной документации на строительство энергоактивных жилых зданий осуществляется с соблюдением требований действующих нормативных документов. Процесс проектирования должен учитывать требования п.11.2 СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и включать этап технико-экономического обоснования планируемого комплекса ресурсосберегающих решений с их увязкой с другими архитектурно-строительными и инженерными решениями зданий.

В дополнение к традиционным требованиям о составе проектной документации СНБ 1.03.02-96 рекомендуется включать:

В состав «Пояснительной записки» разделы:

- Источники низкопотенциальной теплоты;
- Обоснование принимаемых энергосберегающих инженерных решений;
- Техничко-экономические и экологические показатели источника теплоснабжения.

В состав «Графической части» чертежи:

- Структурная схема системы теплоснабжения жилого здания;
- Планы и схемы внутридомовых сетей низкопотенциальной теплоты;
- План территории с размещением сетей и сооружений источников низкопотенциальной теплоты.

2.2. Особенности проектирования архитектурно-строительной части зданий с учетом применения тепловых насосов

Как правило, решения по выбору источника теплоснабжения с тепловыми насосами в качестве основного теплогенерирующего оборудования (ТНУ) влияют на базовые архитектурно-строительные решения отдельных фрагментов зданий (крыша, чердачные помещения, технический этаж, фундаменты и др.). Определяющим является также вид используемого источника низкопотенциальной теплоты (см. раздел 1). Решения принимаются с учетом обеспечения требований надежности и экономичности строительства и эксплуатации жилого здания в целом.

Из крышных ТНУ необходимо предусматривать выход непосредственно на кровлю и далее выход из здания по подъездной лестнице. Если в состав ТНУ входят котлы на природном газе, то следует предусматривать легкосбрасываемые ограждающие конструкции.

Для встроенных ТНУ, если габариты устанавливаемого оборудования больше размеров дверных проемов, следует предусматривать монтажные окна. Высота помещений с оборудованием должна быть не менее 2,5 м. Ограждающие конструкции помещений должны выбираться с учетом негативного эффекта многократного отражения звуковых волн.

Тепловые насосы необходимо устанавливать на специальных виброизолирующих основаниях (ножки, прокладки и др.), а трубопроводы присоединять через гибкие демпфирующие вставки.

2.3. Источники низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов

В зависимости от градостроительных условий района расположения проектируемых энергоактивных жилых зданий источниками низкопотенциальной теплоты (НПИТ) для их теплоснабжения могут быть: вытяжной воздух; наружный воздух; грунт; сточные воды; подземные и поверхностные воды; дымовые газы собственной крышной котельной на природном газе; вторичные тепловые потоки промышленных предприятий и объектов коммунального хозяйства; теплоноситель существующей сети теплоснабжения района от ТЭЦ. Возможно использование теплоты, теряемой наружными ограждениями зданий, при условии, что наружные стены, полы и перекрытия выполняются с воздушными теплоизолированными каналами, по которым циркулирует воздух.

В общем случае возможность и эффективность использования различных НПИТ определяется величиной их теплового потенциала, который

классифицируется на расчетный - используемый без ущерба для окружающей среды в течение часа, и располагаемый - используемый за год.

Расчетный тепловой потенциал НПИТ должен быть, как минимум, равен 65% теплопроизводительности тепловых насосов. Во всех случаях, чем стабильнее в течение суток тепловой потенциал НПИТ и выше его температура, тем эффективнее применение тепловых насосов.

В таблице 2 приведены общие условия использования некоторых видов НПИТ.

Таблица 2: Общие условия использования некоторых видов НПИТ

Вид НПИТ	Располагаемый тепловой потенциал	Температура, °С		Схема отбора низкопотенциальной теплоты
		исходного	охлажденного	
Вытяжной воздух	Ограниченный	+18...+22	По расчету	Непосредственный или с промежуточным теплоносителем
Наружный (атмосферный) воздух	Неограниченный	+35...-30	Не нормируется	Непосредственный
Грунт	Неограниченный	+6...+12	Не нормируется	С промежуточным теплоносителем
Сточные воды	Ограниченный	+15...+30	+5	Непосредственный или с промежуточным теплоносителем
Грунтовая вода	Ограниченный	+8	+5	Непосредственный отбор теплоты

Вытяжной воздух как НПИТ для тепловых насосов может рассматриваться при оборудовании жилых зданий централизованной системой вытяжной вентиляции как при отсутствии установок рекуперации его теплоты, так и совместно при соответствующем обосновании.

