

# **ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ**

**Информационно-методическое издание**

УДК 504.06+338  
ББК 28.080+65.28я43  
Н 20

Н 20           Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре.  
Информационно – методическое издание. — М.: Издательство «Перо», 2016. — 204 с.

ISBN 978-5-

Издание посвящено обзору существующих проектов и перспектив применения теплонасосных установок в промышленности и коммунальной инфраструктуре. Приведены общие принципы работы тепловых насосов, краткая история их развития, проблемы и «узкие места», рассмотрены реализованные проекты в разных отраслях экономики.

Тепловые насосы входят в «Перечень объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности» (утв. постановлением Правительства РФ от 17 июня 2015 г. № 600 [3]). Кроме того, «создание комплекса технологического оборудования и разработка типовых технических решений по использованию тепловых насосов в системах теплоснабжения в крупных городах и городских образованиях» выделены в качестве одного из приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Теплоснабжение» в Энергетической стратегии России на период до 2030 года [1].

В России существует серьезное отставание по количеству внедренных проектов от большинства развитых стран при том, что потенциал использования тепловых насосов достаточно велик, особенно в южных регионах, где они могут использоваться и для хладоснабжения. В крупных городах, где развито централизованное теплоснабжение, тепловые насосы не конкурируют с ним, а на основе схемных решений способны повысить эффективность систем. В удаленных и небольших поселениях тепловой насос может показать более высокую эффективность, чем простое сжигание привозного топлива или использование электрообогрева.

В работе показаны принцип действия тепловых насосов, приведена история их развития. Рассмотрены и оценены возможные области и схемы применения тепловых насосов, дающие новые возможности. Описаны примеры реализованных проектов и приведен перечень отечественных и зарубежных производителей. На этой основе заинтересованные лица и организации могут осуществлять подбор технического решения своего проекта на основе теплонасосных установок, производить расчеты их технологической и экономической эффективности.

УДК 504.06+338  
ББК 28.080+65.28я43  
ISBN 978-5-906927-01-9

© Авторы статей

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
И КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ.  
Информационно – методическое издание

## Оглавление

Термины и определения .....	6
Принятые сокращения .....	9
Предисловие .....	11
Введение .....	13
<b>1. ТЕПЛОВОЙ НАСОС КАК ИНЖЕНЕРНАЯ СИСТЕМА .....</b>	<b>15</b>
1.1. Принцип действия теплового насоса.....	15
1.2. Хладагенты.....	19
1.3. Характеристики источников низкотемпературной тепловой энергии .....	22
1.4. Классификация и краткий обзор тепловых насосов, нашедших практическое применение .....	24
1.4.1. Классификация тепловых насосов.....	24
1.4.2. Компрессионные тепловые насосы.....	33
1.4.3. Сорбционные тепловые насосы .....	36
1.5. Энергетическая эффективность тепловых насосов.....	40
<b>2. ЭВОЛЮЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ.....</b>	<b>48</b>
2.1. История создания тепловых насосов .....	48
2.2. Этапы развития тепловых насосов .....	49
1975–1985: годы становления.....	49
1986–1995: крушение рынка и прекращение использования хладагента....	50
1996–2000: восстановление рынка .....	51
2001–2005: взлет рынка и совершенствование продукции .....	51
2006–2016 годы .....	52
<b>3. АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ УСЛОВИЙ .....</b>	<b>58</b>
3.1. История развития ТН в России .....	58
3.2. Анализ низкотемпературных источников теплоты средней полосы России для тепловых насосов.....	59
3.2.1. Солнечная энергия .....	59
3.2.2. Воздух .....	61
3.2.3. Грунтовые воды .....	62
3.2.4. Грунт .....	63
3.2.5. Сбросное тепло .....	66
3.2.6. Ледовый накопитель.....	66

<b>4. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ</b> .....	68
4.1. Отопление и ГВС малоэтажных частных домов.....	68
4.1.1. Схемы применения ТН в малоэтажных частных домах .....	68
4.1.2. Ограничения внедрения ТНУ .....	71
4.1.3. Примеры внедрения .....	72
4.2. Тепло- и холодоснабжение общественных, офисных и промышленных зданий .....	76
4.3. Кольцевые системы с ТНУ .....	78
4.4. Утилизация низкопотенциального тепла неочищенных сточных вод .....	86
4.4.1. Москва .....	86
4.4.2. Набережные Челны .....	88
4.5. Утилизация тепла шахтных вод .....	91
4.5.1. Шахта «Осинниковская».....	91
4.5.2. Город Новошахтинск.....	92
4.6. Применение мощных и высокотемпературных тепловых насосов.....	93
4.7. Юг России .....	95
4.8. Примеры применения ТНУ на транспорте .....	100
4.8.1. Перевод на теплоснабжение с мазутных и угольных котельных на ТНУ отдельных изолированных объектов.....	100
4.8.2. Энергоэффективная система тепло- и холодоснабжения вокзала ....	102
4.8.3. Климатические системы для железнодорожных вагонов .....	102
4.8.4. Система геотермического (геотермального) обогрева стрелочных переводов .....	104
4.8.5. Утилизация тепла, отводимого от технологического оборудования ....	106
4.9. Примеры применения тепловых насосов на промышленных предприятиях в Республике Беларусь .....	108
<b>5. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТНУ С СИСТЕМАМИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ТЭЦ)</b> .....	110
5.1. Использование ТНУ в многоквартирных домах совместно с централизованным теплоснабжением .....	110
5.1.1. Киев .....	110
5.1.2. Москва.....	118
5.2. Подключение ТНУ к обратной тепломагистрали (использование тепловой энергии обратной сетевой воды) .....	119

5.2.1. Технологическое решение .....	119
5.2.2. Пример Барнаула .....	122
5.3. Применение ТНУ у потребителей с ИТП для тепло- и холодоснабжения при централизованном теплоснабжении .....	122
5.4. Совершенствование теплоэнергетических установок, работающих в теплофикационных системах (включение ТНУ в схему ЦТП) .....	126
5.5. Совершенствование теплоэнергетических установок, работающих в теплофикационных системах (включение ТНУ в схему ТЭЦ) .....	128
5.5.1. Использование теплоты конденсации энергетического пара .....	128
5.5.2. Использование теплоты охлаждающей турбины воды .....	131
5.6. Пример совместного использования ТН и пиковых угольных котлов.....	141
5.7. Использование тепловой энергии из систем охлаждения центров обработки данных (ЦОД) на нужды теплоснабжения .....	144
<b>6. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНУ В РОССИИ.....</b>	<b>153</b>
<b>7. ОБЗОР РЫНКА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ .....</b>	<b>156</b>
7.1. Российские и иностранные производители, проектировщики и монтажники тепловых насосов .....	156
7.2. Обзор рынка геотермальных тепловых насосов .....	156
7.3. Популярные европейские модели тепловых насосов и отечественные ТН большой мощности .....	157
<b>8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТНУ .....</b>	<b>158</b>
8.1. Подходы к оценке эффективности проекта с ТНУ.....	158
8.2. Роль государственного регулирования .....	164
8.3. Организационные аспекты проектирования систем с ТНУ .....	166
8.4. Оценка косвенных и системных эффектов применения ТНУ .....	167
<b>9. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>170</b>
<b>10. БИБЛИОГРАФИЯ .....</b>	<b>173</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>180</b>
Авторы и составители .....	204

## Термины и определения

В литературе у различных авторов можно встретить разные обозначения и формулировки одних и тех же понятий. Частично это связано с тем, что появились переводные документы (в первую очередь инструкции и пособия по проектированию) иностранных производителей тепловых насосов, термины в которых отличаются от отечественной традиции.

В настоящее время Росстандарт проводит политику гармонизации национальных стандартов с международными. К примеру, ГОСТ Р 54671-2011 является модифицированным по отношению к европейскому региональному стандарту EN 14511-1:2011.

Использованные в настоящем документе термины и сокращения трактуются следующим образом:

**Тепловой насос** – устройство для производства тепла с использованием обратного термодинамического цикла [ГОСТ 26691-85. Теплоэнергетика. Термины и определения]

**Тепловой насос** – устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдача с низкой температурой к теплоприемнику с высокой температурой; осуществляется с затратой энергии. Рабочие процессы подобны процессам в холодильной машине. [Большой Энциклопедический словарь. 2000]

**Тепловой насос для обогрева помещений** (англ.: heat pump for space heating) – устройство или устройства, помещенное(ые) в корпус и сконструированное(ые) в качестве установки для обеспечения подачи тепла.

Примечания:

1) тепловой насос включает электрическую холодильную систему для нагрева.  
2) тепловой насос может обладать средствами охлаждения, циркуляции, очистки и осушения воздуха. Охлаждение осуществляется путем реверсирования холодильного цикла. [ГОСТ Р 54671-2011 (EN 14511-1:2011) «Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Термины и определения»]

**Теплонасосная установка** – система отопления с помощью теплового насоса. Установка в целом, состоящая из источника тепла и теплового насоса.

**Внешний теплообменник** – теплообменник, передающий тепло или забирающий его из окружающей среды за пределами здания или доступного источника тепла.

**Внутренний теплообменник** – теплообменник, предназначенный для передачи тепла внутрь здания или для передачи тепла для приготовления горячей воды для потребителей, находящихся внутри здания.

Примечание: внутренний теплообменник может использоваться и для удаления тепла. Для кондиционера или теплового насоса работающего в режиме охлаждения – это испаритель. Для кондиционера или теплового насоса работающего в режиме нагрева – это конденсатор. [ГОСТ Р 54671-2011. Кондиционеры, агрегированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Термины и определения]

**Коэффициент полезного действия нагрева** (коэффициент мощности) – отношение теплопроизводительности к полезной потребляемой мощности прибора, выраженное в Вт/Вт, COP

Коэффициент мощности может быть указан только как моментальное значение при определенном рабочем состоянии. Также встречается название «коэффициент преобразования энергии (теплоты)», который выражается как  $\varphi = Q_{\text{п}} / Q_{\text{к}}$

**Коэффициент полезного действия охлаждения** (коэффициент мощности) – отношение общей холодопроизводительности к эффективной потребляемой мощности прибора, выраженное в Вт/Вт, EER

Коэффициент мощности может быть указан только как моментальное значение при определенном рабочем состоянии

**Номинальные условия применения** – номинальные условия, которые сообщают дополнительную информацию о характеристиках агрегата в рамках его рабочего диапазона

**Общая потребляемая мощность** – потребляемая мощность всех компонентов прибора, выраженная в Вт

**Общая холодопроизводительность** – тепло, выделенное из теплоносителя в агрегат за единицу времени, выраженное в Вт

**Парокомпрессионный тепловой насос** – тепловой насос, в котором рабочее тело сжимается компрессором

**Полезная потребляемая мощность** – средняя потребляемая электрическая мощность прибора на протяжении определенного периода времени, выраженная в Вт.

Примечание: полезная потребляемая мощность представляет собой сумму потребляемой мощности:

- компрессора и потребляемой мощности для размораживания;
- всех управляющих, контрольных и защитных устройств прибора;
- подающих устройств, например вентиляторов, насосов, обеспечивающих транспортировку теплоносителей внутри прибора

**Реверсивный режим работы** – при реверсивном режиме работы имеет место обратная последовательность этапов процессе в контуре хладагента, т. е. испаритель работает как конденсатор и наоборот, в результате чего тепловой насос отбирает тепловую энергию из отопительного контура. Обратный режим работы контура хладагента используется также для оттаивания испарителя.

**Теплоноситель** (англ. heat transfer medium) – среда, которая используется для передачи тепла.

Примечание. примеры применяемых теплоносителей:

- циркулирующая в испарителе охлажденная жидкость;
- циркулирующий в конденсаторе хладагент;
- среда рекуперации, циркулирующая в рекуператоре

**Теплопроизводительность** – тепло, отдаваемое агрегатом теплоносителю за единицу времени, выраженное в Вт.

## Принятые сокращения

АБТН	– абсорбционные тепловые насосы
АДТН	– адсорбционные тепловые насосы
АПВВ	– агрегат приточно-вытяжной вентиляции
АТНУ	– автоматизированная теплонасосная установка
ВКС	– воздушная климатическая система
ВЭР	– вторичные энергоресурсы
ГВС	– горячее водоснабжение
ГКНС	– главная канализационно-насосная станция
ГФУ	– гидрофторуглероды
ГХФУ	– гидрохлорфторуглероды
ИТП	– индивидуальный тепловой пункт
КИПиА	– контрольно-измерительные приборы и автоматика
КНС	– канализационная насосная станция
КПД	– коэффициент полезного действия
КЭ	– когенерационный энергоблок
НВВ	– необходимая валовая выручка
НПТЭ	– низкопотенциальная тепловая энергия
НТИТ	– низкотемпературный источник теплоты
ОВК	– отопление, вентиляция и кондиционирование
ПГ	– парниковый газ
ПРК	– пиково-резервные котельные
ПТН	– парокомпрессионный тепловой насос
РТС	– районная тепловая станция
СА	– станция аэрации

СОК	– система обеспечения климата
СТО	– скважинный теплообменник
ТН	– тепловой насос
ТНС	– теплонасосная станция
ТН с ВВ	– тепловой насос, использующий в качестве источника теплоты вытяжной воздух
ТН с ГИ	– тепловой насос с грунтовым источником
ТНУ	– теплонасосная установка
ТЭЦ	– теплоэлектроцентраль
ФЭП	– фотоэлектрический преобразователь
ХФУ	– хлорфторуглероды
ЦОД	– центры обработки данных
СЕСА	– Китайская ассоциация энергосбережения
СНРІА	– Альянс индустрии тепловых насосов Китая
СО <sub>2</sub>	– углекислый газ (диоксид углерода)
ЕНРА	– the European Heat Pump Association, Европейская ассоциация по тепловым насосам
ГНР	– geothermal heat pumps, геотермальные тепловые насосы
ЈРАІА	– Японская ассоциация индустрии холода и кондиционирования
ЈАРN	– Japan Air Conditioning Heating & Refrigeration News, англоязычное издание в Японии, рассказывающее о новостях мировой климатической и холодильной индустрии

## Предисловие

В последнее время регулярно подчеркивается, что рост мирового ВВП достигается за счет истощения природных ресурсов и экосистем, то есть всего того, что составляет так называемый природный капитал. Резкое обострение экологических проблем наглядно показывает, что надо менять взаимоотношения человека и природы.

Появились глобальные экологические инициативы – ООН призывает к переходу на «зеленую экономику», ОЭСР провозглашает ориентир на «зеленый рост», ведутся разговоры о «зеленой химии», «зеленой промышленности» и так далее.

Центральной идеей «зеленых» концепций является сохранение и увеличение природного капитала.

Наша страна обладает обширной территорией, протянувшейся на тысячи километров, располагающейся в различных климатических поясах. Участие в приращении глобального природного капитала – это наш шанс к развитию.

Начавшийся процесс перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) положил начало согласованию двух политик – промышленной и экологической. То есть нужны такие решения по развитию промышленности, которые будут способствовать уменьшению экологического вреда от этой промышленности, а решения по природоохранным мероприятиям должны способствовать развитию промышленности.

Этот процесс согласования двух политик может быть положен в основу технологического перевооружения промышленности, движения в сторону «зеленой» экономики, приращению природного капитала.

Для этого нужны промышленные технологии. Новые технологии или хорошо забытые старые. Такие, чтобы обеспечить удовлетворение потребностей общества, но при этом не истощать природные ресурсы, а окружающую среду не превращать в свалку отходов.

Одной из таких технологий посвящена данная книга.

Как известно, насос – это устройство, которое перекачивает что-либо с нижнего уровня на верхний. Из названия понятно, что тепловой насос перекачивает тепло. С нижнего температурного уровня на верхний, с более высокой температурой. При этом нет никакого нарушения второго начала термодинамики. Энергия теплового насоса может быть полностью «зеленой», без малейшего так называемого «углеродного следа».

Конечно, в стране, обладающей гигантскими запасами углеводородного сырья, формирующей значительную часть своего бюджета из нефтегазового сектора, раз-

говору о каких-то других технологиях теплоснабжения могут показаться бредом городского сумасшедшего. Но это только на первый взгляд.

Во-первых, у нас довольно много труднодоступных районов, куда нерентабельно прокладывать газопроводы из-за малочисленности потребителей. А завоз горячего в бочках не только обходится дорого, но и приводит к большим загрязнениям окружающей природы.

Во-вторых, наметилась глобальная тенденция в мировой регуляторике сделать нефть и газ в качестве топлива значительно менее выгодными.

В-третьих, негативные последствия для конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках из-за так называемого «углеродного следа».

Это совсем не означает неизбежности отказа от нефти и газа. Нефтехимия и газохимия имеют большой потенциал для нашей экономики. А конкурировать можно и нужно не числом (объемами добычи), а умением (глубиной и качеством переработки).

Поэтому, нисколько не принижая роль других технологий теплоснабжения, Центр экологической промышленной политики в рамках проекта своего инжинирингового центра предлагает обратить внимание заинтересованных читателей на давно известную технологию, которую отличает важное на сегодня свойство – сохранение природного капитала.

Руководитель Бюро НДТ

Д. О. Скобелев

## Введение

Тепловой насос (ТН) или теплонасосная установка (ТНУ) формально не вырабатывает тепловой энергии. Подобно водяному насосу, перекачивающему воду с уровня источника воды на потребительский уровень, потребляя при этом энергию, тепловой насос перекачивает теплоту с низкого температурного уровня на потребительский температурный уровень и позволяет использовать низкопотенциальное (с невысокой температурой), т.н. «бросовое тепло», которое без теплового насоса использовать нельзя.

При передаче тепловой энергии от менее нагретой среды (низкопотенциальный источник тепловой энергии) к более нагретой (теплоноситель потребителя) тепловой насос затрачивает энергию, однако в объемах, существенно меньших, чем передает нагреваемой среде. Отсюда создается иллюзия, что ТНУ вырабатывает энергии больше, чем затрачивает.

Например, забирая тепловую энергию у вентиляционных выбросов здания с температурой 20 °С (и соответственно остужая их), тепловой насос, затратив 1 кВт электроэнергии, может получить и передать в систему отопления до 4 кВт тепловой энергии с температурой 80-90 °С (при условии, что вентвыбросы содержали такое количество тепловой энергии).

Оговоримся, что ТНУ может использовать для совершения своей работы по передаче тепловой энергии на уровень с более высоким потенциалом не только электрическую, но и механическую энергию (например, энергию ветротурбин или двигателя внутреннего сгорания), тепловую или химическую энергии.

Иными словами, ТНУ позволяет полезно использовать низкотемпературную тепловую энергию грунта, воздуха, воды, хозяйственно-бытовых стоков, шахтных вод, промышленных сбросов и многого другого. Важнейшей особенностью ТНУ является универсальность по отношению к виду первичной энергии.

Линейка мощности тепловых насосов довольно разнообразна. Можно обеспечить теплоснабжение частного дома, крупного района или промышленного предприятия. Главным обстоятельством при реализации таких проектов является наличие источника низкотемпературной тепловой энергии и экономическая эффективность самого проекта.

В быту все сталкиваются с ТНУ и не замечают его – это обычный бытовой холодильник. Он забирает тепловую энергию изнутри холодильной камеры от продуктов и воздуха в нем и передает его воздуху помещения через горячую панель, которая, как правило, находится на задней стенке холодильника, т.е. отапливает помещение, в котором находится.

Популярность ТН возникла во многом из-за того, что тепловая энергия получается непосредственно на месте установки оборудования. При высокой экологичности (нет шума, вибрации, запахов, огня) обладает высокой степенью пожаро- и взрывобезопасности, т.к. нет процессов горения топлива и выбросов продуктов сгорания. Тепловые насосы не требуют прокладки топливных (газовых) магистралей и систем дымоудаления, а следовательно, соответствующих затрат.

Если сравнивать ТН с централизованными системами теплоснабжения, то особенность технологии в том, что не требуется протяженных тепловых сетей до потребителя, источник теплоснабжения располагается непосредственно на месте или в близком расположении от потребителя.

В настоящее время в мире работает более 30 млн ТН различной мощности – от нескольких кВт до сотен МВт [34]. В США более 30 % жилых зданий оборудованы ТН (совмещенные системы отопления и кондиционирования на базе ТН). В Швеции за последние годы введены в действие более 100 ТН (мощностью от 5 до 80 МВт). В Японии ежегодно продается 3 млн ТН (для сравнения, в США – 1 млн). Благодаря Швейцарской национальной программе энергосбережения, за три года в стране было резко увеличено производство тепла с помощью ТН, при этом для реализации программы инвесторам были выделены значительные дотации.

В России есть существенный интерес к теплонасосным технологиям, однако количество реализованных проектов невелико, что объясняется целым рядом климатических, социально-экономических и технических особенностей их применения.

# 1. ТЕПЛОЙ НАСОС КАК ИНЖЕНЕРНАЯ СИСТЕМА

## 1.1. Принцип действия теплового насоса

Все тепловые машины (двигатели внутреннего сгорания, холодильные, паровые и др.) работают циклически. Термин «цикл» («циклический процесс») указывает на непрерывное изменение состояния системы (рабочего тела), в результате которого она возвращается в первоначальное состояние, из которого эти изменения начались. Графически циклический процесс (цикл) изображается в виде замкнутой линии. В термодинамике рассматривают циклы, состоящие из строго определенной последовательности некоторых простейших процессов (изотермического, изохорного, изобарного, адиабатного), в результате протекания которых рабочее тело возвращается в исходное состояние.

В 1824 г. инженер С. Карно впервые использовал термодинамический цикл для описания и анализа работы идеальной тепловой машины. По сути дела, КПД цикла Карно определяет теоретический предел возможных значений КПД тепловой машины для данного температурного интервала. Этот цикл остается фундаментальной основой для сравнения с ним и оценки эффективности ТН, поскольку тепловой насос можно рассматривать как обращенную тепловую машину.

В прямых циклах (также их называют циклами двигателей, или энергетически) мы получаем полезную работу, в обратных (их называют холодильные) для протекания процесса нужно подводить энергию, поскольку второе начало термодинамики задаёт направленность самопроизвольных термодинамических процессов, согласно ему невозможна самопроизвольная передача теплоты от холодного тела к тепловому.

В статьях, популяризирующих тепловые насосы, часто можно встретить фразу, что «тепловой насос – это холодильник наоборот». Важно понимать, что и холодильник, и тепловой насос работают по одному и тому же термодинамическому циклу – обратному. Просто в первом случае целью является создание пониженной температуры внутри холодильной камеры, и с помощью дополнительно затраченной энергии теплота из холодильника отводится в окружающую среду. А во втором, целью является создание повышенной температуры внутри помещения, и с помощью дополнительно затраченной энергии теплота из окружающей среды отводится в помещение, т.е. окружающая среда охлаждается.

Тепловая машина (рис. 1) получает тепло  $Q_H$  от высокотемпературного источника и сбрасывает его  $Q_L$  при низкой температуре  $T_L$ , отдавая полезную работу  $W$ . Тепловой насос требует затраты работы  $W$  для получения тепла  $Q_L$  при низкой температуре  $T_L$  и отдачи его при более высокой  $T_H$ .

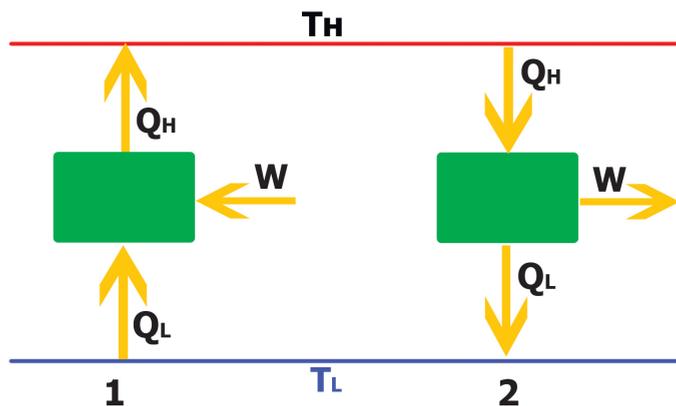


Рис. 1. Термодинамическая схема теплового насоса (1) и теплового двигателя (2).

Можно показать, что если обе эти машины обратимы (т. е. термодинамические процессы не содержат потерь тепла или работы), то существует конечный предел эффективности каждой из них, и в обоих случаях это есть отношение  $Q_H/W$ .

Если бы это было не так, то можно было бы построить вечный двигатель, просто соединив одну машину с другой. Только в случае тепловой машины это отношение записывается в виде  $W/Q_H$  и называется термическим КПД, а для теплового насоса оно остается в виде  $Q_H/W$  и называется коэффициентом преобразования теплоты ( $K_T$ ).

Если считать, что тепло изотермически подводится при температуре  $T_L$  и изотермически отводится при температуре  $T_H$ , а сжатие и расширение производятся при постоянной энтропии (рис. 2), а работа подводится от внешнего двигателя, то коэффициент преобразования для цикла Карно будет иметь вид:

$$K_T = T_L / (T_H - T_L) + 1 = T_H / (T_H - T_L)$$

Например, при  $T_H = 70 + 273 = 343$  К и  $T_L = 5 + 273 = 278$  К получаем  $K_T = 343/65 = 5,3$  и может быть выше только при снижении  $T_H$  и/или повышении  $T_L$ .

То есть фактически при данных температурах никакой тепловой насос не может иметь лучшей характеристики, и все практические циклы лишь реализуют стремление максимально приблизиться к этому пределу [67].

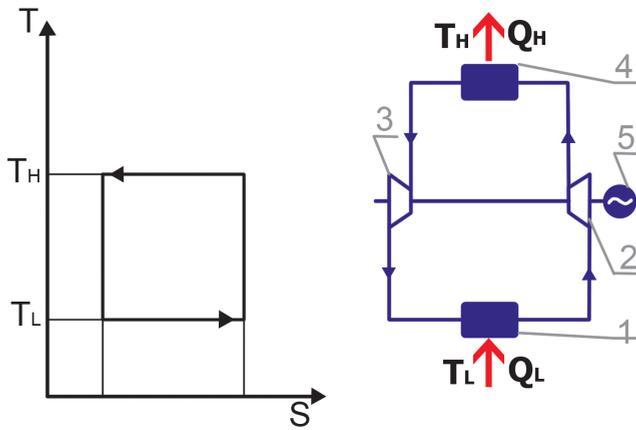


Рис. 2. Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса. 1 - испаритель; 2 - компрессор; 3 - конденсатор; 4 - расширительная машина (детандер); 5 - электропривод.

Принципиальная схема работы наиболее распространенной парокомпрессионной ТНУ может быть описана следующим образом (рис. 3):

1. Во внешнем теплообменнике (испарителе) тепловая энергия из окружающей среды за пределами здания или из другого доступного источника тепла передается рабочему телу ТНУ - хладагенту (как правило, фреону), циркулирующему по внутреннему контуру.

2. Фреон нагревается, испаряется и направляется в сторону компрессора. Компрессор сжимает фреон, при этом температура фреона возрастает.

3. Далее сжатый фреон проходит через внутренний теплообменник (конденсатор), где конденсируется и отдает тепло в систему потребителя (прямой нагрев воздуха или теплоносителя системы отопления или технологического объекта, или приготовление горячей воды для потребителей).

4. Далее фреон проходит через дросселирующий клапан, понижающий давление, что сопровождается снижением температуры. Цикл повторяется.

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счёт резкого уменьшения давления и подвода тепла происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель, в свою очередь, отнимает тепло у земляного или водяного контура, за счёт чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счёт чего температура хладагента резко повышается, и выталкивает в конденсатор.

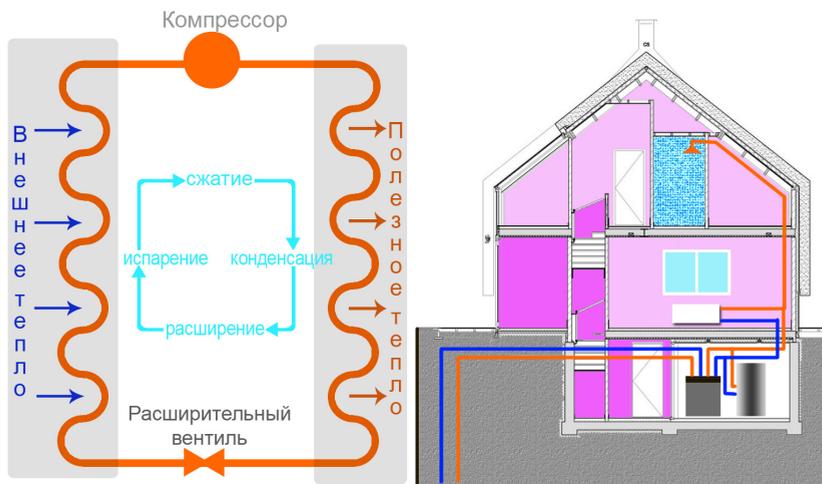


Рис. 3. Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса «грунт-вода»

Кроме этого, в конденсаторе нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло (температура порядка 85-125 °С) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние. Процесс повторяется постоянно.

Наиболее характерный температурный уровень для внешнего теплообменника в режиме использования парокомпрессионной ТНУ для теплоснабжения от +5 °С до -15 °С, для внутреннего теплообменника от +35 °С до +60 °С, что позволяет обеспечить систему отопления большую часть отопительного периода и горячее водоснабжение. При этом, если за 100% взять полученную полезную тепловую мощность, то доля затраченной электроэнергии составит 20-30%. Таким образом, коэффициент энергетической эффективности, равный отношению полученной полезной тепловой мощности к затраченной электроэнергии, составляет от 3,3 до 4.

Температурный диапазон и коэффициент энергетической эффективности определяются свойствами хладагента и параметрами цикла (давлением).

Возможно расширение температурного диапазона как в сторону использования более низких температур окружающей среды (до -25 °С и ниже), так и получения более высокопотенциального тепла – свыше 60 °С. Однако для этих параметров требуется более дорогостоящее оборудование, а коэффициент энергетической эффективности получается ниже.

В режиме охлаждения ТНУ работает, передавая тепловую энергию из охлаждаемого помещения (при температурном уровне, требуемом для системы кондиционирования, т.е. +10 °С) в окружающую среду.

## 1.2. Хладагенты

В холодильных установках, применявшихся с середины XVIII и начала XX веков, в качестве хладагентов применяли воду, воздух, диэтиловый и метиловый эфиры, аммиак, двуокись углерода, сернистый ангидрид, метилхлорид и др.

В 1928 году Томас Миджли открыл новый хладагент - дихлордифторметан, относящийся к группе хлорфторуглеродов (ХФУ), обладающий практически оптимальными для хладагентов свойствами. Он имел необходимую температуру кипения, был неядовитым и негорючим, не имел тяжёлого запаха. В 1930 г. компанией «Кинетик Кениканз Инк» (США) были выпущены первые партии дихлордифторметана, эта же компания ввела в обращение торговое наименование ФРЕОН® 12.

Обозначение хладагента буквой R (Refrigerant — охладитель, хладагент), так же как наименование ФРЕОН, стало общепринятым. Фреоны (хладоны) – техническое название группы насыщенных алифатических фторсодержащих углеводородов. Кроме атомов фтора, в молекулах фреонов содержатся обычно атомы хлора. Фреоны – бесцветные газы или жидкости, без запаха.

С 1935 г. было организовано производство хладагента R22, относящегося к группе гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ). В 1950 г. для систем кондиционирования получен азеотропный смесевой хладагент R500, по холодопроизводительности превосходящий R12. В состав R500 вошли хладагенты R12 и R152a, где R152a оказался первым, не содержащим хлор, галогенизированным углеводородом. Технология смешения хладагентов привела к появлению в 1952 г. смесового хладагента R502, заменившего R22 в низкотемпературных холодильных установках.

К 80-м годам, когда ученые ряда стран начали заниматься вопросами изучения влияния ХФУ и ГХФУ на окружающую среду, эти хладагенты стали предметом беспокойства в связи с возникшими глобальными проблемами: повышением парникового эффекта и возможным разрушением озонового слоя. Дальнейшим важным шагом в решении этой проблемы стало подписание всеми индустриальными странами Монреальского протокола в 1987 г. В 1986 г. суммарное производство фреонов составляло 1,123 млн т (на долю США приходилось 30 %, Европы 20 %, России и Японии по 10 %).

Для замены R12 с начала 90-х годов основными мировыми производителями химической продукции был разработаны и выпускается однокомпонентный озонобезопасный хладагент R134a. В дальнейшем были разработаны озонобезопасные сервисные смеси, относящиеся к группе гидрофторуглеродов (ГФУ) (R404A, R407C

и др.). Для снижения эксплуатационных затрат были получены смесевые хладагенты группы гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) [12].

В последние годы холодильная промышленность активно ищет замену хладагентам группы ГХФУ. Особенно остро этот вопрос стоит в США, где хладагенты группы ГХФУ используются в большинстве систем централизованного кондиционирования и тепловых насосов, а также во многих холодильных системах.

По степени озоноразрушающей активности озонового слоя Земли галоидоприводные углеводороды разделены на 3 группы:

- Хлорфторуглероды ХФУ (CFC) - Обладают высокой озоноразрушающей активностью. Хладагенты этого типа включают: R11, R12, R13, R113, R114, R115, R500, R502, R503, R12B1, R13B1.
- Гидрохлорфторуглероды ГХФУ (HCFC) - Это хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью. К ним относятся: R21, R22, R141b, R142b, R123, R124.
- Гидрофторуглероды ГФУ (HFC), фторуглероды ФУ (FC), углеводороды (HC). Не содержащие хлора хладагенты, считаются полностью озонобезопасными. Таковыми являются хладагенты R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и др.

В настоящее время, как правило, в качестве хладагента в тепловых насосах «воздух-вода» применяется азеотропная смесь R410a, однако уже разработаны компрессоры, использующие R290 (пропан) и CO<sub>2</sub> (диоксид углерода).

В состав R410A входят равные доли дифторметана и пентафторэтана, при этом хлор (главное вещество-разрушитель озона) не добавляется ни в один из этих компонентов. В этой связи, фреон R410A относят к списку разрешённых «Монреальским протоколом» веществ.

Зеотропные и азеотропные хладагенты — это смеси отдельных хладагентов с различными параметрами.

Азеотропная смесь - это механическая смесь двух или более хладагентов, которые при правильных пропорциях составляют хладагент с одной температурой кипения, отличной от температур кипения отдельных составляющих. Азеотропная смесь кипит при постоянной температуре, сохраняя такой же состав пара, как и у жидкости. Параметры азеотропной смеси являются противоположными зеотропным хладагентам.

Зеотропная смесь — это механическая смесь хладагентов с различными температурами насыщения при одном и том же давлении. Следовательно, при некоторых условиях хладагенты могут разделиться на составляющие.

Температуру насыщения считают такой температурой, при которой последняя капля жидкости смеси испаряется при данном давлении. Таковую температуру на-

зывают точкой росы зеотропного хладагента. Также составляющие хладагента не конденсируются при одной температуре.

Температура насыщения конденсации — это температура, при которой последняя частица пара конденсируется при данном давлении. Такую температуру называют точкой начала кипения зеотропного хладагента.

В некоторых моделях тепловых насосов используется современный хладагент монокомпонентный газ R407c, он является зеотропной смесью, в которую входят следующие смеси в определенном процентном соотношении в виде R125 (25 %), R32 (23 %) и R134a (52 %). Каждый из них отвечает за обеспечение определенных свойств: первый — способствует увеличению производительности, второй — исключает возгорание, третий — определяет рабочее давление в контуре хладагента. При любых утечках хладагента, его фракции улетучиваются неравномерно и оптимальный состав меняется. Таким образом, при разгерметизации холодильного контура кондиционер нельзя просто дозаправить; остатки хладагента необходимо слить и заменить новым. Именно это и стало основным препятствием для распространения R407c.

Тепловые насосы на природном хладагенте, не разрушающем озоновый слой (ODP = 0), диоксиде углерода CO<sub>2</sub> — машины нового поколения. В мире уделяется пристальное внимание применению диоксида углерода (CO<sub>2</sub>, R744) в качестве рабочего вещества холодильных машин и тепловых насосов.

R744 не горюч, не ядовит, не разрушает озоновый слой, имеет самый низкий среди применяемых рабочих веществ потенциал глобального потепления. Кроме того, он доступен в любых количествах и дешев.

Агентство Environmental Building News включило тепловой насос для нагрева воды от компании Sanden, использующий в качестве хладагента диоксид углерода, в список 10 лучших товаров 2016 года. Это устройство производительностью 4,5 кВт, обеспечивающее эффективный нагрев воды до высоких температур даже в условиях холодного климата, уже доступно потребителям в США [52].

В апреле 2016 года компания Toshiba Carrier объявила о поэтапном выводе на японский рынок 59 новых моделей серии Estia 5 линейки водонагревательных тепловых насосов EcoCute, использующих в качестве хладагента диоксид углерода.

Компания Mitsubishi Electric выпустила на британский рынок систему Ecodan QUNZ, представляющую собой моноблочный тепловой насос «воздух-вода» производительностью 4 кВт, способный нагревать воду до 70°C и использующий диоксид углерода в качестве хладагента. В 2016 году тепловой насос Ecodan FTC5 был удостоен награды RAC Cooling Award в номинации «Инновации в области кондиционирования воздуха или тепловых насосов».

Компания Maeyekawa представила свои тепловые насосы «воздух-вода», использующие в качестве хладагента аммиак, на выставке ATMOsphere Asia 2015. Аммиачные тепловые насосы позволяют получать горячую воду с коэффициентом преобразования COP, превышающим 8.

### 1.3. Характеристики источников низкотемпературной тепловой энергии

**Воздух.** Тепло, содержащееся в воздухе, может использоваться непосредственно в тепловом насосе. Этот источник является легкодоступным. Учитывая, что температура воздуха в отопительном периоде значительно меняется, применение данного источника в это время не всегда целесообразно для качественного и надежного теплоснабжения потребителя. Некоторыми компаниями внедряются решения, которые позволяют ТН в летний период за счет наружного воздуха вырабатывать горячую воду, а в отопительный сезон насос переключается на другой источник низкотемпературной тепловой энергии (например, на подземную воду).

В ряде зданий проведение мероприятий по модернизации и реконструкции ограждающих конструкций приводит к тому, что вентиляционные выбросы составляют значительную часть тепловых потерь. При этом внедряются системы приточно-вытяжной вентиляции, которые создают технические возможности для организации утилизации тепловых выбросов. ТН позволяет обеспечивать глубокую и круглогодичную утилизацию тепла вентиляционных выбросов.

**Подземная вода.** Тепло, содержащееся в подземной воде и подземных озерах, напрямую подается в ТН. Вода должна иметь соответствующий состав, температуру не менее + 8 °С на протяжении всего года, а также должна быть чистой (с точки зрения заноса теплообменника) и в достаточном количестве.

При использовании в качестве источника теплоты подземной воды также имеются нюансы, главный из них: охлажденную в ТН воду нельзя возвращать назад прямо в место отбора, т.к. при этом колодец охлаждается. Инженерные решения предлагают сбрасывать отдавшую тепловую энергию воду в другой колодец так, чтобы направление течения подземных вод было от места сброса к месту отбора.

**Геотермальное тепло или тепло грунта.** Известным фактом является то обстоятельство, что на определенной глубине почвы ее температура положительна (и по мере увеличения углубления температура растет). Тепловая энергия, со-

держащаяся в почве, посредством теплообменника (коллектора) в углублении и теплоносителя передается через циркуляционную схему в ТН. Теплоносителем в данном случае должна являться незамерзающая, экологически безвредная жидкость, а циркуляцию обеспечивает циркуляционный насос. Теплообменник может быть помещен в землю на различное расстояние, в зависимости от требуемой мощности. Для получения большой тепловой мощности рекомендуется скважина глубиной 100-150 м. Для получения низких мощностей достаточно поместить теплообменник в плоскостной или траншейный коллектор на глубину 1,5-2 м.

Минусом установки теплообменника на малую глубину является то обстоятельство, что вокруг площадки, куда погружен коллектор, температура почвы из-за постоянного теплосъема понижается, тем самым при определенных температурных условиях этот участок почвы также может промерзнуть. Наиболее качественным и надежным способом является бурение скважин и установка теплообменников на большой глубине.

**Поверхностная вода.** При использовании поверхностной воды к ней предъявляются определенные требования, как и для подземной воды. При внедрении ТН с использованием данного источника низкотемпературной тепловой энергии очень часто возникают проблемы с чистотой водой, а также с регулярностью температуры (в большинстве случаев температура поверхностной воды поддерживается за счет стоков промышленных предприятий).

В климатических зонах с мягким климатом и регулярностью температуры поверхностной воды ТН может быть отличным решением для решения проблем с ГВС. Некоторыми специалистами разрабатываются и внедряются решения по утилизации тепловой энергии морской воды.

**Солнечная энергия.** Использование солнечной энергии возможно при помощи солнечных коллекторов или в комбинации с дополнительным источником низкотемпературной тепловой энергии. Возможны варианты с использованием аккумуляторов солнечной энергии в виде прудов с рассолом.

Большинство специалистов склоняется к тому, что такое использование ТН экономически неэффективно из-за больших капитальных затрат. Более эффективно при достаточной солнечной интенсивности использовать системы теплоснабжения без ТН, которых разработано уже большое количество.

**Отработанное тепло промышленных предприятий.** В результате технологических процессов на промышленных предприятиях возникает большое количество низкотемпературной тепловой энергии, которая не используется в технологическом цикле. В зависимости от конкретных условий отработанную тепловую энер-

гию можно использовать в ТН для теплоснабжения цехов, мастерских, складов промышленного предприятия и т.д. В частных домах, жилых многоквартирных домах отработанная тепловая энергия используется крайне редко из-за зависимости от графика работы промышленного оборудования и удаленности от потребителя промышленных предприятий.