Целесообразно рассматривать варианты использования теплоты вытяжного воздуха в комбинации и с другими видами НПИТ (сточные воды, дымовые газы, наружный воздух) для круглогодичного горячего водоснабжения.

Наружный воздух является самым распространенным и доступным НПИТ. Эффективность использования его теплового потенциала ограничена значительной амплитудой колебания температуры в течение суток, отопительного периода и года.

Кроме того, воздух как теплоноситель имеет низкое значение коэффициента теплоотдачи, что требует большой поверхности теплообменных аппаратов (ТОА). При $t_{н.в.} < 0^{\circ}\text{C}$ на поверхности ТОА появляется иней, что снижает коэффициент теплопередачи и, соответственно, тепловую эффективность ТОА. Как правило, для использования теплоты наружного воздуха применяются тепловые насосы типа «воздух-воздух» или «воздух-вода».

Рассматривать наружный воздух как НПИТ целесообразно в системах бивалентного отопления с оценкой возможности автономной работы тепловых насосов и круглогодичного горячего водоснабжения.

Грунт верхних слоев земли, так же как и наружный воздух, представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости, аккумулирующий энергию Солнца. Эффективность использования теплоты грунта зависит, главным образом, от его температурного режима в годовом цикле, состава и влажности, температуры воздуха и др. Грунт имеет высокую термическую устойчивость, которая повышается с глубиной. В среднем для условий республики годовая амплитуда температуры грунта на глубине 0,8 м около $+5...+10^{\circ}\text{C}$, на глубине 1,5 м – $+2...+7^{\circ}\text{C}$.

Основные теплофизические параметры грунтов, необходимые для расчета систем использования их теплоты, приведены в таблице 3.

Таблица 3: Теплофизические параметры грунта

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

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

Методики инженерных расчетов систем отбора теплоты грунта приведены в специальной литературе.

Сточные воды жилых зданий представляют собой полидисперсную жидкость с органическими и минеральными включениями. Их поступление в наружную канализационную сеть неравномерно в течение суток и года. График отведения соответствует (с некоторым запозданием) графику водопотребления с характерными утренними и вечерними пиками и ночными провалами.

Объемы и температура сточных вод, в общем случае, зависит от уровня инженерного благоустройства жилого дома, температуры водопроводной воды, конструктивного исполнения и режимов работы внутридомовой канализационной сети. На выпусках зданий их температура изменяется в интервале от 15°C до 35°C при среднесуточной величине 24°C .

Определено, что снижение температуры сточных вод в стояках жилых зданий при их контакте с эжектируемым в стояки наружным воздухом и вытяжным воздухом из наружной канализационной сети не превышает 2°C .

Потери теплоты сточных вод во внутридомовых трубопроводах незначительны (около 1%). Поэтому, с требуемой для расчета систем утилизации достоверностью, можно принимать значение среднесуточной температуры сточных вод на выпусках жилых зданий равной 21⁰С. При применении тепловых насосов сточные воды можно охладить до температуры 3⁰С. В расчетах следует учитывать отличие теплофизических свойств сточных вод и водопроводной воды.

Следует избегать известной технической сложности утилизации теплоты бытовых сточных вод, обусловленной их загрязненностью и биологической агрессивностью, при их разделении на два потока: от ванн, умывальников и кухонь и от туалетов.

Основные элементы систем утилизации: теплообменник-утилизатор, резервуар-аккумулятор сточных вод, тепловые насосы и бак-аккумулятор горячей воды. Системы утилизации отличаются конструктивным исполнением резервуара-аккумулятора сточных вод, способами отбора теплоты и др.

Реализуемы два принципиально разных способа утилизации теплоты сточных вод: посредством теплопередачи нагреваемой среде через разделяющие их стенки и теплообменом с воздушным потоком вентиляционного воздуха канализационной сети при непосредственном контакте этого воздуха. В качестве нагреваемой среды может быть вода систем горячего водоснабжения, теплоноситель промежуточного контура, рабочий агент тепловых насосов. Наиболее распространен способ утилизации посредством теплопередачи с применением теплообменников проточного или погружного типа с трубчатой и листовой поверхностью.

Подземные воды являются НПИТ с относительно постоянным тепловым потенциалом. Их температура во многом зависит от местных условий и определяется глубиной залегания, расстоянием от поверхностных водотоков и др. Эффективность использования теплоты грунтовых вод для теплоснабжения с применением тепловых насосов повышается, если одновременно требуется водопонижение территории. Поэтому данные о температуре, расходах и составе подземных вод должны быть уточнены в рамках гидрогеологического исследования площадки района. Например, в районе Бреста температура подземных вод на глубине 25 м составляет 8,7⁰С, на глубине 50 м – 9,0⁰С, на глубине 100 м – 9,5⁰С, на глубине 125 м – 10,0⁰С.

2.4. Особенности проектирования инженерных систем многоэтажных жилых зданий с учетом применения тепловых насосов

2.4.1. Проектирование источников теплоснабжения на основе тепловых насосов

Значения общих показателей жилых зданий (форма, этажность, секционность, ориентация, число квартир, количество жителей и др.) и условия их размещения в плане жилого района определяют тепловую нагрузку здания, режимы теплопотребления.

Тепловые насосы конструктивно аналогичны холодильным машинам. Современные типы тепловых насосов, снижая в испарителе от 2⁰С до 10⁰С температуру теплоносителя НПИТ, могут в конденсаторе нагревать теплоноситель сети теплоснабжения до 85⁰С.

Типы и количество тепловых насосов, их мощность в составе ТНУ зависят от структуры тепловой нагрузки жилого здания (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение), типа системы отопления (напольное, радиаторы), наличия и параметры НПИТ.

Тепловые насосы могут быть как единственным источником теплоснабжения, т.е. покрывать 100% тепловой нагрузки жилого здания, так и работать в комбинации с другим теплогенерирующим оборудованием. В бивалентном режиме работы тепловая мощность тепловых насосов рассчитывается на покрытие от 60% до 75% расчетной тепловой нагрузки здания, т.е. на покрытие базовой части суточного графика. Включение тепловых насосов по каскадной схеме обеспечивает максимальное использование их тепловой мощности, большую управляемость и экономичность работы. Расчеты по выбору количества и единичной мощности тепловых насосов рекомендуется выполнять только по данным, подтвержденным заводами-изготовителями или их представителями.

В целом, выбор проектного решения по структуре ТНУ и виду используемых НПИТ определяется на основании теплогидравлических и технико-экономических расчетов с учетом эксплуатационных параметров всех стыкуемых инженерных систем. Например, следует учитывать, что при использовании теплоты грунта вероятны значительные изменения температурного поля в области прокладки грунтовых трубопроводов, а теплового потенциала сточных вод достаточно для создания автономной системы горячего водоснабжения уже при температуре исходной водопроводной воды около 8⁰С.

В зависимости от этажности и других архитектурно-строительных решений жилого дома, мощности теплогенерирующего оборудования и вида источника низкопотенциальной теплоты ТНУ могут размещаться на крышах зданий (только тепловые насосы, тепловые насосы + котлы на природном газе), на чердаках и в технических подпольях (только тепловые насосы, тепловые насосы + электрические котлы, тепловые насосы + тепловой пункт сети централизованного теплоснабжения).

Ниже приведены возможные варианты источников теплоснабжения жилых зданий с применения тепловых насосов. Принимается, что во всех вариантах вентиляционная тепловая нагрузка покрывается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха с догревом приточного воздуха теплоносителем системы отопления в периоды стояния температур наружного воздуха близких к расчетным (для г.Минска – минус 24⁰С).

Источник – сеть централизованного теплоснабжения + тепловые насосы

Теплоисточники такого типа комплектуются пластинчатыми или трубными теплообменными аппаратами (ТОА), циркуляционными насосами, баками-аккумуляторами горячей воды с погружными теплообменниками-доводчиками и тепловыми насосами «воздух-вода», использующими теплоту наружного воздуха

(вариант А) или тепловыми насосами «антифриз - вода», использующими теплоту грунта (вариант Б) или сточных вод (вариант В).

Теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается:

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

ТНУ размещаются в технических подпольях зданий и блокируются с индивидуальными тепловыми пунктами.

Источник (ТНУ) – собственная котельная + тепловые насосы

ТНУ конструктивно выполняются встроенными в здания или размещаются на крышах и комплектуются тепловыми насосами «воздух-вода» (вариант Г) и газовыми котлами, ТОВА, циркуляционными насосами, баками-аккумуляторами горячей воды и блоком глубокой утилизации теплоты дымовых газов. Теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается на покрытие среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения, а котлов на природном газе – только отопительной нагрузки.