**Стоки.** Вода, однократно потребляемая промышленными предприятиями (около 40 % всего объема), в конечном счете сбрасывается и канализируется в естественные водоемы. При современных требованиях к защите окружающей среды и промышленные, и коммунально-бытовые стоки перед сбросом в водоемы должны проходить сложную систему очистки на водоочистных сооружениях или на станциях аэрации (в крупных городах). В Москве, например, несколько станций аэрации сбрасывают в Москву-реку более 5 млн м<sup>3</sup>/сут. очищенной воды температурой 16-22 °С; вместе с водой поступает и тепловой поток в 34 млн кВт, который можно использовать в ТНУ и преобразовать низкопотенциальную теплоту в теплоту более высокой температуры, способную удовлетворить определенную часть потребностей и сократить расход топлива [37].

## **1.4. Классификация и краткий обзор тепловых насосов, нашедших практическое применение**

### ***1.4.1. Классификация тепловых насосов***

В настоящее время создано и эксплуатируется большое число тепловых насосных установок, отличающихся по тепловым схемам, рабочим телам и по используемому оборудованию. По обозначению различных классов установок нет единого установившегося мнения, встречаются различные обозначения и термины.

Для практического применения классифицировать наиболее распространенные модели удобно либо по принципу действия ТН (парокомпрессионные или абсорбционные), либо по источнику тепловой энергии (геотермальные или окружающий воздух). В следующем параграфе каждый из этих признаков рассмотрен более подробно.

Однако возможно использовать и другие группировки по ряду сходных признаков. Каждая из них отражает только одну характерную особенность установки, поэтому в определении теплонасосной установки может быть два и более признака [67].

Таблица 1

## Сопоставление различных источников низкопотенциального тепла

Характеристика источника	Воздух	Городской водопровод	Подземная вода	Открытые водоёмы	Сбросная вода	Грунт	Солнце
Классификация источника	Первичный	Первичный или дополнительный	Первичный	Первичный или дополнительный	Первичный или дополнительный	Первичный или дополнительный	Первичный или дополнительный
Сток тепла	Хороший	Хороший	Хороший	Хороший	Зависит от дебита	Обычно плохой	Можно использовать для сброса тепла в воздух
Доступность по размещению	Повсеместно	Города	Неопределенная	Редкая	Ограниченная	Обширная	Повсеместная
Доступность по времени	Непрерывная	Непрерывная, за исключением локальных ограничений	Непрерывная по графику подачи воды	Непрерывная	Переменный режим	Непрерывная	Перерывистая и неопределенная
Капитальные затраты	Низкие, ниже грунта и водных источников, кроме городских	Изменяются со стоимостью бурения	Низкие	Переменные	Большие	Большие	
Эксплуатационные издержки	Относительно низкие	От низких до средних	Относительно низкие	Низкие	Умеренные	Еще не проверенные. Предложены как дополнение для снижения эксплуатационных издержек	
Температура (уровень)	Благоприятный для стран и широте США	Удовлетворительный	Удовлетворительный	Обычно достаточный	В начале достаточный, падает по мере отдачи тепла	Отличный	
Температура (изменение)	Сильное	Слабое	Среднее	Обычно умеренное	Сильное, но меньше, чем у воздуха	Сильное	
Опыт конструирования	Обычно достаточный	Обычно достаточный	Обычно достаточный	Достаточный, если дебит и температура постоянны	Недостаточный	Практически освоено	
Размеры оборудования	Среднее	Мелкое (за исключением бурильного)	Мелкое	Различное (обычно умеренное)	Мелкое, за исключением подземных теплообменников	Доступное для районов	

Характеристика источника		Воздух	Городской водопровод	Подземная вода	Открытые водоемы	Сборная вода	Грунт	Солнце
Пригодность для производства	Отличная; можно собирать и испытывать на заводе	Отличная	Отличная	Отличная	Плохая	Плохая	Плохая	
	Какие источники дополняет	Воздух, грунт						
Проблемы реализации	<p>Наименьшая теплопроизводительность при наибольшей потребности в тепле.</p> <p>Дефростация требует дополнительной мощности и источников тепла. Могут требоваться работы по прокладке воздухопроводов</p>	<p>Размеры теплообменников.</p> <p>ограничения при недостатке воды.</p> <p>температура воды может стать слишком низкой, чтобы продолжать извлечение тепла</p>	<p>Коррозия и отложения на поверхностях теплообмена.</p> <p>Сброс воды требует второй скважины.</p> <p>Состав и температура воды обычно неизвестны до бурения.</p> <p>Скважина может оказаться безводной</p>	<p>Отложения, коррозия и обрастание водорослями</p>	<p>Коррозия и отложения.</p> <p>недостаточный расход воды.</p> <p>необходимость индивидуального проектирования.</p> <p>Опасность замерзания воды</p>	<p>Ограничено местными геологическими и климатическими условиями.</p> <p>Стоимость трудно оценить, требуется площадь, трудно устранять течи</p>	<p>Требуется аккумулирования на стороне испарителя или конденсатора</p>	

**По циклам и схемам работы**

- компрессионные, в т.ч.:
  - газокompрессионные (ГТН);
  - парокompрессионные (ПТН) (цикл Карно);
- сорбционные ТН, в т.ч.:
  - абсорбционные (АБТН);
  - адсорбционные (АДТН);

(и мало распространенные):

- тепловые насосы, основанные на использовании эффекта Ранка;
- тепловые насосы, основанные на использовании двойного цикла Ренкина;
- тепловые насосы, работающие по циклу Стирлинга;
- тепловые насосы, работающие по циклу Брайтона;
- термоэлектрические тепловые насосы.
- обращенный топливный элемент;
- тепловые насосы с использованием теплоты плавления;
- тепловые насосы с использованием механохимического эффекта;
- тепловые насосы с использованием магнетокалорического эффекта.

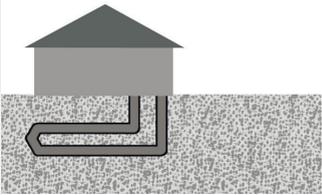
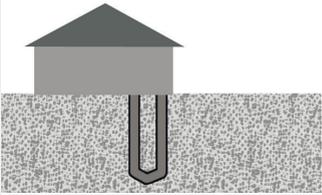
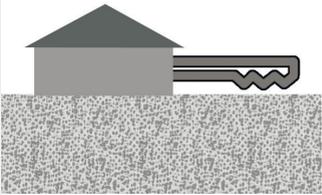
**По источникам низкопотенциального тепла ТН**

- окружающий воздух;
- водоемы, озера, реки и т.п.;
- грунтовые и подземные воды (колодцы, скважины);
- поверхностный и глубинный грунт (грунтовые и геотермальные зонды);
- технологические источники низкопотенциального тепла:
  - выходящий вентиляционный воздух;
  - канализационные и сточные воды;
  - промышленные сбросы;
  - тепловая энергия технологических и бытовых процессов.

Тепловой насос может забирать тепловую энергию из разных источников, например, воздуха, воды или земли. И таким же образом он может сбрасывать тепловую энергию в воздух, воду.

ТН, использующие низкопотенциальное тепло Земли (грунт, вода), называют «геотермальные тепловые насосы», в англоязычной технической литературе такие системы обозначаются как «GHP» – «geothermal heat pumps».

## Особенности цикла [68]

<p>Грунтовый горизонтальный теплообменник</p> 	<p>Замкнутый контур теплообменника укладывается в горизонтальные траншеи глубиной 4...6 м и длиной до 100 м. Требуют большой площади поверхности</p>	<p>Промежуточный теплоноситель – антифриз или рассол. Температура грунта на глубине свыше 4 м постоянна и соответствует среднегодовой температуре воздуха (2...10°C).</p>
<p>Грунтовый вертикальный теплообменник</p> 	<p>Замкнутый контур теплообменника устанавливается вертикально в пробуренные отверстия на глубину до 100 м. Применяется в тяжелом грунте или при ограниченной площади поверхности.</p>	<p>То же</p>
<p>Воздушный теплообменник</p> 	<p>Испаритель помещается в вентиляционные воздуховоды, удаляющие нагретый воздух из помещения, или в атмосферный воздух. Использование воздуха характеризуется быстрым падением мощности при снижении его температуры, образованием измороси на поверхности испарителя при температуре воздуха ниже 6°C</p>	<p>Промежуточного контура нет, температура вытяжного воздуха 18...25°C, атмосферного воздуха в отопительный период –10...10°C</p>

**По принципу взаимодействия рабочих тел**

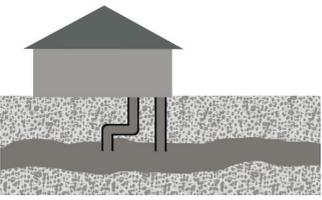
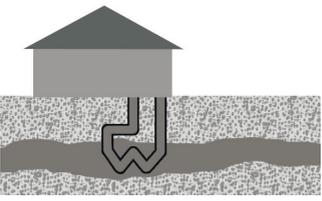
- открытого цикла, в которых рабочее тело забирается и отдается во внешнюю среду;
- замкнутого цикла, в которых рабочее тело движется по замкнутому контуру, взаимодействуя с источником и потребителем теплоты лишь посредством теплообмена в аппаратах поверхностного типа.

Простое устройство открытых систем позволяет нагревать проходящую внутри воду, которая впоследствии вновь поступает в землю. Идеально такая система работает лишь при наличии неограниченного объема чистого жидкого теплоносителя, который после потребления не наносит вред среде.

Наиболее распространены модели замкнутого цикла.

Таблица 26

**Особенности цикла**

Наименование	Особенности схемы	Параметры теплоносителя
<p>Открытый цикл</p> 	<p>Используются грунтовые воды, теплоноситель забирается из водоносного слоя и возвращается в него. Схема характеризуется простотой, так как отсутствует промежуточный контур теплоносителя, но стоимость монтажа водозабора может быть высокой</p>	<p>При использовании теплоты грунтовых вод промежуточный теплоноситель – вода с температурой 8...15°C, воды из открытых водоемов – антифриз или рассол (1...10°C),</p>
<p>Замкнутый цикл</p> 	<p>Промежуточный теплоноситель прокачивается через замкнутый контур, расположенный в водоеме, водоносном слое или бытовых стоках. Высокая стоимость монтажа испарителя.</p>	<p>При использовании теплоты грунтовых вод теплоноситель – вода с температурой 8...15°C, воды из открытых водоемов – антифриз или рассол (1...10°C), бытовых стоков – вода (10...17°C)</p>

### По режиму температур ТН

- высокотемпературные;
- среднетемпературные;
- низкотемпературные.

Температура в круговом цикле ограничивается термодинамическими свойствами хладагента и конструктивными особенностями компрессоров.

### По основному внешнему источнику энергии (работы) ТН

- механическая энергия:
  - электродвигатель;
  - ДВС (дизель, бензин и др.);
  - газовая турбина;
  - двигатель Стерлинга;
  - гидропривод или ветропривод;
- тепловая энергия:
  - термоэлектрический нагреватель;
  - сжигание топлива (газ, жидкое и твердое топливо).

Наиболее распространены модели с приводом от электрической энергии.

### По виду теплоносителя в контурах

- «грунт—вода»
- «грунт—воздух»
- «вода—вода»
- «вода—воздух»
- «воздух—вода»
- «воздух—воздух».

ТН «грунт-вода» и «грунт—воздух» (с горизонтальным или вертикальным теплообменником, геотермальный зонд). Отопление/охлаждение помещений при любой температуре наружного воздуха. В качестве источника низкопотенциального тепла используется тепловая энергия земли. В качестве системы отопления водяная (обычно «теплый пол») или воздушная соответственно.

ТН «воздух-вода» и ТН «воздух—воздух». Отопление/охлаждение при температуре наружного воздуха от +5°C до +45°C. В регионах с отрицательными температурами использование малоэффективно или невозможно. В качестве источника низкопотенциального тепла используется тепловая энергия окружающего воздуха.

Можно сказать, что тепловой насос «воздух-воздух» – это «кондиционер наоборот». В силу того, что тепловые насосы данного типа нагревают лишь воздух

в помещениях (происходит прямой нагрев воздуха), то такие теплонасосы можно использовать только для отопления.

Японские производители разработали тепловые насосы «воздух-вода», способные эффективно нагревать воду даже при экстремально низкой уличной температуре. Такие устройства работают без заметного снижения производительности при температуре наружного воздуха до минус 15 °С и продолжают бесперебойно функционировать даже при минус 28 °С. Ключевым моментом в обеспечении стабильной работы тепловых насосов в условиях холодного климата является поддержание высокой производительности во время процедуры разморозки. Каждый производитель стремится предложить свою технологию разморозки: использование теплоаккумуляторов, байпасного контура, применение теплообменников из необмерзающих материалов.

В регионах, где температура наружного воздуха может опускаться до минус 40 °С и ниже, привлекательным решением могут стать гибридные системы, объединяющие тепловой насос и газовый котел.

### По функциям ТН (для потребителей тепла)

- система отопления;
- система ГВС;
- система подогрева чего-либо;
- утилизации сбросного тепла;
- смешанные системы.

Бытовые тепловые насосы «воздух — вода», способные нагревать воду до 35–40 °С, применяются в составе систем «теплый пол», устройства, нагревающие воду до 40–75 °С, используются при организации горячего водоснабжения жилья.

Существует два основных режима работы теплонасосной системы отопления: моновалентный и бивалентный.

В моновалентном режиме тепловой насос способен полностью обеспечивать всю тепловую нагрузку в здании. При этом мощность теплового насоса должна быть не менее, чем пиковая мощность системы теплоснабжения. Также необходимо, чтобы максимальная температура подачи теплового насоса была выше, чем максимальная расчетная температура в системе отопления и горячего водоснабжения.

Данный режим работы наиболее подходит для тепловых насосов со стабильной температурой низкопотенциального источника тепловой энергии (грунт, грунтовые воды, промышленная утилизация тепла и т.д.) в сочетании с низкотемпературной системой отопления (теплые полы, фанкойлы и т.д.).

Несмотря на то, что тепловой насос в моновалентном режиме полностью решает вопрос теплоснабжения в здании, существенным недостатком являются высокие начальные капиталовложения на оборудование.

Бивалентная системы теплоснабжения – система, которая использует два или более источника тепловой энергии на различных видах топлива.

Для повышения рентабельности теплового насоса следует выбирать бивалентный режим работы. Бивалентный режим подразумевает работу теплового насоса в сочетании с другим нагревательным прибором: газовым, электрическим, твердотопливным котлом и др. Выбор данного режима может быть обусловлен так же необходимостью подачи более высокой температуры в систему отопления при низких наружных температурах воздуха.

При температурах ниже точки бивалентности тепловой насос может отключаться или работать в паре с дополнительным источником тепла, но при этом не покрывать всю потребность в тепле. В связи с этим, существует три вида бивалентного режима работы теплового насоса:

- Бивалентный альтернативный
- Бивалентный вспомогательный
- Бивалентный комбинированный

Тепловой насос в альтернативном режиме обеспечивает полную тепловую нагрузку здания, пока не достигнет точки бивалентности. После этого он отключается, а всю нагрузку берет на себя вспомогательный теплогенератор, который обеспечивает необходимый температурный график.

Дополнительный источник тепла рассчитывается на максимальную тепловую нагрузку. Чаще всего такой режим встречается, когда в качестве вспомогательного нагревателя выступает твердотопливный котел или камин с водяной рубашкой.

При вспомогательном режиме работы тепловой насос также полностью обеспечивает тепловую нагрузку до точки бивалентности, однако при достижении точки он не выключается, а работает в паре с дополнительным теплогенератором.

Функция вспомогательного теплогенератора заключается в обеспечения соответствующего температурного режима после температуры бивалентности. В таком случае мощность дополнительного источника нагрева может выбираться исходя из недостающей мощности пиковой нагрузки (чаще всего это может быть небольшой электронагреватель), мощность теплового насоса подбирается для точки бивалентности.

Комбинированный режим совмещает в себе характеристики предыдущих режимов работы теплового насоса. При достижении точки бивалентности тепловой насос не отключается, а работает параллельно со вспомогательным теплогенератором до минимальной возможной температуры воздуха.

### По виду холодильного агента:

- воздух;
- вода (пар);
- фреоны;
- аммиак;
- углекислота;
- водород;
- гелий;
- прочие газы и смеси.

Подробнее о холодильных агрегатах – в разделе «Хладагенты». На российском рынке в основном представлены модели ТН с хладагентами R410a и R407c.

### По производительности

- бытовые (малые) – от 5 кВт до 20 кВт;
- промышленные (средние) – от 20 кВт до 600 кВт;
- большие тепловые насосы – от 1 МВт и выше.

Тепловые насосы могут соединяться, и тогда можно классифицировать теплонасосные установки как одно- и двухступенчатые, а также ТНУ с последовательным соединением по нагреваемому и охлаждаемому теплоносителям с противоточным их движением. ТН могут быть объединены в единую систему, это так называемые кольцевые теплонасосные системы, их целесообразно использовать на средних и крупных объектах, см. раздел «Кольцевые ТНУ».

### По режиму работы

- стационарные,
- нестационарные,
- непрерывные или циклические,
- нестационарные с аккумулятором тепловой энергии.

ТН могут выпускаться серийно либо изготавливаться по специальным проектам, имеются экспериментальные установки, опытно-промышленные образцы, много теоретических разработок. Этот список можно продолжать и далее.

#### *1.4.2. Компрессионные тепловые насосы*

Такое название компрессионные ТН получили, поскольку одним из основных рабочих органов в их работе является компрессор (поэтому их также называют компрессорными).

В основу принципа действия наиболее распространенных парокомпрессионных тепловых насосов положены два физических явления:

- поглощение и выделение тепла веществом при изменении агрегатного состояния – испарении и конденсации, соответственно;
- изменение температуры испарения (и конденсации) при изменении давления.

Различают:

- газовые (воздушные) компрессионные тепловые насосы,
- паровые компрессионные тепловые насосы

**Газовые компрессионные тепловые насосы** – это установки, в которых рабочее тело во всех процессах остаётся в газообразном состоянии. В газовых тепловых насосах получение низких температур осуществляется за счёт адиабатного расширения газа (например, воздуха) при совершении внешней работы. Наиболее распространены из них воздушные и гелиевые.

Установки такого типа практически не применяются из-за их неэкономичности и больших расходов воздуха (т.к. этот хладоноситель обладает малой теплоёмкостью), что делает установку громоздкой и повышает её стоимость. Однако история знает такие примеры – машина Томсона (иногда такие установки называют – ТН типа Томсона).

**Паровые компрессионные холодильные машины** – это установки, в которых рабочее тело в процессах работы совершает фазовый переход (газ-жидкость).

В цикле паровой компрессионной холодильной машины происходит непрерывное фазовое превращение рабочего тела (кипение, испарение, а затем конденсация). Основными элементами оборудования установки являются компрессор, конденсатор, детандер (расширитель) и испаритель. Цикл машины, представляющий собой обратный цикл Карно, происходит в области влажного пара. Холодильный агент кипит в испарителе при низком давлении и низкой температуре; при этом извлекается тепловая энергия от охлаждаемого тела. Газ из испарителя засасывается компрессором и сжимается адиабатно с повышением температуры.

Компрессор нагнетает газ в конденсатор, где он конденсируется при высоком постоянном давлении и высокой температуре, отдавая тепловую энергию обогреваемому телу. Жидкий хладагент поступает в детандер и расширяется адиабатно, производя полезную работу за счёт внутренней энергии. Далее хладагент поступает в испаритель, и рабочий цикл повторяется снова.

Это самый распространенный тип теплового насоса (и не только теплового насоса, но и всей холодильной техники). Такие насосы имеют весьма высокую эффективность. Практически все тепловые насосы для бытовых нужд (отопление домов, бассейнов, ГВС) работают по такому принципу.

Таблица 2в

## Классификация компрессионных ТН

Теплоноситель		Классификация
Наружный	Внутренний	
Воздух	Воздух	Тепловой насос воздух/воздух или кондиционер с воздушным охлаждением
Вода	Воздух	Тепловой насос вода/воздух или кондиционер с водяным охлаждением
Рассол	Воздух	Тепловой насос рассол/воздух или охлаждаемый рассолом кондиционер
Воздух	Вода	Тепловой насос воздух/вода или охлаждаемый воздухом агрегатированный охладитель жидкости
Вода	Вода	Тепловой насос вода/вода или охлаждаемый водой агрегатированный охладитель жидкости
Рассол	Вода	Тепловой насос рассол/вода или охлаждаемый рассолом агрегатированный охладитель жидкости

Компрессионные ТН в соответствии с ГОСТ Р 54671-2011 (ЕН 14511-1:2011) «Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Термины и определения» обозначаются следующим образом: на первом месте указывается теплоноситель для наружного теплообменника, на втором месте – теплоноситель для внутреннего теплообменника.

**Достоинства компрессионных тепловых насосов.** Главное достоинство этого типа тепловых насосов – их высокая эффективность, самая высокая среди современных тепловых насосов. Соотношение подведённой извне и перекачанной энергии у них может достигать 1:7 – то есть на каждый киловатт подведённой к приводу компрессора ТН электроэнергии из зоны охлаждения будет откачано 7 киловатт тепла.

**Недостатки компрессионных тепловых насосов.** Во-первых, само наличие компрессора, неизбежно создающего шум и подверженного износу, а во-вторых, необходимость использования специального хладагента и соблюдение абсолютной герметичности на всём его рабочем пути. Почти все компрессионные ТН имеют компрессоры со встроенным электродвигателем. Преимущество – естественное охлаждение электродвигателя компрессора газообразным хладагентом в процессе

его циркуляции, но в то же время при нарушении режимов работы и отказе защитной автоматики происходит короткое замыкание на обмотках электродвигателя с последующим выходом его из строя.

При монтаже ТН мало внимания уделяется контролю сварных швов и качеству сборки, в результате чего в процессе работы появляются течи, потеря хладона. Заделка «свищей» на сварных швах производится только при пустом фреоновом контуре, а это опять потеря времени и дополнительные расходы. Внедрение ТН – мероприятие дорогостоящее, поэтому экономить приходится на всем, и иногда оборудование устанавливается не качественное. Все это потом сказывается на эффективности, аварийности и дополнительных расходах, что, в конечном счете, может скомпрометировать саму идею внедрения ТН [43].

**Применение компрессионных тепловых насосов.** В силу своей высокой эффективности именно этот тип тепловых насосов получил практически повсеместное распространение, вытеснив все остальные в различные экзотические области применения. Даже сложность конструкции и её чувствительность к повреждениям не могут ограничить их широкое использование – практически на каждой кухне стоит компрессионный холодильник, а в каждом офисе есть кондиционер.

К преимуществам ПТН с электроприводом следует отнести простоту их энергоснабжения. На некоторых объектах это может быть определяющим фактором в их пользу.

### ***1.4.3. Сорбционные тепловые насосы***

**Сорбция** относится к действию абсорбции или адсорбции:

**Абсорбция** (absorbere – поглощать) – объёмное слияние (или поглощение) двух веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях (например: жидкости, абсорбирующиеся твёрдыми телами или газами, газы, абсорбирующиеся жидкостями и т.д.) – это явление поглощения сорбата всем объёмом сорбента. Абсорбция, как правило, означает поглощение газов в объёме жидкости или реже твёрдого тела.

**Адсорбция** – физическое сцепление ионов и молекул на поверхности тела другого состояния (например: реагенты адсорбируются к целой поверхности катализатора) – это явление поглощения адсорбата всей поверхностью адсорбтива. Под адсорбцией часто понимают поглощение примеси из газа или жидкости твёрдым веществом – адсорбентом.

**Абсорбционные тепловые насосы.** Абсорбционный (испарительный, диффузионный, абсорбционно-диффузионный, испарительно-абсорбционный, испарительно-диффузионный) тепловой насос – устройство, в которых сжатие пара основано на абсорбции рабочего тела (поглощении из раствора или смеси газов твёрдым телом или жидкостью) при температуре окружающей среды и его десорб-

ции (выделении в окружающую среду из твёрдого тела) при более высокой температуре. Установки такого типа достаточно распространены из-за их простоты, надёжности и экономичности. В абсорбционных холодильных машинах применяется бинарная смесь, компоненты которой имеют различные температуры кипения при одинаковом давлении. Холодильный агент должен иметь низкую температуру кипения, абсорбент (поглотитель) – более высокую.

Абсорбционные тепловые насосы подразделяются на два основных вида - водоаммиачные и солевые. В водоаммиачных машинах абсорбентом является вода, а хладагентом аммиак. В солевых машинах абсорбентом является водный раствор соли, а хладагентом вода.

В водоаммиачных ТН пары аммиака, образовавшиеся в испарителе, засасываются в абсорбер, где поглощаются слабым водоаммиачным раствором. Теплота, выделяющаяся при поглощении паров аммиака, отводится охлаждающей водой. Процесс абсорбции происходит при постоянном давлении, несколько меньшем давления в испарителе. Полученный в абсорбере раствор насосом перекачивается в генератор (кипятильник).

При этом насосом затрачивается работа. В генераторе водоаммиачный раствор выпаривается при давлении, несколько большем, чем давление в конденсаторе. Тепло, затраченное на получение водоаммиачного пара, подводится от внешнего источника (пар, горячая вода). Водоаммиачный пар с большой концентрацией аммиака поступает в конденсатор и в нём конденсируется, отдавая тепловую энергию охлаждающей воде. Из конденсатора жидкий аммиак через регулирующийся вентиль (дрессель) направляется в испаритель, где кипит, производя охлаждающий эффект.

В мировой практике в настоящее время применяют преимущественно солевые ТН, в которых абсорбентом является водный раствор соли бромистого лития ( $H_2O/LiBr$ ) – АБТН. В АБТН процессы переноса теплоты совершаются с помощью совмещённых прямого и обратного термодинамического циклов, в отличие от парокомпрессионных ТН, в которых рабочее тело (хладон) совершает только обратный термодинамический цикл.

По отечественной классификации абсорбционные бромистолитиевые машины подразделяются на повышающие и понижающие термотрансформаторы. В настоящей работе рассматривается понижающий термотрансформатор как наиболее распространённый тип [56].

По виду потребляемой высокотемпературной теплоты АБТН подразделяются на машины:

- с паровым (водяным) обогревом;
- с огневым обогревом на газообразном или жидком топливе.

По термодинамическому циклу АБТН бывают с одноступенчатой или двухступенчатой схемами регенерации раствора, а также двухступенчатой абсорбцией.

**Достоинства абсорбционных тепловых насосов.** Главное достоинство абсорбционных тепловых насосов – это возможность использовать для своей работы не только электричество, но и любой источник тепловой энергии с достаточной температурой и мощностью – перегретый или отработанный пар, пламя газовых, бензиновых и любых других горелок – вплоть до выхлопных газов и солнечной энергии и т.д. Другое достоинство этих агрегатов, особенно ценное в бытовых применениях, – это возможность создания конструкций, не содержащих движущихся деталей, а потому практически бесшумных.

**Недостатки абсорбционных тепловых насосов.** Главный недостаток этого типа тепловых насосов – весьма низкая эффективность, так же сложность конструкции самого агрегата и довольно высокая коррозионная нагрузка от рабочего тела.

**Использование абсорбционных тепловых насосов.** Несмотря на несколько меньшую эффективность и относительно более высокую стоимость по сравнению с компрессионными установками, применение абсорбционных тепловых машин абсолютно оправдано там, где нет электричества или где есть большие объёмы бросового тепла (отработанный пар, высокотемпературные выхлопные или дымовые газы и т.п. – вплоть до солнечного нагрева). В частности, выпускаются специальные модели с газовыми горелками для путешественников, прежде всего автомобилистов и яхтсменов.

В настоящее время в Европе газовые котлы иногда заменяют абсорбционными тепловыми насосами с нагревом от газовой горелки или от солянки – они позволяют не только утилизировать теплоту сгорания топлива, но и «подкачивать» дополнительную тепловую энергию с улицы. Широкое распространение получили бромисто-литиевые абсорбционные насосы.

С точки зрения воздействия на окружающую среду и безопасность АБТН имеют явное преимущество перед ПТН, т.к. не используют хладоны- фторхлорсодержащие углеводороды.

В соответствии с Монреальским протоколом от 1987 года, фактически все хладоны, используемые в ПТН, проходят более тщательный контроль на «озонобезопасность», «парниковый эффект» и облагаются жесткими штрафами при их неправильном применении и утилизации. АБТН имеют значительно больший срок службы, т. к. по существу являются теплообменным оборудованием, высокую ремонтпригодность, они малозумные в работе.

**Адсорбционный тепловой насос.** Принцип работы адсорбционных ТН основан на явлении адсорбции паров жидкости твердыми телами (сорбентами). Наиболее широкое применение в качестве сорбентов получили активированные угли, цеолиты и силикагели. В последние годы рассматриваются возможности использования силикагелей совместно с солями металлов. Большой интерес при создании тепловых насосов представляют активированный уголь и аммиак, а также активированное углеродное волокно и аммиак, цеолит и вода.

Простейший тепловой насос содержит один адсорбер, испаритель, конденсатор и вентили. Эффективность его работы (COP) зависит от особенностей конструкции и выбранной пары сорбат (жидкость)/сорбент (твердое тело). Затраты, приходящиеся на оборудование, однако, достаточно велики по причине использования вакуумной техники.

Адсорбционные тепловые насосы для жилых домов находятся еще в стадии разработки. Адсорбционные тепловые насосы иногда называют твердотельными тепловыми насосами, поскольку рабочее тело всегда находится в твердом состоянии. Разрабатываются новые высокоэффективные сорбенты.

К тепловым насосам на твердых сорбентах также относятся водородные тепловые насосы, в которых в качестве сорбентов применяются гидриды металлов  $\text{LaNi}_4\text{Al}_{0.52}\text{Mn}_{0.37} - \text{Ti}_{0.99}\text{Zr}_{0.01}\text{V}_{0.43}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.05}\text{Mn}_{1.5}$  и др. Рабочим телом гибридных ТН является обратимо циркулирующий водород. При сорбции водорода выделяется теплота, при его десорбции поглощается теплота из окружающей среды (генерируется холод). Диапазон температур таких ТН находится в пределах  $-50 \dots 200$  °С.

Наибольших успехов в настоящее время в этом направлении добились японские ученые, причем основным направлением опытно-конструкторских работ является создание холода. Водородные тепловые насосы обладают высокой термодинамической эффективностью, обеспечивают широкий диапазон изменения температуры, однако они требуют обеспечения высокого уровня надежности эксплуатации и относительно дороги.

**Достоинства адсорбционных тепловых насосов.** По сравнению с абсорбционными является возможность их использования в широком диапазоне температуры, нечувствительность к силе тяжести (что особенно важно при использовании тепловых насосов на транспорте).

**Недостатки адсорбционных тепловых насосов.** Невысокая эффективность, периодичность их работы (требуется периодический процесс нагрева/охлаждения сорбента), приводящий к затратам дополнительной энергии на нагрев/охлаждение не только сорбента, но и корпуса адсорбера.

Применение адсорбционных тепловых насосов. Практическое применение ТН на твердых сорбентах: отопление, транспорт, системы охлаждения электроники, сушка. Например, фирма Vaillant разработала газовый адсорбционный тепловой насос, основанный на взаимодействии цеолита и воды – цеолитовый тепловой насос Vaillant zeoTHERM VAS для отопления жилых помещений и ГВС.

## 1.5. Энергетическая эффективность тепловых насосов

Парокомпрессионные (ПТН) и абсорбционные (АБТН) тепловые насосы для осуществления термодинамических циклов потребляют различные виды энергии: ПТН – механическую (чаще всего электрическую), АБТН – тепловую.

Для сравнения эффективности различных типов ТН необходим общий показатель. Таким показателем может быть удельный расход топлива на выработку теплоты или коэффициент его использования [56]. Такой подход правомерен ещё и потому, что в России базовыми электростанциями являются тепловые, работающие на органическом топливе. Кроме того, для сравнения можно использовать эксергетический КПД.

Энергетическая эффективность ПТН характеризуется коэффициентом преобразования энергии

$$\varphi = Q_{\text{п}} / Q_{\text{к}}$$

где  $Q_{\text{п}}$  – произведенная теплота;

$Q_{\text{к}}$  – мощность в тепловом эквиваленте, затраченная на привод компрессора.

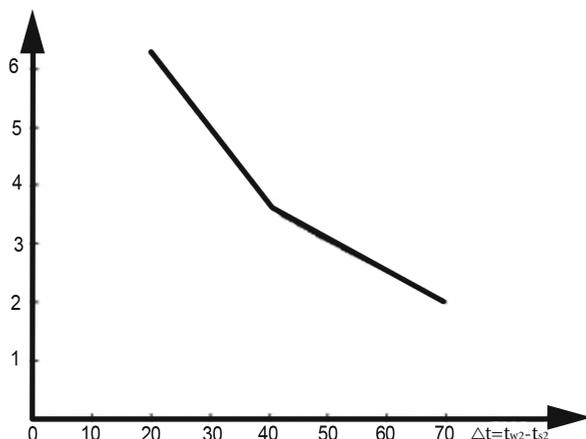


Рис. 4. Зависимость коэффициента преобразования  $\varphi$  ПТН от перепада температур между нагретой водой ( $t_{w2}$ ) и охлажденной водой ( $t_{s2}$ ).

Величина коэффициента преобразования ПТН ( $\varphi$ ) зависит, в основном, от температур низкотемпературного источника теплоты и температуры нагреваемой среды на выходе из ТН (рис. 4). Чем больше перепад температур между нагреваемой и охлаждаемой средами, тем ниже эффективность ПТН.

В инструкциях ТН западных производителей для оценки эффективности электроприводных компрессионных тепловых насосов согласно стандарту EN 14511 определены параметры коэффициента мощности и коэффициента использования.

### Коэффициент мощности

Коэффициент мощности  $\varepsilon$  описывает соотношение отданной в данный момент тепловой мощности и эффективной потребляемой мощности прибора.

$$\varepsilon = P_H / P_E$$

где  $P_H$  – тепло, отдаваемое тепловым насосом теплоносителю в единицу времени (Вт)

$P_E$  – средняя электрическая потребляемая мощность прибора в течение определенного периода времени, включая потребляемую мощность контроллера, компрессора, подающих устройств и оттаивания (Вт).

Коэффициенты мощности измеряются в установленных рабочих точках. Рабочая точка определяется входной температурой среды источника тепла (воздух А, рассол В, вода W) в тепловой насос и выходной температурой теплоносителя (температурой подачи во вторичном контуре). Пример:

- Воздушно-водяные тепловые насосы А2/W35: входная температура воздуха 2 °С, выходная температура теплоносителя 35 °С
- Рассольно-водяные тепловые насосы В0/W35: входная температура рассола 0 °С, выходная температура теплоносителя 35 °С
- Водно-водяные тепловые насосы W10/W35: входная температура воды 10 °С, выходная температура теплоносителя 35 °С

Чем меньше разность между входной и выходной температурой, тем выше коэффициент мощности. Так как входная температура источника тепла определяется окружающими условиями, для повышения коэффициента мощности следует стремиться к минимально возможной температуре подачи, например, 35 °С, в сочетании с внутривоздушным отоплением.

### Коэффициент использования

Коэффициент использования  $\beta$  представляет собой отношение отданного количества тепла за год к потребленной за этот период времени электроэнергии теплонасосной установки в целом. При этом учитываются также доли электроэнергии насосов, контроллеров и т.п.

$$\beta = Q_{\text{ТН}} / W_{\text{эл}},$$

где  $Q_{\text{ТН}}$  – отданное тепловым насосом в течение года количество тепла (кВт·ч)

$W_{\text{эл}}$  – внесенная в тепловой насос в течение года работа электроэнергии (кВт·ч)

Эффективность АБТН характеризуется коэффициентом трансформации

$$M = Q_{\text{п}} / Q_{\text{г}},$$

где  $Q_{\text{п}}$  – количество произведенной теплоты;

$Q_{\text{г}}$  – количество высокотемпературной теплоты, подведенной к генератору ТН.

Реальные коэффициенты трансформации АБТН приведены на рис. 5. В зависимости от перепада температур между нагреваемой и охлаждаемой средами применяют различные типы машин: с одно- или двухступенчатой схемами регенерации раствора; с двухступенчатой схемой абсорбции.

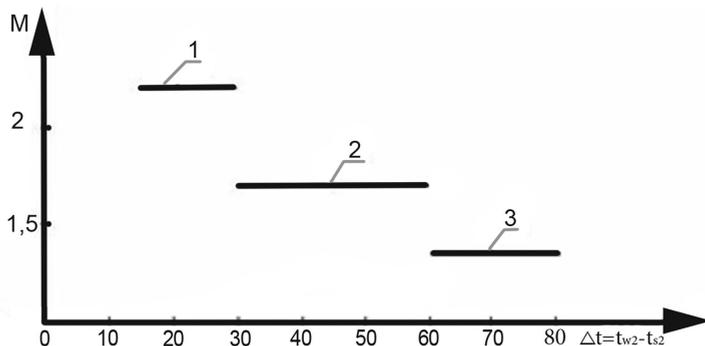


Рис. 5. Зависимость коэффициента трансформации М АБТН от перепада температур между нагретой водой ( $t_{w2}$ ) и охлажденной водой ( $t_{s2}$ ).

1 – с двухступенчатой схемой регенерации раствора ( $M = 2,2$ ).

2 – с одноступенчатой схемой регенерации раствора ( $M = 1,7$ ).

3 – с двухступенчатой абсорбцией ( $M = 1,35$ ).

В ПТН при использовании электроэнергии на привод компрессора от тепловой электростанции удельный расход топлива (здесь и далее в тепловом эквиваленте) составит

$$B = 1/(\varphi \cdot \eta_{\text{эл}}),$$

где  $\eta_{\text{эл}}$  – КПД электростанции с учетом потерь электроэнергии в сетях (в России ~ 0,32).

В ПТН при использовании в качестве привода компрессора двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины с утилизацией теплоты продуктов сгорания топлива удельный расход топлива на выработку теплоты составит

$$B = 1/(\varphi \cdot \eta_{\text{м}} + \eta_{\text{т}}),$$

где  $\eta_{\text{м}}$  – механический КПД привода;

$\eta_{\text{т}}$  – тепловой КПД привода.

Удельный расход топлива на выработку теплоты в АБТН составит

$$B = 1/(M \cdot \eta),$$

где  $\eta$  – КПД источника высокотемпературной теплоты или генератора ТН при огневом обогреве.

Удельный расход топлива на выработку теплоты в котле составит

$$B = 1/\eta,$$

где  $\eta$  – КПД котла.

Рассмотрим различные варианты автономного источника для получения горячей воды. Для сравнения возьмем котел на органическом топливе и различные варианты тепловых насосов (рис. 6).

ТН с электроприводом от тепловой электростанции при коэффициенте преобразования  $\varphi < 2,6-3$  по сравнению с котлом экономия топлива не дает (меньшее значение  $\varphi$  для котлов на твердом топливе, большее на газовом или жидком топливе). С учетом более высоких по сравнению с котлом удельных капитальных вложений на ТНУ и электрогенерирующие мощности использование ПТН с электроприводом может быть экономически оправдано (приемлемый срок окупаемости дополнительных капитальных вложений) при  $\varphi = 4-5$ .

ППТН с приводом компрессора от двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины при утилизации теплоты продуктов сгорания топлива и системы охлаждения двигателя дает экономию топлива уже при  $\varphi \geq 1,5$ .

Однако экономическая целесообразность применения данного типа ТН должна определяться на основе технико-экономических расчётов, т.к. удельные капитальные затраты на данный тип ТН в несколько раз выше затрат на котел. Применение ПТН с низким коэффициентом преобразования приводит к неоправданно высоким срокам окупаемости капитальных вложений.

АБТН всех типов по сравнению с котлом имеют удельный расход топлива на 40 ÷ 55 % ниже. Т.е. эффективность использования топлива в АБТН в 1,7-2,2 раза выше, чем в котле. При этом себестоимость производимой в АБТН теплоты на 25-30 % ниже, чем в котле.