При размещении ТНУ на крышах зданий рекомендуется рассматривать целесообразность применения каталитические газовые котлы с низким шумом и отсутствием вибрации на всех режимах работы.

Источник (ТНУ) – тепловые насосы «воздух-вода» + электрические котлы.

ТНУ комплектуется ТОВА, циркуляционными насосами, баками-аккумуляторами горячей воды с погружными электроводонагревателями-доводчиками и тепловыми насосами «воздух-вода», использующими теплоту наружного воздуха и вытяжного воздуха - гибридные системы (вариант Д). Теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается на покрытие среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения и базовой части отопительной нагрузки (от 60% до 75% ее расчетного значения), а электрических котлов – пиковой части отопительной нагрузки и догрев горячей воды до нормируемых температур в течение периода их работы.

ТНУ могут размещаться на крышах и чердаках зданий. Баки-аккумуляторы горячей воды предпочтительно устанавливать в технических подпольях.

Теплоисточник (ТНУ) – тепловые насосы «антифриз-вода» или «вода-вода» + электрические котлы.

ТНУ размещаются в технических подпольях зданий и комплектуется ТОВА, циркуляционными насосами, баками-аккумуляторами горячей воды с погружными электроводонагревателями-доводчиками и тепловыми насосами «антифриз-вода», использующими теплоту грунта или поверхностных вод (вариант Е) или теплоту подземных вод «вода-вода» (вариант Ж). Теплопроизводительность тепловых насосов рассчитывается на покрытие

среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения и базовой части отопительной нагрузки (60% до 75% ее расчетного значения), а электрических котлов – пиковой части отопительной нагрузки и догрев горячей воды до нормируемых температур в течение периода их работы.

В вариантах Д, Е и Ж тепловая мощность электрических котлов рассчитываются на поддержание в отапливаемых помещениях комфортных условий на время ликвидации отказа. Учитывая высокую степень теплоустойчивости энергоактивных зданий, можно прогнозировать, что рассчитанная таким способом мощность электродкотлов достаточна для поддержания температуры не ниже 16°C в течение не менее 2-х суток.

В вариантах Д, Е и Ж тепловая мощность электрических котлов рассчитываются на поддержание в отапливаемых помещениях комфортных условий при возможных отклонениях в работе тепловых насосов от расчетных параметров, вызванных изменениями в параметрах НПИТ.

2.4.2. Проектирование внутридомовых инженерных систем

Отопление. Принимаемые при проектировании схемы и конструкции систем отопления должны обеспечивать максимальную их энергетическую эффективность и управляемость. Доказано, что лучше всего этим требованиям соответствуют системы напольного и радиаторного отопления с количественным регулированием тепла у потребителей и качественным на теплоисточниках с применением термостатической арматуры и современного насосного оборудования (класс Е). Целесообразно рассматривать вариант заполнения систем теплоснабжения и контуров ТНУ химически обработанной водой или конденсатом с установкой блока водоподготовки.

Вентиляция. Как правило, для энергоактивных многоэтажных жилых зданий применяются системы принудительной приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вентвыбросов. При необходимости догрев приточного воздуха до нормируемых температур может обеспечиваться теплоносителем системы отопления или электрическими доводчиками.

Горячее водоснабжение. При применении тепловых насосов не требуется изменений в установившихся подходах к проектированию внутридомовых систем горячего водоснабжения. Особенностью является выбор расчетной температуры горячей воды, необходимость применения баков-аккумуляторов горячей воды, сглаживающих неравномерность ее суточного потребления.

При применении тепловых насосов целесообразно снижение расчетной температуры горячей воды до 45°C, т.к. на практике более 97% горячей воды потребляется с температурами ниже 45°C. Санитарно-гигиенические требования к температуре горячей воды, требуемые для мытья посуды, могут быть обеспечены установкой местных электроводонагревателей-доводчиков, применение которых, учитывая эпизодический характер процесса, не потребует учета электроводонагревателей как дополнительной электрической нагрузки. Известно, что для эмульсирования и удаления жиров необходима температура воды не менее 70°C, чего не обеспечивают существующие системы.