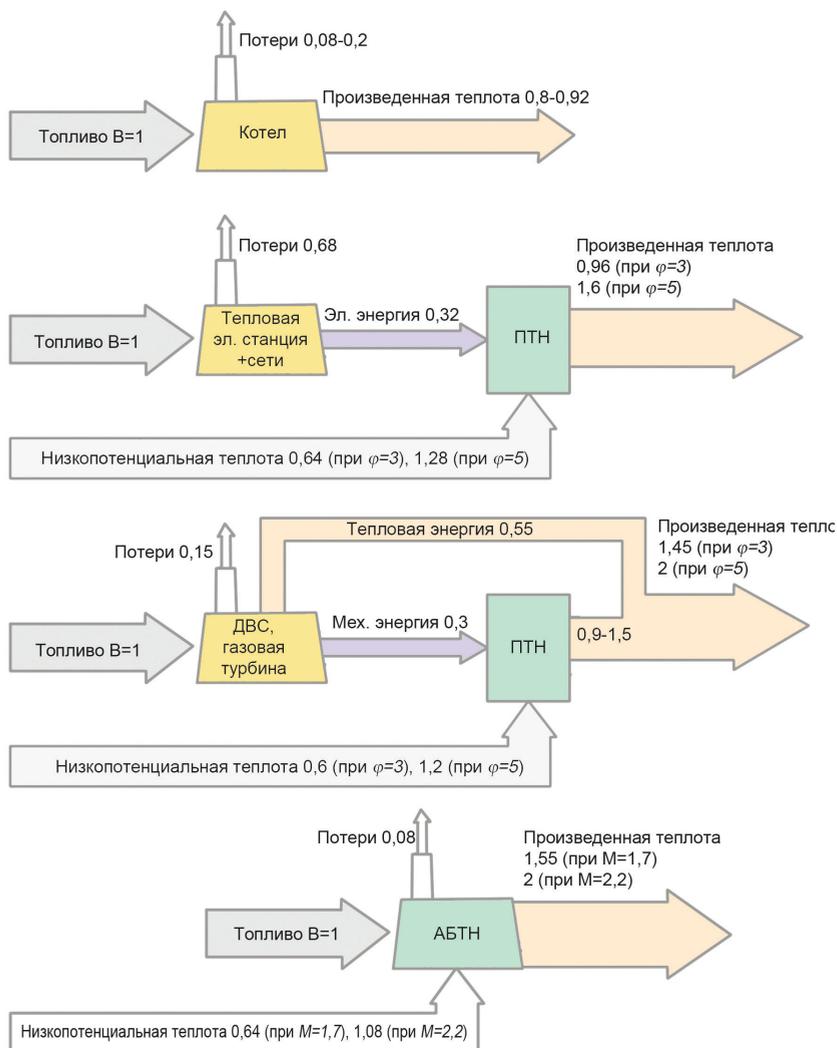


Рис. 6. Энергетические балансы различных схем производства теплоты: а) котел на органическом топливе; б) ПТН с электроприводом от тепловой электростанции; в) ПТН с приводом от ДВС или газовой турбины; г) АБТН на газообразном или жидком топливе

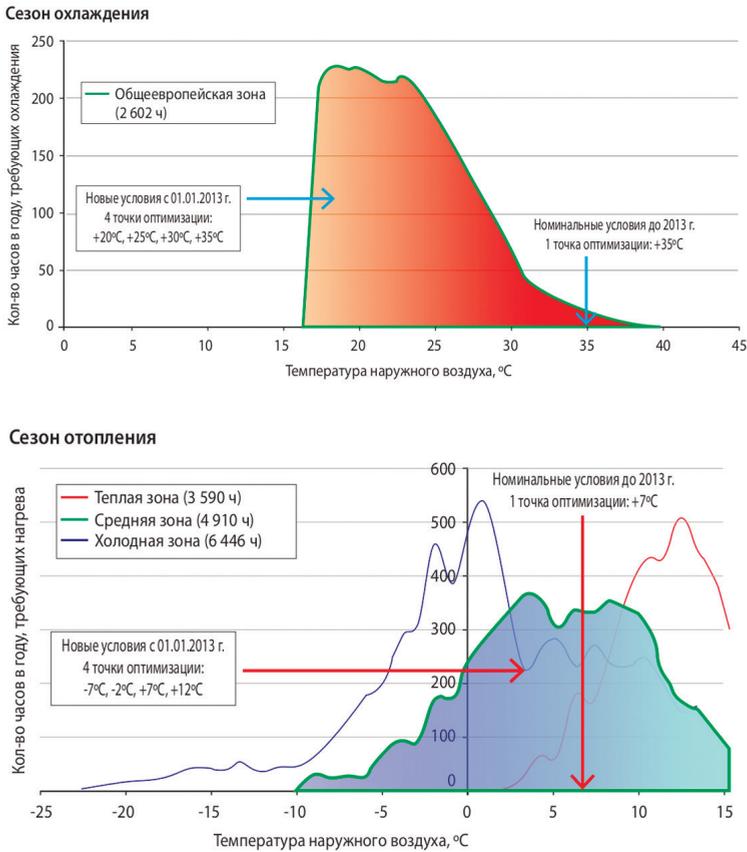


Рис. 7. Характерные режимы для оценки эффективности ТНУ

Некоторые авторы, ссылаясь на зарубежный опыт, в частности, шведский, отмечают, что электроприводные ПТН применяют даже при  $\phi < 3$ . Действительно некоторые теплонасосные установки в Швеции и других странах Европы имеют  $\phi \leq 3$  и достаточно рентабельны (срок окупаемости 3–4 года). Это связано, в первую очередь, со структурой электроэнергетики данных стран. В ряде европейских стран базовыми электрогенерирующими мощностями являются атомные и гидроэлектростанции, а значит, относительно дешева электроэнергия.

Поэтому ТНУ с электроприводом в данных странах даже при  $\phi \leq 3$  экономически целесообразны, т.к. позволяют реально экономить дорогостоящее органическое топливо, сократить вредные выбросы в окружающую среду, экономить электроэнергию, замещая электрообогрев.

При выборе типа теплового насоса кроме энергетической и экономической эффективности следует учитывать также особенности различных типов машин (срок службы, воздействие на окружающую среду, ремонтпригодность, требуемая квалификация обслуживающего персонала, возможность регулирования мощности в широком диапазоне и т.д.).

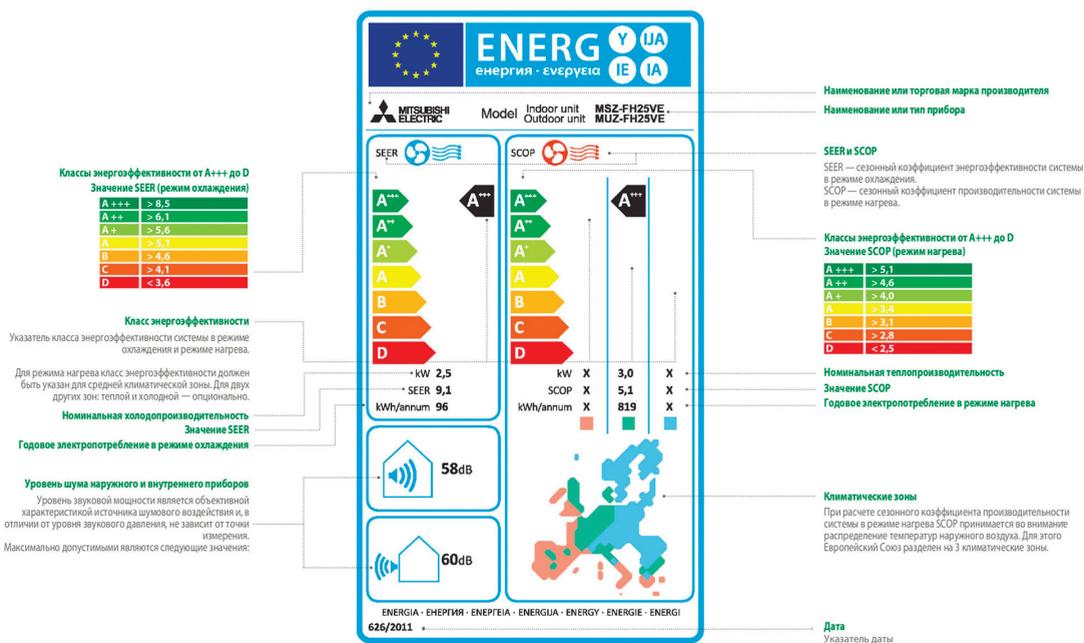


Рис. 8а. Образец новой энергоэтикетки для ТН в ЕС

Как правило, производители используют коэффициенты энергетической эффективности **EER** и **COP**. Для их измерения стандартизированы значения температуры наружного воздуха: +35 °C – для режима охлаждения и +7 °C – для режима нагрева, а измерение проводилось при максимальной мощности системы.

Такой подход достаточен для оценки простых систем и стандартных условий применения, но недостаточен для корректного экономического анализа систем с учетом климатических условий и режимов эксплуатации. Более правильно выполнять расчеты с показателями на основе измерения эффективности при четырех различных температурах наружного воздуха (рис. 8а, 8б). Более того, для режима нагрева принимается во внимание климатическая зона, в которой предполагается эксплуатировать оборудование. С этой целью введены 3 зоны, имеющие разное распределение градусо-часов: теплая, средняя и холодная.

Дополнительно принимается во внимание повышение эффективности системы с инверторным приводом при работе с частичной нагрузкой, а также электропотребление в неосновных режимах: «температура в помещении достигнута», «система выключена, но находится в режиме готовности» и др.

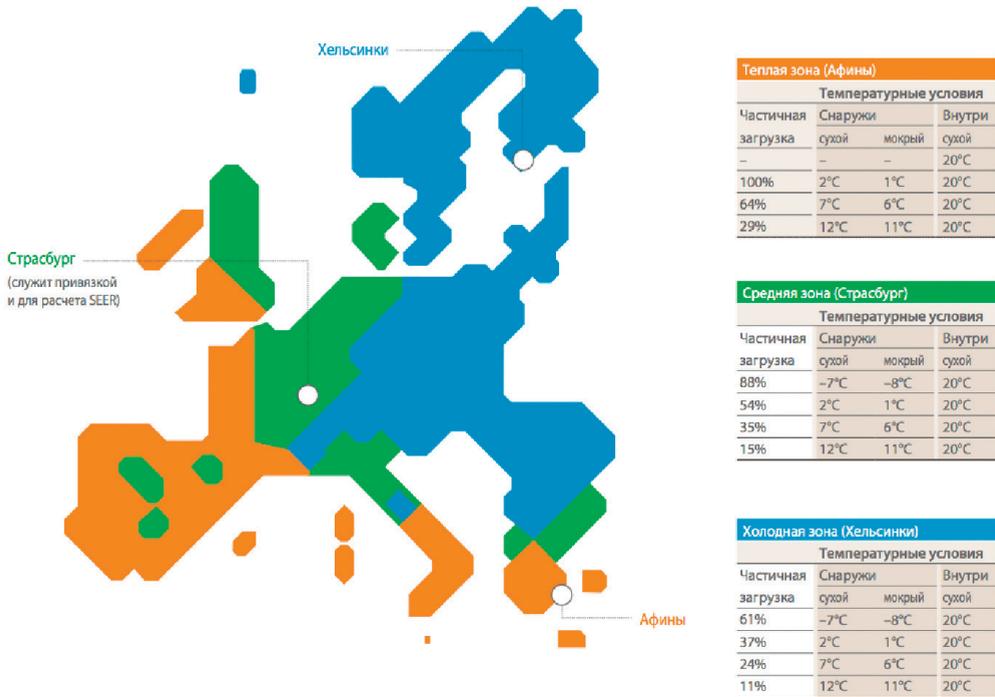


Рис 86. Новая маркировка энергоэффективности ТНУ в ЕС

1 января 2013 г. в Евросоюзе вступил в силу блок требований, относящихся к системам кондиционирования воздуха холодопроизводительностью до 12 кВт (или теплопроизводительностью до 12 кВт, если изделие имеет только режим нагрева воздуха). Новый стикер, введенный при этом, дает покупателям информацию в унифицированном виде для объективного сравнения энергетических и шумовых характеристик систем охлаждения и отопления (рис. 8).

Вместо коэффициентов EER и COP на новом стикере производитель указывает сезонные значения энергоэффективности: SEER и SCOP, что более точно отражает реальную картину эксплуатации климатического оборудования в течение года в условиях европейского климата.

## 2. ЭВОЛЮЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

### 1.1. История создания тепловых насосов

Теория тепловых машин возникла в первой половине 19 века, толчком к её созданию послужило развитие теплотехники и, в частности, изобретение паровой машины в конце 18 века. К середине 19 столетия также относятся первые удачные попытки создания холодильных машин.

В 1852 физик Уильям Томсон предложил первую модель теплового насоса, назвав ее «умножителем теплоты» (heat multiplier).

Принцип работы умножителя теплоты, созданного Томсоном, был следующий: во входной цилиндр поступает воздух с улицы, там он расширяется, в результате чего происходит его охлаждение. Далее он поступает в ресивер, где осуществляется его нагрев от наружного воздуха. Затем он поступал в выходной цилиндр, сжимался и ощутимо нагревался. В нагретом состоянии он поступал в помещение, тем самым обогревая его. Принцип работы такого механизма был основан на изменении температуры газов при их расширении и сжатии (эффект Джоуля-Томсона) [79].

Взяв идею Томсона, австрийский инженер Петер Риттер фон Риттингер смог ее развить и усовершенствовать. Проведя ряд экспериментов в 1856 году, он создал самый первый тепловой насос, выпаривающий рассол в соляных шахтах.

Скорее всего, именно изобретение Риттингера стимулировало работу установки таких насосов в шахтах соседа – Швейцарии. Установка по выпариванию соли была создана позже швейцарцами – Дж. Вейбелем и П. Пикаром, и впервые ее установили в 1876 году. Эта машина была более производительна, нежели машина, созданная Риттером. Позже такие машины стали устанавливать во Франции и Германии. Еще позже швейцарец Генрих Зоэлли предложил использовать грунт слоев земли как низкопотенциальный источник теплоты. В 1912 году он получил патент на свое изобретение.

Во многом новые инженерные решения были придуманы благодаря дефициту топлива в течение Первой мировой войны. После 1918 года начали проводить исследования использования тепловых насосов с целью обогрева зданий, и в результате проекты домов с отоплением на базе таких установок были реализованы.

Первую теплонасосную установку для отопления своего дома построил в 1927 году в Шотландии английский инженер Д. Холдейн. В качестве ТН была использована холодильная машина с электроприводом в 5 кВт. В установке имелось

два испарителя. Один испаритель был установлен вне помещения для использования тепла наружного воздуха, а другой был погружен в бак с проточной водой, установленный внутри помещения.

Первая крупная теплонасосная установка в Европе была введена в действие в Цюрихе в 1938-39 гг. В ней использовались тепловая энергия речной воды, ротационный компрессор и хладагент.

Она обеспечивала отопление ратуши водой с температурой 60 °С при мощности 175 кВт. Имелась система аккумулирования тепла с электронагревателем для покрытия пиковой нагрузки. В летние месяцы установка работала на охлаждение. В период с 1939 по 1945 годы было создано еще 9 подобных установок с целью сокращения потребления угля в стране. Некоторые из них успешно проработали более 30 лет.

В конце 40-х годов в США было установлено, что коммерческий успех будет выше, если производить «агрегированные» установки, полностью собранные на заводе-изготовителе и встроенные в дома, и с 1952 г. такие тепловые насосы стали поступать на рынок в большом количестве.

Общее число работающих ТНУ в США превышает в настоящее время 30 млн ед., а ежегодный выпуск составляет более 1 млн ед. Этому способствовал ряд факторов: большая часть территории США имеет низкоплотную индивидуальную застройку в условиях сравнительно теплого климата, поэтому низкотемпературные системы отопления небольшой мощности на базе ТНУ нашли широкое распространение, в отличие от централизованных систем теплоснабжения, и имеющиеся ограничения ТН по нагреву теплоносителя на уровне 50-60 °С в таком климате не стали препятствием.

## 2.2. Этапы развития тепловых насосов

### *1975–1985: годы становления*

Этот период характеризуется различными амбициозными инициативами, исследованиями и разработками. Кроме того, было проведено большое количество полевых измерений и исследований [44].

Определенным успехом на рынке пользовались тепловые насосы неглубокого залегания с грунтовым источником тепла, часто со змеевиками прямого расширения. Эта технология получила поддержку Департамента энергетики Швеции – выделялись щедрые государственные субсидии и гранты, результатом которых в начале 1980х годов становится «всплеск» интереса к тепловым насосам. В 1985 году в системе централизованного теплоснабжения Швеции уже работало около 100 те-

пловых насосов мегаваттной мощности, кроме этого около 110 000 насосов малой мощности использовались в жилых домах.

В Стокгольме с 1985 действует самая большая теплонасосная установка Ropsten суммарной мощностью 250 МВт на морской воде  $\geq 2$  °С., а также Hammarby с тепловой мощностью 200 МВт на сточных водах  $\geq 8$  °С.

Проблем с хладагентами не возникало: вопросы истощения озонового слоя и глобального потепления были неизвестны. В системах с грунтовым источником обычно использовались R22 или R502.

Уникальная особенность того времени – работа многих систем исследовалась с момента создания еще длительное время, что позволило накопить существенный опыт.

Типичный расчетный средний сезонный коэффициент эффективности тепловых насосов (отношение количества всей энергии, вырабатываемой тепловыми насосами в течение года, к количеству энергии, расходуемой на их работу, включая энергию, вырабатываемую резервным источником теплоснабжения (если предусмотрен): 2,0–2,5 (грунтовой источник), 1,5–2,2 (наружный воздух) и 2,0–2,5 (вытяжной воздух).

### *1986–1995: крушение рынка и прекращение использования хладагента*

Начало периода характеризовалось окончанием энергетического кризиса, и как следствие снижением стоимости мазута и других видов топлива, на фоне этого ТНУ стали менее привлекательными. Прекращение использования фреона еще более усложнило жизнь производителей. Та же Швеция оказалась на передовой запрета озоноразрушающих веществ и запустила первую национальную исследовательскую программу в области альтернативных хладагентов: R143 быстро стал заменой для R12, R404A и R507 – для R502, а затем R407C – для R22. И уже в начале 1990 х в Швеции было установлено большое количество тепловых насосов «воздух – воздух», которые еще не были полностью адаптированы для работы в ее климатических условиях: изменение температуры наружного воздуха выше или ниже ожидаемых границ вызывало неполадки.

Тогда же появились пластинчатые теплообменники, позволившие существенно уменьшить объем используемого хладагента и снизить разницу температур в теплообменнике. Компрессоры становились все более эффективными.

Типичный расчетный средний сезонный коэффициент эффективности тепловых насосов достигал:

– для частных жилых домов 2,5–3,0 (грунтовой источник), 2,0–2,5 (наружный воздух) и 2,5–3,5 (вытяжной воздух);

– для системы централизованного теплоснабжения 2,5–3,0 (сточные воды ~ 10 °С, централизованное теплоснабжение ~ 80 °С).

***1996–2000: восстановление рынка***

Данный период можно охарактеризовать некоторым восстановлением рынка ТН во всей Европе, особенно для установок малой мощности, таких как тепловые насосы, использующие в качестве источника теплоты вытяжной воздух (ТН с ВВ).

Данные агрегаты устанавливались преимущественно в новых домах и выполняли функцию систем рекуперации теплоты для бытового горячего водоснабжения, что соответствовало строительным требованиям, действующим на тот момент. Новые требования к строительству предполагали увеличение теплоизоляции зданий, благодаря чему отопительная нагрузка небольших жилых зданий снизилась. Тепловая мощность ТН с ВВ позволила покрывать приблизительно 50% энергетической нагрузки (остальную часть обеспечивал вспомогательный электрический нагреватель). С этого времени ТН с ВВ стали стандартным решением для отопления малых и средних жилых домов не только в передовой в этом направлении Швеции, но и во многих европейских странах, а их монтаж и подключение стали обычными услугами.

***2001–2005: взлет рынка и совершенствование продукции***

В эти годы наблюдалось весьма широкое распространение тепловых насосов. Образовался устойчивый рынок, особенно для установок, предназначенных для частных домов – тепловых насосов с грунтовым источником (ТН с ГИ), в которых контроль производительности был стандартной функцией.

Швеция, как и некоторые другие европейские страны, в это время запустила правительственные программы, поддерживающие инвестиции, нацеленные на снижение расхода мазута и модернизацию домов с электрическим отоплением. Быстро внедряются тепловые насосы «воздух – вода»: появились новые модели, благодаря выгодной инвестиционной стоимости и/или неблагоприятным условиям для бурения.

Конструкция тепловых насосов для жилого сектора становится более совершенной: с использованием систем управления, оптимально подбирающих температуру приточного теплоносителя к температуре наружного воздуха, с минимальным временем простоя между запусками системы, с использованием защитных циклов от легионеллы и т.д., а R407C становится стандартным хладагентом.

Типичный расчетный средний сезонный коэффициент эффективности тепловых насосов достигал:

- для частных жилых домов 2,5–3,5 (грунтовой источник), 2,0–3,0 (наружный воздух), 2,5–3,5 (вытяжной воздух);
- для системы централизованного теплоснабжения 2,5–3,5 (сточные воды ~ 10 °С, централизованное теплоснабжение ~ 80 °С), 4,0–6,0 (комбинированное отопление и охлаждение).

### *2006-2016 годы*

Тепловые насосы с грунтовым источником в Швеции достигли высокого признания; порядка 30% частных домов на данный момент отапливаются различными системами с тепловыми насосами.

Этот метод сегодня является предпочтительным для односемейных домов с умеренными энергетическими нагрузками. Для меньших домов с малыми энергетическими нагрузками стандартным решением являются тепловые насосы с источником теплоты из вытяжного воздуха. Но вполне возможно, что вскоре широкое распространение получат системы с двойным источником теплоты – вытяжной воздух и грунтовой теплообменник, поскольку это позволит достичь лучшего эффекта, что согласуется с требованиями новых европейских директив в области энергоэффективности.

Распространению ТН в Швеции способствовали три важных фактора [43]:

- субсидии правительства на переход от использования жидкого топлива и электрообогрева к отоплению тепловыми насосами;
- рост строительства нового жилья;
- введение Шведской ассоциацией тепловых насосов сертифицирования монтажных организаций, подтверждающего наличие достаточной квалификации для установки ТН.

Особое внимание также уделялось потребительской надежности и безопасности тепловых насосов.

Кроме того, в Швеции действует около 100 мощных (более 200 кВт) тепловых насосов с грунтовым источником для отопления и охлаждения офисных зданий, а также около 40 систем с открытым контуром (грунтовые воды) большой мощности.

Внимание производителей обращается к рабочей жидкости теплового насоса: предпринимаются попытки введения новых требований или маркировки для продвижения так называемых натуральных хладагентов. Стандартным выбором является R407C или R404A, R410A или R134A.

В Финляндии увеличение капитальных расходов на ТН по сравнению с электрообогревом и котлами, работающими на жидком топливе, в течение 35 лет окупаются сокращением эксплуатационных расходов. Это способствовало расширению продаж ТН. Их доля на рынке теплоснабжения за последние 10 лет выросла с 1 % до 30 % (для ТН с использованием теплоты грунта).

Европейская ассоциация по тепловым насосам (The European Heat Pump Association, ЕНРА) в рамках ежегодного отчета представила данные по продажам теплонасосного оборудования в 2015 г. [30]. Согласно опубликованному отчету, европейский рынок тепловых насосов вырос на 10% по сравнению с данными 2014 г. (рис. 9).

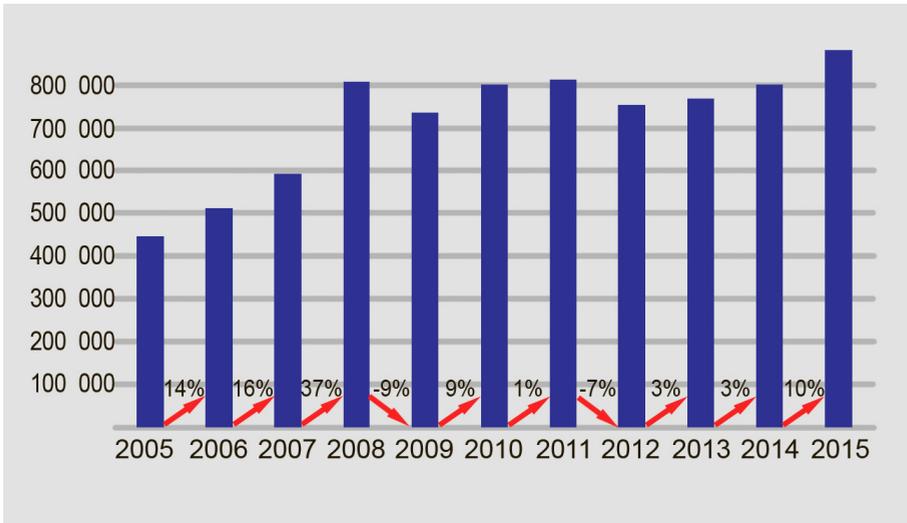


Рис. 9. Статистика продаж тепловых насосов в Европе в 2005–2015 гг.

В результате зафиксирован рекорд по продажам, который составил 880 179 единиц оборудования. И если с точки зрения роста рынка были и лучшие времена (2005–2007 гг.), то в абсолютных цифрах поставлен рекорд по продажам тепловых насосов за год.

Рост продаж на европейском рынке тепловых насосов в основном обусловлен динамично развивающимся сегментом воздушных тепловых насосов (источником низкопотенциальной тепловой энергии является воздух). В абсолютных цифрах рост продаж по сравнению с 2014 г. составил в сегменте «воздух–воздух» 46 000 единиц, в сегменте «воздух–вода» 18 000 единиц.

По странам наибольшее увеличение продаж тепловых насосов зафиксировано в Средиземноморском регионе – в Испании (+ 28 000 ед.), Италии (+ 20 000 ед.), Франции (+ 16 000 ед.). Общая картина по всей Европе представлена на рис. 10.

На рис. 10 представлена статистика продаж теплонасосного оборудования в 2005–2015 гг. с разбивкой по типам оборудования. Наглядно виден рост продаж воздушных тепловых насосов. И если сравнить 2005 и 2015 гг., то видно, что продажи геотермальных тепловых насосов (источником низкопотенциальной тепловой энергии является преимущественно грунт, также возможно использование поверхностных и грунтовых вод) остаются примерно на одном уровне, в продажах тепловых насосов «воздух–воздух» наблюдается рост порядка 25 %, у тепловых насосов «воздух–вода», рост самый ощутимый – примерно в 6–7 раз.

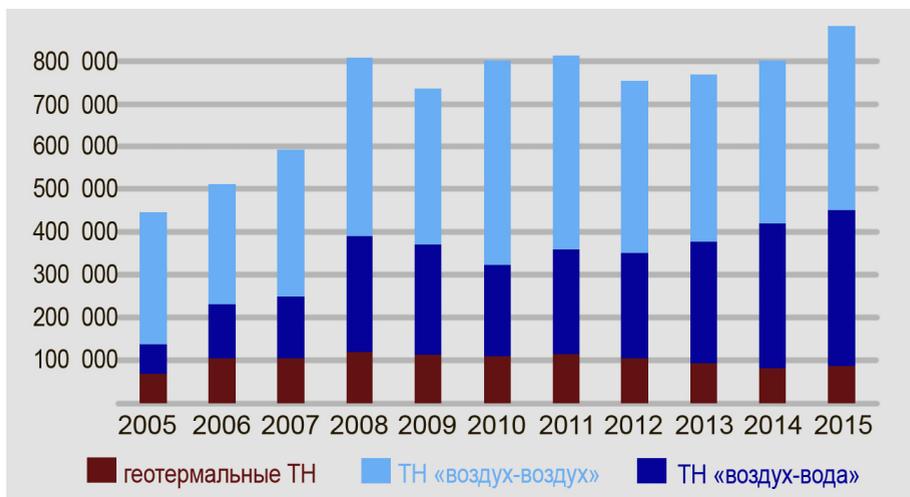


Рис. 10. Статистика продаж тепловых насосов с указанием долей продаж по типам оборудования

Если говорить о продажах тепловых насосов в привязке к 1000 домовладений в конкретной стране (своего рода плотность распространения теплонасосного оборудования), то пятерка лидеров выглядит следующим образом: Швеция (30 на 1000), Норвегия (29,7 на 1000), Эстония (28 на 1000), Финляндия (23 на 1000), Дания (12,3 на 1000). Наибольший потенциал для роста наблюдается в Германии и Великобритании.

Количество проданных тепловых насосов по странам отражено на рис. 11. Пятерка лидеров: Франция (209 000 ед.), Италия (121 000 ед.), Швеция (103 000 ед.), Испания (83 000 ед.), Германия (70 000 ед.).

Увеличению продаж тепловых насосов на европейском рынке способствует и то, что многие страны, в частности Франция, Швеция, Германия, ввели льготные программы в качестве поощрения за установку тепловых насосов, поскольку по сравнению с котлами и другими устройствами, использующими в качестве источника тепла сжигание топлива, тепловые насосы «воздух — вода» отличаются более высокими капитальными затратами.

Кроме того, один из пунктов широко известного Плана Европейской комиссии «20–20–20» устанавливает доведение доли энергии из возобновляемых источников до 20 % от общего уровня энергопотребления. Применение тепловых насосов «воздух — вода» рассматривается как один из инструментов повышения энергоэффективности и снижения нагрузки на окружающую среду, что в итоге должно способствовать достижению поставленных целей.

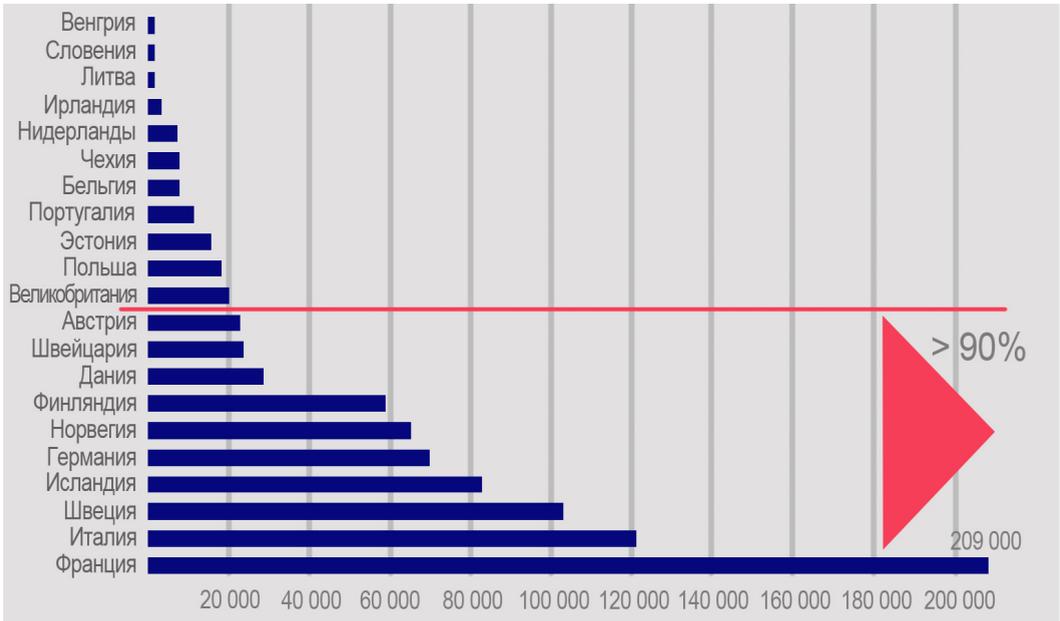
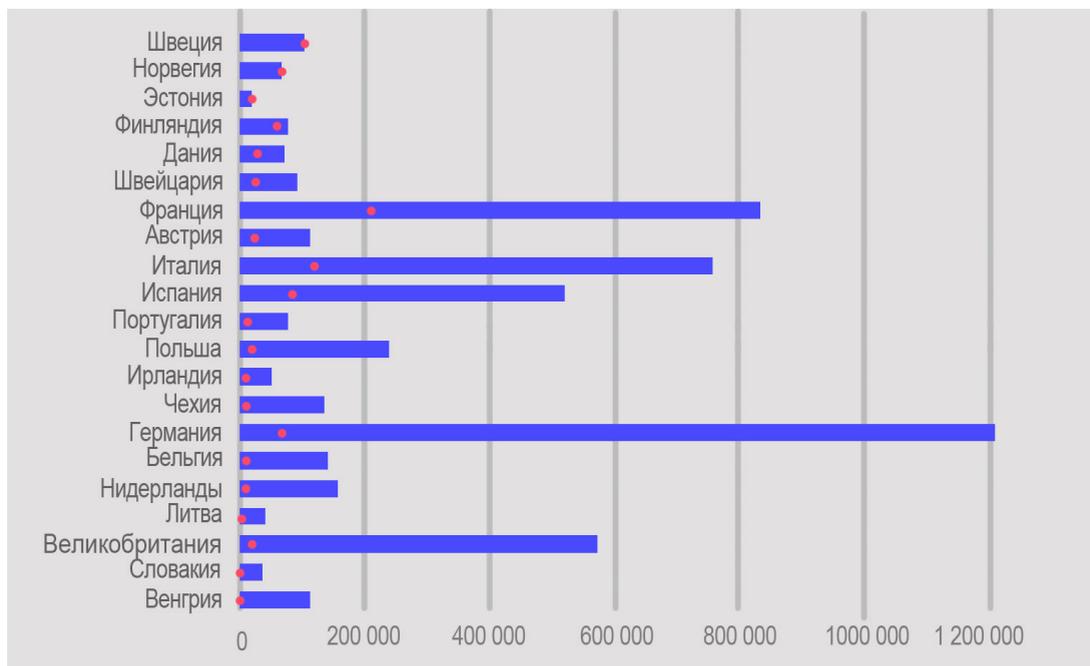


Рис. 11. Количество проданных тепловых насосов в 2015 г. по странам

Анализируя потенциал продаж (рис. 12), ЕНРА прогнозирует, что если европейские национальные рынки продаж достигнут уровня шведского рынка и темпы роста не уменьшатся, то в сравнительно небольшой срок количество тепловых насосов в Европе может вырасти до 60 млн. Этого достаточно, чтобы заменить российский газ, используемый на нужды отопления.

По словам генерального секретаря ЕНРА Томаса Новака (Thomas Nowak), такие показатели еще не достигнуты. Но интерес к тепловым насосам в Европе постоянно растет. Все большее число экспертов приходят к выводу, что декарбонизация отопительного сектора невозможна без использования тепловых насосов. Население также обращается к данным технологиям. Отмечается рост числа городов, претендующих на награду ЕНРА «Город года по использованию тепловых насосов» («Heat Pump City of the Year»). Однако в Европейском союзе пока не созданы условия, способствующие широкому внедрению эффективных и лучших технологий.

В европейских странах действуют регламенты по повышению энергоэффективности, предписывающие улучшать теплоизоляцию зданий. Это приводит к снижению тепловой мощности, необходимой для отопления домов. Следствием этого становится уменьшение производительности тепловых насосов, устанавливаемых в новостройках.



**Рис. 12.** Потенциал продаж тепловых насосов в 2015 г. в Европе при условии, что спрос во всех европейских странах в пересчете на 1000 домовладений был бы аналогичен спросу в Швеции. Фактические продажи в 2015 г. отмечены красной точкой

Рынок тепловых насосов «воздух-вода» продолжает демонстрировать стабильный рост. По оценкам JARN, в 2015 году его объем составил 1 779 500 единиц оборудования, что на 2 % больше показателей предыдущего года. Тепловые насосы «воздух-вода» имеют широчайшую область применения, и в последнее время все чаще используются в производственных процессах.

Европейский рынок тепловых насосов «воздух-вода» в 2015 году достиг объема в 244 000 единиц оборудования, показав рост на 5,2 % по сравнению с 2014 годом. Крупнейшие потребители такой техники в регионе – Франция, Германия и Великобритания. Там эти тепловые насосы применяются, главным образом, для отопления помещений, однако, растет спрос и на приборы, обеспечивающие горячее водоснабжение.

В Китае рынок тепловых насосов вырос за год на 4,9 % - до 1 035 000 единиц.

В Японии, согласно данным Ассоциации индустрии холода и кондиционирования JRAIA, в 2015 году было продано более 406 700 тепловых насосов Eco Cute, что меньше показателей предыдущего года на 6,7 %.

**Стимулирование рынка тепловых насосов «воздух — вода» в Китае.** 2012 и 2013 годы стали важными вехами в развитии китайского рынка тепловых насосов «воздух — вода», используемых в качестве водонагревателей. В 2012 году эти устройства впервые были включены в государственную программу субсидирования покупки энергосберегающего оборудования. В 2013 году эта программа завершилась, и вступили в силу новые, более жесткие стандарты энергоэффективности [62].

Вмешательство государства сыграло ключевую роль в быстром развитии сегмента тепловых насосов для нагрева воды. 1 июня 2012 года начал действовать регламент по энергоэффективности тепловых насосов «воздух — вода», согласно которому, в частности, этот вид оборудования подпадал под программу государственного субсидирования. Размер субсидии, выделяемой на покупку теплового насоса, составлял от 300 до 600 юаней. Всего в программе приняли участие 58 предприятий. По данным статистических исследований, в 2012 году государственное стимулирование способствовало росту рынка тепловых насосов для нагрева воды на 35%.

Когда программа субсидирования была завершена, Китайская ассоциация энергосбережения (СЕСА) и Альянс индустрии тепловых насосов Китая (СНРІА) объединили усилия местных производителей тепловых насосов, создав рабочую группу для выработки предложений, развивающих этот важный сегмент.

Государство поощряет использование тепловых насосов для нагрева воды, предоставляя субсидии по договору об электроснабжении. По условиям договора размер субсидии зависит от количества сэкономленной электроэнергии. Таким образом, стимулируется разработка все более энергоэффективных устройств.

Местные власти также стараются поощрять использование таких тепловых насосов. В частности, в Цзянсу, Шанхае и Чунцине выделяются субсидии на приобретение подобных устройств. В провинции Цзянсу тепловые насосы «воздух — вода» включены в двенадцатилетний план по энергосбережению зданий и сооружений. Власти Ханьдяня, города в провинции Хэбэй, также поощряют использование этих агрегатов.

Таким образом, тепловые насосы широко распространены в регионах и странах, различных как по климату, так и по способам регулирования.

## 3. АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ УСЛОВИЙ

### 3.1. История развития ТН в России

Первые научные работы по тепловым насосам в СССР можно отнести к 1920 году (В. А. Михельсон). В 30-е годы исследованиями тепловых насосов начали заниматься в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского, Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф. Э. Дзержинского, Центральном котлотурбинном институте им. И. И. Ползунова и других организациях. К сожалению, все эти работы не находили практического применения и имели в основном обзорный и расчетно-теоретический характер.

В 50-е годы значительный технический прогресс в советском машиностроении, развитие холодильной техники и строительство мощных гидроэлектростанций создали благоприятные условия для широкомасштабного применения ТНУ. Для теплоснабжения были предложены конкретные проекты применения ТНУ, использующих разные источники теплоты.

В 1952 г. проводилось Всесоюзное совещание по вопросу применения ТН в народном хозяйстве СССР. Была дана положительная оценка работе, выполненной в ряде центров Советского Союза в области тепловых насосов, и принят ряд рекомендаций по уточнению дальнейшей направленности теоретических и практических работ в данной области. В связи с дешевизной углеводородного топлива тепловые насосы были признаны нерентабельными, однако работы по их исследованию в стране продолжались. В конце 50-х годов в г. Волжском была разработана и сооружена теплонасосная система отопления и круглогодичного кондиционирования воздуха в кинотеатре «Спутник». Установка состояла из трех одинаковых теплонасосных агрегатов, один из которых работал на водяную и два – на воздушную системы отопления.

Первая опытно-промышленная ТНУ была сооружена на Губской чайной фабрике в 1967 г. для теплоснабжения чаезавялочного агрегата и технологического кондиционирования воздуха роллерно-ферментационного цеха.

ВНИИхолодмашем в 1986-89 гг. был разработан ряд парокompрессорных тепловых насосов тепловой мощностью от 17 кВт до 11,5 МВт десяти типоразмеров «вода-вода», двух типоразмеров «вода-воздух».

С 1987 по 1992 годы наиболее востребованные тепловые насосы 4-х типоразмеров: ТХУ14, НТ100, НТ300, НТ8500 были выпущены общей тепловой мощностью 40 МВт. Два наиболее крупных тепловых насоса НТ8500 были установленных на

Светогорском целлюлозно-бумажном комбинате (г. Светогорск, Ленинградская обл.) общей тепловой мощностью 17 МВт. Они работали в замкнутом контуре охлаждения технологической воды, отводящей теплоту технологических процессов, за счет ее утилизации.

После распада СССР и спада производства почти все освоенные тепловые насосы оказались невостребованными, а еще позже оказались физически и морально устаревшими (в большинстве из них в качестве хладагента применялся ныне запрещенный фреон R12).

В последние годы в Новосибирской области – одном из центров теплонасосостроения в России – благодаря региональной программе энергосбережения специалистам ЗАО «Энергия» за несколько лет удалось внедрить более 200 ТН различной мощности. Идёт применение ТН для отопления индивидуальных домов, коммерческих объектов, однако, в целом спрос на ТН в России не велик.

## 3.2. Анализ низкотемпературных источников теплоты средней полосы России для тепловых насосов

К низкотемпературным источникам теплоты (НТИТ) для тепловых насосов относятся отработанная теплота и энергия окружающей среды. Источниками энергии из окружающего пространства служат солнечная энергия и её производные в виде воздуха, грунтовых и поверхностных вод, а также аккумулированная тысячами лет теплота, исходящая из недр Земли. Рассмотрим особенности некоторых НТИТ, характерных для территории средней полосы России [71].

### 3.2.1. Солнечная энергия

Наиболее распространёнными устройствами использования солнечной энергии для её превращения в тепловую являются концентрирующие и непосредственно поглощающие солнечный поток (солнечные коллекторы и абсорберы, или панели).

В случае сконцентрированной солнечной энергии получают высокие плотности теплового потока и, соответственно, температуры нагреваемого тела, чего не нужно для теплового насоса. Остается вариант использования фотоэлектрического преобразователя (ФЭП), КПД которого зависит от температуры, и получения при его охлаждении электроэнергии, а на выходе ТН – нагретого теплоносителя.

В схеме на рис. 13 испаритель 3 теплового насоса отбирает теплоту («холодный» источник) фотоэлектрического преобразователя 2, облучаемого лучистым

потоком  $Q$  от концентратора 1 солнечного излучения. Электроэнергия  $W$  от ФЭП поступает на привод компрессора 4, где происходит повышение давления и температуры теплоносителя, который затем поступает в конденсатор 5, и его теплота, включающая  $W$ , через теплообменник 6 передаётся на тепловую нагрузку 7. Охлаждённый теплоноситель проходит через регулирующий вентиль (детандер) 8 в жидком виде вновь поступает в испаритель 3.