Водоснабжение. Дополнительными требованиями к проектированию систем хозяйственно-питьевого водоснабжения является учет ТНУ как потребителя воды, а при применении ТНУ, использующих в качестве НПИТ грунтовые или поверхностные воды – рассматривать возможности их подачи на не питьевые нужды (туалеты, мытье полов).

При расчетной температуре горячей воды в системе горячего водоснабжения равной 45°C в расчетах систем водоснабжения следует учитывать увеличение расходов водопроводной воды.

Канализация. При проектировании помещения с оборудованием ТНУ рассматривается как источник сточных вод. Блоки утилизации их теплоты располагаются, как правило, в технических подпольях зданий.

Для вариантов с использованием теплоты потока сточных вод от ванн и умывальников рекомендуется создание двухтрубной внутридомовой системы канализации. Стояки отведения этих потоков могут выполняться не вентилируемыми. Сточные воды после туалетов по вентилируемым стоякам отводятся непосредственно в наружную канализационную сеть.

Электроснабжение. Система электроснабжения здания рассчитывается с учетом ТНУ как электроприемника 2 категории. Напряжение сети 0,4 кВ. Основным электропотребляющим оборудованием ТНУ являются компрессоры тепловых насосов и электрические котлы (при их установке). Расчетной является мощность, потребляемая одновременно оборудованием ТНУ в период максимального теплотребления здания (отопления, вентиляции и горячего водоснабжения). Сечение кабельных линий и защитное оборудование выбирается с учетом установки паспортных значений $\cos \varphi$ тепловых насосов и установкой в них блоков «мягкий пуск». Распределительный щит 0,4 кВ рекомендуется размещать в помещении ТНУ и запитывать от вводного устройства 0,4 кВ здания отдельными кабельными линиями. Тип системы заземления – TN-S. Систему защитного заземления токопроводящих частей оборудования ТНУ рекомендуется предусматривать посредством применения РЕ-проводников в составе питающих кабелей.

Газоснабжение. При применении в составе ТНУ котлов на природном газе проектирование их газоснабжения должно осуществляться в соответствии с требованиями СНБ 4.03.01-98. В крышных ТНУ предусматривается установка блоков глубокой утилизации дымовых газов с отведением и обеззараживанием конденсата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обзор зарубежного опыта эксплуатации тепловых насосов для теплоснабжения многоэтажных жилых домов подтверждает их техническую и энергетическую эффективность, а при определенных условиях и рентабельность.

Применяются тепловые насосы разных типов и тепловой мощности, что обеспечивает возможность использования различных потоков источников низкопотенциальной теплоты и отсутствие проблем с размещением оборудования в габаритах жилых зданий.

В качестве источников низкопотенциальной теплоты используются, в основном, грунт, наружный (атмосферный) воздух, сточные воды, подземные и поверхностные воды.

2. В Республике Беларусь отсутствуют источники теплоснабжения многоэтажных жилых домов на основе тепловых насосов, использующих низкопотенциальную теплоту вторичных и природных теплоту, хотя накоплен опыт обоснования их применения. До настоящего времени их внедрение сдерживается из-за имеющийся место перекося цен на тепловую и электрическую энергию, отсутствия необходимой нормативно-законодательной базы и поддержки государственных органов власти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Surveyor, 1979, v.153, N4556, p.18-19.
2. H&Y Engineer, 1986, vol.59, N678, p.8.
3. Heizung Klima, 1987, N1, S.48-51.
4. Heizung Klima, 1986, N9, S.31.
5. Sanitar-und heizungstechnik, 1982, N11, S.740-742.
6. Klima-Kalte-Heizung, 1985, N6, S.245-249.
7. www.mayekawa.com
8. www.octopus.pl
9. www.nibe.pl
10. www.feka.ch
11. Каталог фирмы «Stiebel-eltron».
12. Каталог фирмы «Danfoss».
13. R.Tytko. Odnowialne zrodla energii. Warszawa, 2009.
14. www.hibernatus.pl
15. www.pompyciepla.danfoss.com
16. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино 2. АВОК, № 4, 2002.
17. Канев С.Н. Энергоэффективный дом в Хабаровске. АВОК, №5, 2011.
18. www.aquarex.com.ua
19. www.zn.ua
20. Разработать прогноз и градостроительные рекомендации по дальнейшему совершенствованию территориальной организации Белорусской ССР. УП «БелНИИПградостроительства», 1985.
21. Данилевский Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий. Минск, 2011.