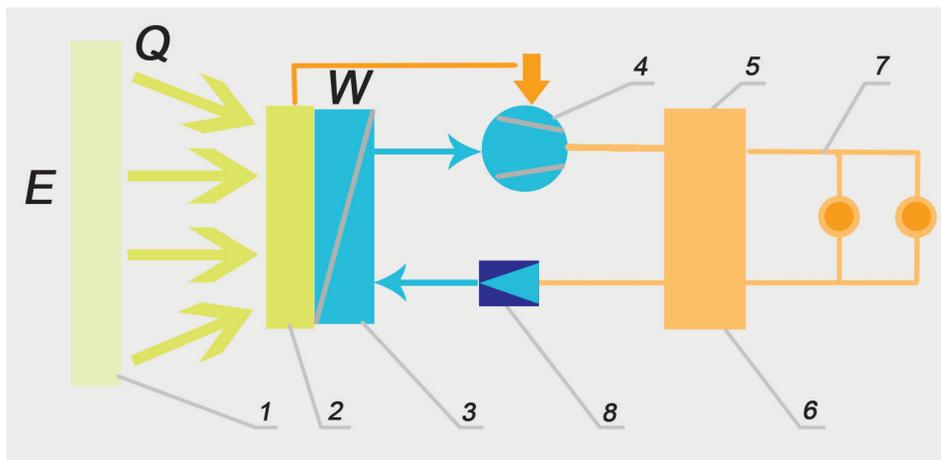


Рис. 13. Схема системы тепло- и электроснабжения с концентратором, ФЭП и тепловым насосом: 1 - концентратор солнечного излучения; 2 - ФЭП; 3 - испаритель; 4 - компрессор; 5 - конденсатор; 6 - теплообменник; 7 - нагрузка; 8 - регулирующий вентиль

Однако, расчеты показывают (см. приложение 1), что такая система не состоятельна. КПД реальной системы составит 0,33, что ниже КПД солнечного коллектора, а мощность ФЭП приблизительно равна мощности, необходимой для привода компрессора.

Если рассматривать несконцентрированную солнечную энергию, то в качестве приёмников солнечной радиации для ТН рассматриваются солнечные коллекторы и абсорберы. Применение солнечных коллекторов в зимний и переходный периоды на территории РФ крайне ограничено незначительной плотностью солнечной радиации, облачностью, низкими температурами окружающей среды, снежными покровами. Солнечные абсорберы не имеют прозрачной изоляции, поэтому при отсутствии или низкой солнечной радиации они могут работать как воздушные теплообменники с естественной циркуляцией воздуха (конвективный теплообмен при отсутствии снежного покрова). В целом эффективность таких систем крайне

низка из-за незначительного коэффициента теплоотдачи (средняя скорость ветра 3–4 м/с) и неизбежного обледенения абсорберов.

Итак, возможные ТНУ с использованием солнечной энергии при рассмотренных условиях не являются напрямую целесообразными.

Ради справедливости можно отметить, что в климатических условиях, например, Арабских Эмиратов, использование солнечной энергии для обеспечения работы абсорбционных тепловых насосов в качестве кондиционеров вполне целесообразно и уже воплощено в серийном оборудовании.

### 3.2.2. Воздух

Для применения воздуха окружающей среды в качестве НТИТ в состав периферийного оборудования теплонасосных установок необходимо включать воздушные теплообменники с вентиляторами. Воздух подаётся в теплообменник испарителя ТН, отдаёт теплоту и, охлаждённый, возвращается в окружающую среду.

Что при этом происходит в штилевую погоду? Охлаждённый воздух как более плотный осаждается вокруг отапливаемого здания. Для поддержания в помещении заданной температуры потребуются увеличить термическое сопротивление наружных ограждений здания, учесть снижение температуры инфильтрационного воздуха здания. В стационарном режиме подведённая в здание теплота равна теряемой через ограждения. Температура отходящего воздуха будет выше температуры среды и, как менее плотный, чем нижние слои воздуха, он будет подниматься вверх. Воздушные потоки (ветер), неразрывность потоков и прочие факторы способствуют перемешиванию отработанного воздуха с окружающим, но это мало что меняет. В больших массивах застройки будет происходить изменение микроклимата, а прокачанный через вентиляторы ТН воздух изменит свои свойства не в лучшую сторону, плюс такое оборудование создает высокий уровень шума. Основным же возражением против использования в отопительный период воздуха в качестве НТИТ в РФ будет, как и следует из инструкций к воздушным ТН, требование работы при положительных ( $> 2-3$  °С) температурах среды.

Для эффективной работы ТН перепад температур между НТИТ и подающей линией (50 °С) должен быть 10–15 °С при максимально допустимом 45–50 °С,, а для условий средней полосы России он составляет 53–71 °С и более. Поэтому коэффициент использования первичной энергии будет незначительным (при степени термодинамического совершенства реального процесса  $\nu = 0,5$ , КПД электростанции 0,35 и расчётной температуре воздуха от  $-3$  до  $-21$  °С  $\Psi = 1,1-0,68$ ).

Таким образом, применение «воздушных» ТН в условиях средней полосы России вызывает ряд вопросов. Однако их конкурентоспособность растет с повышением технических параметров установок и возможностью эффективной работы при низких температурах воздуха. Есть примеры эффективной работы таких ТНУ в европейских странах с теплым климатом. При благоприятных экономических условиях есть потенциал их внедрения и в южных регионах России.

### 3.2.3. Грунтовые воды

Наиболее предпочтительным кажется использование теплоты природных водных ресурсов, в частности, грунтовых вод, ввиду доступности и относительной простоты схемы низкотемпературного (до 50 °С) теплоснабжения, состоящей в подаче воды и её возврате в водоём через соответствующие скважины.

Однако и здесь возникает ряд вопросов, требующих решения. В качестве примера рассмотрим систему теплоснабжения одноэтажного отдельно стоящего жилого дома с отапливаемой площадью  $F = 100 \text{ м}^2$ , в котором проживает 5 человек, расположенного в Московской области. В соответствии с нормативами и по данным некоторых источников, годовая тепловая нагрузка подобного объекта, включающая отопление и горячее водоснабжение, составляет 28 МВт·ч.

Если 75 % этой нагрузки осуществить за счёт НТИТ, то  $Q_{\text{НТИТ}} = 21 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ , и требуемый объём перекачиваемой воды  $\approx 2590 \text{ м}^3/\text{год}$ , что приведёт к дополнительному расходу электроэнергии. Если вода не проточная, то не исключено перемешивание охлаждённой и грунтовой вод, т.е. деградация источника теплоты вплоть до полного истощения. Таким образом, проточные источники выглядят перспективнее.

В любом случае, если дом не одиночный, потребуется такое расположение зданий, чтобы не «обирать» соседей. Обязательным условием является размещение скважин, исключающее замораживание воды, т.е. преимущественно внутри здания.

С учётом расхода электроэнергии на водоподъём, коэффициент преобразования теплоты теплонасосной установки составляет  $\varepsilon = 1,87$ , а коэффициент использования первичной энергии  $\Psi = \eta \cdot \varepsilon = 0,66$ , где  $\eta$  – КПД электростанции ( $\eta = 0,35$ ). Такое значение коэффициента  $\Psi$  сравнимо со степенью использования первичной энергии в котлоагрегатах с угольной топкой.

Использование теплоты грунтовых вод может быть целесообразным при определенных условиях, однако требует гидрологической и экологической проработки для каждого конкретного объекта, включая влияние на вышележащий грунт.

### 3.2.4. Грунт

Грунт поверхностных (глубиной до 400 м) слоёв земли рассматривается энергетиками как низкопотенциальный источник энергии для тепловых насосов. В частности, в Москве и Ярославской области в конце 90-х – начале 2000-х годов введено в эксплуатацию несколько объектов с грунтовыми термоскважинами для тепловых насосов системы теплоснабжения зданий. Экспериментальные исследования проводились в отопительный период только в первый или первые (экопарк «Фили») годы эксплуатации.

В связи с тем, что с каждым годом площадь охлажденного массива грунта будет увеличиваться, возникает вопрос о масштабах этого процесса и его влиянии на окружающую среду, в частности, на растениеводство. Рассмотреть эту проблему (а ведь ряд авторов предлагают массовое внедрение технологии) можно на примере покрытия тепловой нагрузки системы теплоснабжения дома, рассмотренного выше. Тепловые нагрузки приведены в следующей таблице.

Таблица 3

Тепловые нагрузки жилого дома

Показатели, МВтч	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Отопительная нагрузка	2,3	2	1,8							1	1,5	2
Нагрузка горячего водоснабжения	0,85	0,77	0,85	0,82	0,85	0,82	0,85	0,85	0,82	0,85	0,82	0,85
Тепловая нагрузка здания	3,2	2,8	2,7	1,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	1,9	2,3	2,9

Термоскважина представляет собой теплообменник типа «труба в трубе», погруженный вертикально в грунт с геотермическим градиентом  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/(100\text{ м})$  и нейтральной глубиной 10 м. Циркулирующий в теплообменнике теплоноситель отбирает тепловую энергию из грунта и подаёт его в теплообменник испарителя теплового насоса. Охлаждённый теплоноситель вновь поступает в скважину.

Мы не будем рассчитывать весь цикл теплонасосной установки, для этого есть подробные рекомендации, а ограничимся только процессами теплопереноса из

грунта в теплообменник термоскважины. В данном примере (расчеты приведен в приложении 2), масса охлаждаемого за год грунта составляет  $\approx 13\ 000$  тонн.

Расчёты начинались с октября, т.е. с начала отопительного сезона, в предположении полностью естественно прогретого грунта (первый год эксплуатации). Полное покрытие тепловой нагрузки происходит при глубине скважины  $h \approx 225$  м. Однако на 2-й и каждые последующие годы эксплуатации отопительный период будет начинаться при всё более толстом охлаждённом слое грунта, т.е. всё увеличивающемся термическом сопротивлении  $R$ . Если говорить об уменьшении мощности скважины глубиной 225 м в течение 40 лет эксплуатации, на второй год не обеспечивается тепловая нагрузка в отопительный период (октябрь - апрель); на 4 – 5-й годы мощность скважины устанавливается на отметке  $\approx 2,5$  кВт и плавно уменьшается до 2,3 кВт за 40 лет эксплуатации.

При использовании тепловых насосов возможно применение догревателей, но прежде нужно оценить, какой ценой досталась «бесплатная» теплота грунта. Рассчитав расход первичной энергии на изготовление труб ТН, получим, что за 10 лет термоскважина выработает порядка 88% затрат. Если учесть остальные затраты энергии (бурение и обустройство скважины, сварка труб, изготовление теплообменника, теплового насоса, фильтра, циркуляционного насоса, системы автоматики, монтажные работы, транспорт и т.д.), то, получим срок окупаемости несколько десятков лет.

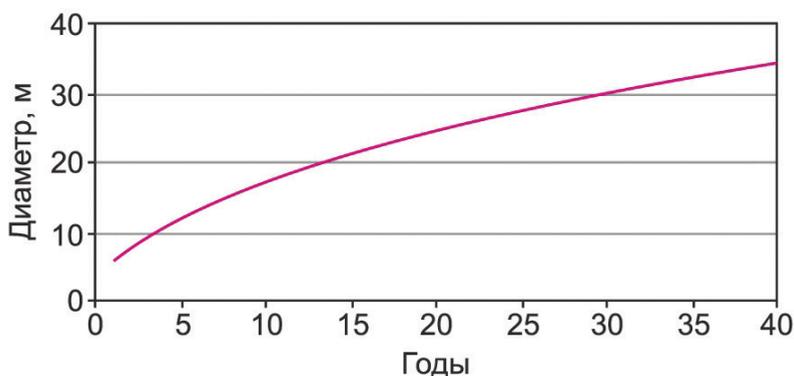


Рис. 14. Увеличение диаметра охлажденного грунта термоскважины 225 м за годы эксплуатации

На рис. 14 показано увеличение диаметра охлаждённого грунта во время эксплуатации. На второй год эксплуатации диаметр составит 8 м, на 5-й – 13, на 25-й

– 28 м, что по площади более «шести соток», а на сороковой – 37 м, т.е. 1100 м<sup>2</sup>, что в 11 раз больше площади дома, а это, по существу, равносильно отчуждению земли. Кроме того, необходимо учитывать, что по окончании эксплуатации в земле останутся ржавые трубы с «начинкой». Расчеты показывают, что если на летний период (май-сентябрь) полностью отключить отбор тепла из грунта, т.е. остаться без горячего водоснабжения, то к октябрю произойдёт практически полная релаксация.

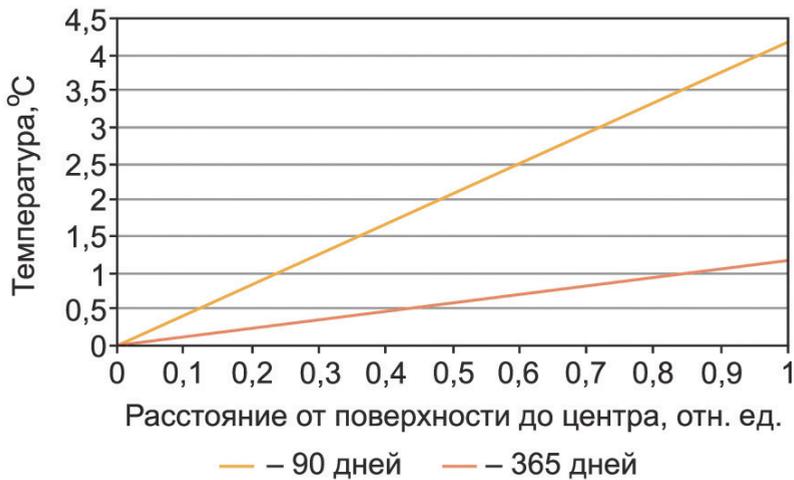


Рис. 15. Температура нейтрального слоя грунта толщиной 10 м с начальной температурой 10°C через 90 и 365 дней охлаждения

Однако как долго будет сказываться влияние охлаждённого грунта на окружающую среду? При постановке задачи имеется много факторов, связанных с климатическими и теплообменными особенностями, корректное решение задачи на всё разнообразие краевых условий требует большого объёма вычислительных работ. На частном примере можно увидеть, что охлаждение нейтрального слоя происходит достаточно быстро, и это оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Принимая толщину нейтрального слоя 10 м и его температуру  $T_0=10^\circ\text{C}$ , получим распределение температуры в слое грунта, в частности, через 90 и 365 дней (рис. 15). Видно, что охлаждение нейтрального слоя грунта происходит достаточно быстро по сравнению с временем эксплуатации скважины, что делает грунт непригодным для растениеводства, а также может оказывать негативное воздействие на экологическое равновесие.

Таким образом, рассматривая проекты с грунтовыми ТНУ, необходимо корректно учитывать не только все затраты и получаемые энергетические потоки, но и экологические эффекты в части охлаждения грунта, что может грозить отчуждением земли для растениеводства и нарушением экологического равновесия.

### *3.2.5. Сбросное тепло*

Сбросное тепло представляется одним из самых приемлемых низкотемпературных источников для тепловых насосов. Установки можно строить с использованием отработанной теплоты воздуха, промышленных или сточных вод, теплоты технологических процессов (например, охлаждение или пастеризация молока).

Это, однако, ограничивает область применения ТНУ зависимостью от производства с наличием сбросного тепла, в то время как потребность в ТНУ гораздо шире.

### *3.2.6. Ледовый накопитель*

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии и альтернативы дорогостоящим геотермальным скважинам в настоящее время развивается и находит свое применение инновационный источник – накопитель энергии во льду. Ледохранилище представляет собой подземный бетонный бункер, заполненный водой. В бункере по спирали проложены пластиковые трубы рассольного контура теплового насоса.

При работе теплового насоса происходит отбор тепловой энергии от воды, пока не будет достигнута температура 0 °С. Дальнейший отбор тепла и превращение воды в лед так же оправданы, т.к. при фазовом переходе выделяется дополнительная тепловая энергия.

В зимний период, чтобы растопить лед, используется энергия солнечных коллекторов и геотермальное тепло земли. Летом же наоборот, лишняя тепловая энергия из бункера отводится через стенки в грунт, таким образом, предотвращается возможность перегрева бункера. Холод, накопленный зимой, может использоваться для охлаждения помещений в летний период. Необходимо отметить следующие преимущества системы:

- сейсмоустойчивость;
- экономия пространства (при плотной городской застройке можно расположить под зданием);
- полноценная замена геотермальным зондам (не требует бурения);
- круглогодичное использование.

Итак, анализ низкотемпературных источников теплоты для тепловых насосов показывает, что использование ТНУ в регионах средней полосы России встречает ряд сложностей. В этих широтах солнечная энергия и энергия воздуха в ряде случаев оказываются малоэффективны, а охлаждение грунтовых вод и грунта может приводить к отчуждению земли для растениеводства.

Тем не менее, анализ возможности реализации проектов с ТНУ на территории РФ, опыта реализованных проектов показывает, что в большинстве случаев возможно подбирать схемное решение, которое окажется при определенных условиях выгодным.

В целом наиболее перспективными низкопотенциальными источниками для российских регионов являются:

- теплота естественных природных водных источников: рек, озер, наземных и подземных водоемов со средней температурой около 10 °С;
- сбросная теплота канализационных стоков и других источников;
- сбросная теплота в градирнях (с выхода паровых турбин ТЭЦ в отопительный период в режиме вентиляционного пропуска с температурой пара на выходе 30-35 °С).

Несмотря на возникающие вопросы, в ряде российских регионов будут развиваться проекты ТНУ с использованием теплоты грунта, поскольку этот источник низкопотенциальной теплоты вседоступен, стабилен по температурному уровню в течение сезона, обладает теплоаккумулирующей способностью.

Легче просчитываются в положительном диапазоне эффективности теплонасосные установки, которые используют отработанную теплоту (сбросное тепло), если её имеется в достаточном количестве и это экономически выгодно. Работа по созданию теплонасосных установок является проектно-конструкторской с использованием выпускаемых промышленностью тепловых насосов, компрессоров, теплообменников, фильтров, регулирующей аппаратуры и пр.

В следующем разделе будут рассмотрены схемы с использованием ТНУ для различных потребностей и конкретные примеры их внедрения.

## 4. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

### 4.1. Отопление и ГВС малоэтажных частных домов

#### 4.1.1. Схемы применения ТН в малоэтажных частных домах

И в мировой, и в российской практике ТНУ находят наибольшее применение в жилищно-коммунальном комплексе преимущественно для отопления и горячего водоснабжения.

Внедрение теплоснабжения на базе ТНУ необходимо, в первую очередь, в негазифицированных населенных пунктах для исключения применения электродогревательных. Применение ТНУ в системах автономного теплоснабжения перспективно практически на всей территории России, но необходимо понимать, выработка тепла осуществляется со значительным потреблением электроэнергии, хотя и в разы меньшим, чем при прямом электроотоплении.

Отдельным направлением может стать применение ТНУ в районах завоза дизельного топлива, где оно может использоваться на привод компрессора ТНУ. Кроме того, теплонасосные системы обеспечивают также и хладоснабжение, это является дополнительным преимуществом.

ТН как источник тепловой энергии для отопления и ГВС небольших частных домов могут применяться не только как более дешевая альтернатива электроотоплению, но иногда обосновывается причинами экологического характера (отсутствие выбросов в месте установки). Кроме того, применение ТН не требует переделки внутренней водяной системы отопления.

Схемы теплоснабжения с тепловым насосом, применяемые для теплоснабжения домов, можно разделить с точки зрения включения пикового подогревателя на последовательные и параллельные.

При последовательной схеме вода, нагретая тепловым насосом – при температурах наружного воздуха, при которых ее температуры достаточно для покрытия нагрузки – поступает в радиаторы. При более холодной погоде включается пиковый источник.

При параллельной схеме с пиковым электрообогревателем вода, нагретая тепловым насосом, подается в радиаторы на протяжении всего отопительного периода, а, начиная с определенных температур наружного воздуха, для поддержания нормативной температуры воздуха в отапливаемых помещениях требуется генера-

ция недостающего тепла. В качестве его источника может быть использован газовый котел, котел на жидком топливе, электродкотел, нагреватель конвективного или инфракрасного типа, что также влечет дополнительные затраты.

Высокую энергетическую эффективность обеспечивает комбинирование теплового насоса с системой отопления «Теплый пол». В такой системе тепловой насос работает на протяжении всего отопительного периода. Однако в ней, начиная с определенных температур наружного воздуха, для поддержания нормативной температуры воздуха в помещениях требуется дополнительная генерация тепла. Согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» средняя температура для полов помещений с постоянным пребыванием людей не должна превышать 26°C.

Низкотемпературная система отопления «теплый пол» позволяет получить тепловой поток 50-150 Вт/м<sup>2</sup>, при температуре теплоносителя 35-55 °С. При этом имеют место ограничения, накладываемые на элементы интерьера: есть требования к толщине и теплопроводности напольного покрытия, не допускается применение ковровых покрытий; необходима дистанция между стенами и границей укладки труб; требуется план расстановки мебели, изменение которого в дальнейшем не желательно. В общем случае максимальная площадь укладки «теплого пола» составляет 60-70% отапливаемой площади.

Кроме компрессионных тепловых насосов, уже нашедших широкое применение в теплоснабжении, возможно использование тепловых насосов абсорбционного типа, в которых функцию компрессора на электрическом приводе выполняет т.н. «тепловой компрессор», работающий за счет сжигания топлива. В последнее время производители тепловых насосов малой мощности готовят к выпуску модели абсорбционных, а также адсорбционных тепловых насосов на базе микропористого алюмосиликатного минерала «цеолит». Они имеют более высокие капитальные вложения [73].

Преимуществом абсорбционных и адсорбционных тепловых насосов является то, что они могут работать на более дешевой, по сравнению с электрической, энергии сжигания топлива. В тепловых насосах этого типа отсутствует электрический компрессор, электрическая мощность требуется лишь для циркуляции теплоносителя в отопительной системе и системе сбора низкопотенциального тепла. Абсорбционные и адсорбционные тепловые насосы требуют меньшей холодопроизводительности, чем компрессионные - это позволяет использовать менее глубокие скважины, что дает экономию на дорогостоящих работах по бурению.

Если сравнивать ТНУ с различными системами использования низкопотенциального тепла, то можно отметить следующее.

Наиболее распространенный – воздушный ТН. Наглядный пример – огромное количество кондиционеров с функцией обогрева помещения, такой тип очень распространен на территориях с теплым климатом (в т.ч. в США и Европе). Монтаж не требует рытья траншей, бурения скважин для укладки первичного контура, трубопроводов и насосов. Стоимость ТНУ и работ по монтажу и устройству внутренних систем не высока.

Внутренние системы для ТНУ «воздух-воздух» наиболее просты: наружный блок соединяется фреоновыми трубами непосредственно с внутренними блоками. Это распространенное решение для местных систем охлаждения отдельных помещений – квартир и офисов, оно же реализуется и для зданий, включая и режим отопления. Для водяной системы отопления потребуются теплообменник нагрева воды. При проектировании системы отопления на основе ТНУ необходимо учесть реальные параметры теплоносителя, а при уже реализованной системе отопления потребуются проверка ее работы при параметрах ТНУ и возможная модернизация.

Для южных районов ТНУ «воздух-воздух» могут обеспечить экономичный вариант как отопления зимой, так и охлаждения летом. Некоторые современные ТНУ работают при температурах вплоть до минус 25°C и ниже, но с определенным снижением эффективности. Требуется экономические расчеты, и может быть рекомендовано применение дополнительного источника тепла для пиковых нагрузок (бивалентная схема).

Для средней полосы применение дополнительного источника тепла для пиковых нагрузок рекомендуется как по экономическим показателям (выбор ТНУ производится не на максимальную нагрузку, а на несколько меньшую, с учетом работы дополнительного теплоисточника), так и для обеспечения надежности теплоснабжения.

Для домов с круглогодичным использованием в центральном регионе России может быть эффективнее применение геотермальных ТНУ, использующих в качестве первичного источника тепла землю или воду. Если есть большой земельный участок, то возможна укладка в землю горизонтального коллектора, если места мало – нужны скважины и термозонды. Возможна укладка коллектора на дно близлежащего к дому водоема. Все вышеперечисленные варианты относятся к типу закрытых систем. В таких системах внешние первичные источники тепла не используются во внутренних контурах системы.

Стоимость системы с геотермальными ТНУ складывается из стоимости собственно ТНУ «вода-вода», оборудования системы отопления (теплые полы/радиаторы/фанкойлы) и системы сбора низкопотенциального тепла (скважины или горизонтальный коллектор).

Теоретически возможен открытый вариант типа «вода – вода», без зондов и коллектора, с забором воды из водоема, прокачивания через теплообменник ТНУ и сброса в тот же водоем. Необходимы расчеты по затратам на трубопроводы, насосы, теплообменники, электроэнергию – для конкретных условий с учетом взаим-

ного расположения водоема и здания. Близким вариантом является размещение в водоеме теплообменника.

Пример расчета теплового насоса для индивидуального малоэтажного дома приведен в приложении 3.

#### **4.1.2. Ограничения внедрения ТНУ**

Несмотря на целый ряд привлекательных факторов, использование ТНУ для автономного отопления и горячего водоснабжения объектов малоэтажной застройки по сравнению с традиционными системами автономного теплоснабжения (индивидуальными газовыми и электрическими котлами) ТНУ имеют ряд ограничений, для преодоления которых требуются определенные условия, а зачастую и дополнительные капитальные затраты [73].

Основными ограничениями внедрения тепловых насосов применительно к сектору индивидуального жилья, но не ограничиваясь им, являются следующие.

**1. Высокие удельные капитальные вложения.** Рынок теплонасосной техники в России в основном представлен ТН зарубежного производства (Германия, Австрия, США), и они достаточно дороги. Кроме стоимости основного оборудования, его монтажа и наладки, для наиболее распространенных в области теплоснабжения грунтовых ТНУ требуются буровые работы на глубине 50-100 м, которые также являются дорогостоящими. Более экономичным решением являются ТНУ с горизонтальным коллектором, но оно требует свободного земельного участка значительной площади, выбывающего из хозяйственного оборота.

**2. Ограничения по температуре на выходе из теплового насоса.** Максимальная температура, которую может обеспечить греющий контур геотермальных тепловых насосов, как правило, составляет 55 °С, у отдельных моделей - 60-65 °С. Для того, чтобы тепловой насос мог работать в течение всего отопительного периода и максимально реализовать свой энергосберегающий потенциал, необходимо использование низкотемпературных систем отопления – системы отопления с максимальными температурами в прямой и обратной линиях не выше 70 и 50 °С соответственно. Однако для низкотемпературных систем требуется увеличенная площадь отопительных приборов по сравнению с традиционными системами отопления, рассчитанными на температурный график 95/70 °С. Это влечет дополнительные затраты.

**3. Неоднородность теплового потенциала грунта в региональном разрезе.** Потенциал грунта как источника тепла для южных регионов существенно выше, чем для северных. Так, температура грунта на глубине 50-100 м в условиях Пятигорска составляет 15-16 °С, для Москвы 10-11 °С, а для Архангельска 4-5 °С. Чем выше

температура грунта, тем выше коэффициент трансформации, тем меньше электроэнергии тратит тепловой насос на выработку одного и того же количества тепла. Отметим, что экономическая эффективность применения тепловых насосов на цели теплоснабжения существенно зависит от климатических условий региона в целом, причем факторы, влияющие на эффективность использования тепловых насосов, имеют разную направленность.

Тепловой потенциал грунта и, соответственно, коэффициент трансформации растет с севера на юг, но продолжительность отопительного периода и число часов использования ТНУ, а значит и реализация их энергосберегающего потенциала, с севера на юг уменьшается.

Утилизация теплоты грунтового массива связана и с технологическими трудностями. В случае размещения в грунтовом массиве вертикальных или горизонтальных теплообменников из-за сравнительно низких теплофизических свойств грунта приходится значительно развивать теплообменные поверхности, что приводит к высоким капитальным затратам (до 40 % от стоимости всей теплонасосной системы теплоснабжения). При утилизации теплоты грунта через грунтовые воды технические решения зависят от гидрогеологической обстановки района застройки. По этой причине в каждом конкретном объекте окончательное техническое решение принимается на основе инженерных изысканий.

**4. Учет фактора охлаждения грунта при эксплуатации ТНУ.** Потребление тепловой энергии к концу отопительного сезона вызывает вблизи регистра труб системы теплосбора понижение температуры грунта, которое в климатических условиях большей части территории России не успевает компенсироваться в летний период, и к началу следующего отопительного сезона грунт выходит с пониженным температурным потенциалом. На севере этот фактор выражен сильнее, чем на юге. Потребление тепловой энергии в течение каждого последующего отопительного сезона вызывает дальнейшее охлаждение грунта (этот процесс описан в разделе выше). Снижение температуры грунта имеет экспоненциальный характер, и примерно через пять лет эксплуатации его температура выходит на квазистационарный уровень, пониженный относительно естественного на 1-2 и более. При проектировании систем теплоснабжения необходим учет такого охлаждения грунта, что делает ее еще более затратной.

### *4.1.3. Примеры внедрения*

Примеры внедрения ТНУ для индивидуальной застройки подтверждают необходимость преодоления названных выше противоречий и позволяют сделать ряд выводов.

Обобщающий опыт внедрения первых в России грунтовых ТНУ в Ярославской области показал, что для перехода на низкотемпературный вариант отопления надо проводить мероприятия по повышению теплозащиты зданий до экономически целесообразного уровня, не более, чем в 1,5-2,0 раза, соответственно снижая их удельную годовую потребность в энергоресурсах (на примере коттеджа) до 50 кВтч на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади, вместо 90–120 кВтч/м<sup>2</sup> по традиционным вариантам теплоснабжения [38].

Таблица 4

**Проектные технико-экономические показатели системы энергообеспечения коттеджа с отапливаемой площадью 390 м<sup>2</sup> (на примере участка строительства в Ярославской области)**

Наименование показателя	Единицы измерения	Котел на природном газе	Грунтовый тепловой насос
Количество проживающих	чел.	5	5
Расчетная температура наружного воздуха	°С	-31	-31
Продолжительность отопительного сезона	сутки	221	221
Расчетная нагрузка теплоснабжения, в т.ч.		38,2	38,2
– горячего водоснабжения;		2,8	2,8
– отопления, в т.ч. за счет	кВт	35,4	35,4
– теплогенерации: ТН+пиковый электродогрев (45/30°С)		24,2	24,2
– возвращаемого тепла вентвыбросов		11,2	11,2
Количество скважинных теплообменников, каждый 100 м	шт.	-	2
Теплопроизводительность, в т.ч.		102,1 (87,8)	102,1 (87,8)
– на отопление: ТН+электродогрев+утилизация вентвыбросов	МВт-ч/год (Гкал/год)	88,3	60,5 (ТН) + 27,8
– на горячее водоснабжение		13,8	13,8
Холодопроизводительность (холод от скважин летом)	МВт-ч/год	-	12,8
Инвестиции,		42,5	45,0
в т.ч. – система сбора тепла грунта		-	11,6
– ТН с принадлежностями		-	9,3
– газовый котлоагрегат		8,5	-
– баки-аккумуляторы с электродогревателями	тыс. EURO	3,7	3,7
– газопровод к коттеджу		10,3	-
– распред. трубопроводы с отопительными приборами		4,0	4,0
– агрегат приточно-вытяжной вентиляции (АПВВ) с теплоутилизатором (ТУ)		4,5	4,5
– СМР и пусконаладка (20% от стоимости оборудования)		6,2	6,5
– проектные работы (12% от инвестиций)		5,3	5,4

Продолжение Таблицы 4

Наименование показателя	Единицы измерения	Котел на природном газе	Грунтовый тепловой насос
Среднесезонные коэффициенты: – преобразования в ТН (внутрипольное отопление) – использования первичной энергии (или КПД котла)	-	(0,9)	3,9 1,2
Расходы на эксплуатацию в 2007/2010 г., в т.ч. – эл. энергия при цене за 1 кВт-ч: 0,04/0,06 EURO – природ. газ при цене 38/80 EURO за 1000 м <sup>3</sup> – сервисное обслуживание	EURO/год	788/1392 260/390 408/858 120/144	804/1182 760/1130 - 44/52
Себестоимость производимой энергии	руб./Гкал	314/555	320/470
Экономия топлива относительно газового котла без установленного АПВВ с ТУ / с установкой	т у.т./год %	3,8 27	5,9 42/21
Снижение выбросов CO <sub>2</sub> на 1 коттедж	т/год	5,7	9,0
Снижение себестоимости 1 Гкал, приведённой к варианту “тепло+холод от скважин”	%	-	35
Снижение срока окупаемости относительно газового котла при ценах на энергоносители в 2010 г., по вариантам: “тепло + холод от скважин” / «только тепло»	%	-	25/10

С позиции надежности грунтовой системы теплосбора и увеличения срока её службы, за счет предотвращения длительного промерзания и недопустимого уровня температурных деформаций петель скважинного теплообменника (СТО), как показала практика, рекомендуется снижение нагрузки на грунт путем применения дополнительных энергоисточников, например, техногенного происхождения, в частности, тепловых выбросов от устанавливаемого в коттедже агрегата приточно-вытяжной вентиляции (АПВВ).

Для этого АПВВ оборудуется теплоутилизатором в линии удаляемого воздуха, и тогда схема энергообеспечения представляет собой сочетание воздушного и водяного отопления. Как показывают расчеты, в этом случае затраты на вентиляционный контур и оборудование для использования тепла вентиляционных выбросов примерно равны затратам на дополнительный СТО длиной 100 м, который бы потребовался по варианту использования только тепла грунта.

Для улучшения экономических показателей рекомендуется в летний период использовать холод, аккумулированный в СТО за отопительный сезон при извлечении тепла грунта, на прямое охлаждение помещений от скважин, без кондиционеров, затрачивающих на производство холода электроэнергию. В этом случае сетью

охлаждения может служить та же внутриспольная распределительная система труб, что и для отопления.

Предложенная с учетом этого фактора технологическая схема энергообеспечения показана условно на рисунке 16.

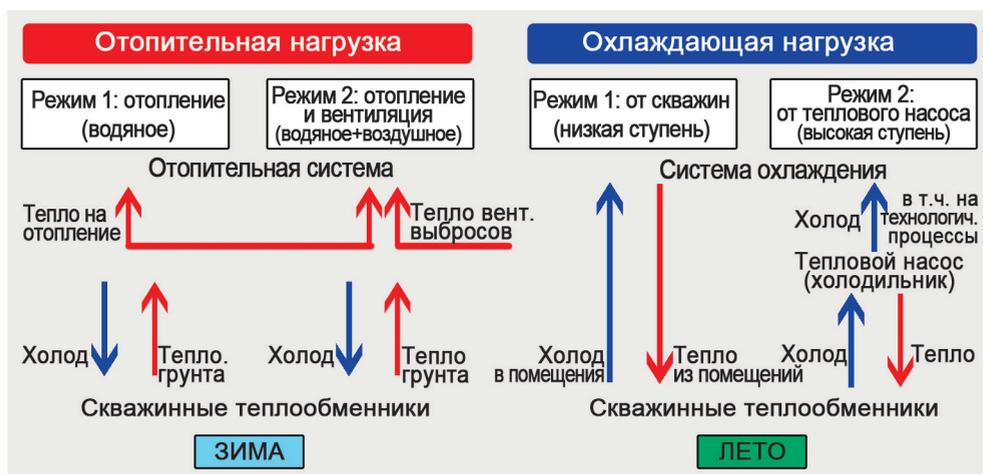


Рис. 16. Технологическая схема тепло- и холодоснабжения от теплообменников в мелких скважинах

Приведенные на схеме два варианта охлаждения, напрямую от скважин и через реверсивный ТН, переключаемый в теплый период года в режим холодильной машины, могут в комплексе обеспечить необходимую охлаждающую нагрузку, включая самые жаркие регионы. Однако, как показал опыт, применительно к регионам с умеренным климатом можно ограничиться низким уровнем охлаждения (через скважины), с учетом того обстоятельства, что полученная в практике использования СТО температура в охлаждаемых жилых помещениях - около  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  является достаточно комфортной (вместо  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  – ТН в режиме холодильника, режим 2 на второй части рисунка).

Принимая во внимание, что при этом не потребуются дополнительные затраты электроэнергии на привод ТН для охлаждения помещений в климатических условиях средней полосы России, в т.ч. в Ярославской области, при внедрении грунтовых ТНУ рекомендуется режим охлаждения 1 на рисунке 16.

В малоэтажных жилых зданиях, расположенных в пригородах Вены (Австрия), теплонасосная система была применена в целях снижения общей стоимости проектов теплоснабжения зданий: более высокие капитальные затраты окупаются за

счет снижения эксплуатационных расходов. В качестве источника низкопотенциальной теплоты используется наружный воздух. В каждой квартире в техническом помещении установлен один тепловой насос с емкостным накопителем объемом 295 л. В системе отопления используется низкотемпературный теплый пол. Рядом со зданием установлены теплообменники «воздух – жидкость» (также по одному на каждую квартиру).

Тепловой насос обеспечивает отопление и горячее водоснабжение. В тепловой насос интегрирован электрический водонагреватель мощностью 6 кВт. В нормальном режиме эксплуатации он не используется. В климатических условиях пригорода Вены теплонасосная система работает достаточно эффективно: коэффициент преобразования в этом случае равен примерно 4.

В ряде зданий для приготовления горячей воды предусмотрены солнечные водогрейные коллекторы, а некоторые из зданий оборудованы, помимо этих коллекторов, фотоэлектрическими панелями для выработки электрической энергии.

Итак, мы видим, что опыт эксплуатации таких систем показывает, что наибольшие преимущества тепловые насосы демонстрируют в случае, когда они работают в составе комплексной системы теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования. Пример расчета теплового насоса для индивидуального малоэтажного дома приведен в приложении.

Учитывая темпы малоэтажного строительства в субъектах Федерации, прогнозы роста тарифов на электроэнергию и газ и прогнозируемый темп инфляции от Минэкономразвития России, можно оценить спрос на установку тепловых насосов на цели теплоснабжения жилых зданий. По оценкам экспертов, на перспективу до 2030 г. в стране в целом может быть востребовано порядка 3,4-4,4 ГВт теплонасосной мощности, что составляет 9-11 % от вводимой тепловой мощности малоэтажной застройки. Их установка позволит экономить топливо в количестве около 3,8 млн т у. т. в год.

## **4.2. Тепло- и холодоснабжение общественных, офисных и промышленных зданий**

Проект отопления школы в д. Филиппово Ярославской области на базе ТНУ был реализован в 1998 г. Первоначально планировалось теплоснабжение от угольной котельной, однако доставка угля от ближайшей железнодорожной станции (38 км) оказалась затруднительной [16].

В связи с этим было решено перевести теплоснабжение на электрические котлы, однако сельские электрические сети не имели возможности выделить более 100 кВт, что было недостаточно. Выходом из положения стало применение тепловых насосов, использующих низкопотенциальную теплоту грунта.

Отапливаемая площадь здания – 2000 м<sup>2</sup>, тепловая нагрузка отопления и горячего водоснабжения – 130 кВт. Тепловая мощность тепловых насосов (8 шт.) отечественного производства – 80 кВт. Система сбора теплоты грунта – 8 вертикальных теплообменников глубиной по 35 м. Суммарная электрическая мощность установленного оборудования с учетом электрических доводчиков 76 кВт, что на 42 % меньше, чем в случае применения электродкотлов.

В 2004 г. при реконструкции ранее неотапливаемого склада таможенного терминала в Московской области был применен тепловой насос, работающий как в режиме отопления, так и охлаждения. Объем помещения 6000 м<sup>3</sup>. В помещении круглогодично поддерживается температура +5 - +10 °С. Нагрузка отопления – 91 кВт, кондиционирования – 55 кВт. Применен один тепловой насос (зарубежного производства) тепловой мощностью 76 кВт, пять вертикальных грунтовых теплообменников глубиной по 50 м.

В качестве еще одного наглядного примера возьмем многофункциональное, преимущественно **офисное здание**, расположенное недалеко от Московской кольцевой автодороги. Несмотря на имеющуюся возможность подключения к газовым сетям, заказчик посчитал, что это ему экономически невыгодно. Было принято решение делать автономное теплоснабжение всего здания на тепловых насосах.

В результате были использованы различные интересные с инженерной точки зрения решения. В частности, в здании практически отсутствуют отопительные приборы. Вместо этого используется система поверхностного отопления и охлаждения. В полу, стенах и потолке проложены змеевики, по которым движется теплоноситель. Температура теплоносителя в таких системах может быть снижена, и, как следствие, эффективность тепловых насосов увеличивается.

В теплонасосной системе использовались грунтовые теплообменники: двойные U-образные трубы диаметром 32 мм при толщине стенки 3 мм. Материал труб – полиэтилен низкого давления. Общая протяженность теплообменников 33 000 м.

Вследствие извлечения тепла из грунта происходит понижение его температуры. Если температура грунта к началу нового отопительного сезона не успевает восстановиться, то к следующей зиме грунт имеет температуру ниже естественной. Такая тенденция к понижению температуры грунта будет сохраняться в течение всего срока эксплуатации системы, хотя после 5 лет работы дальнейшее понижение температуры грунта становится практически незаметным: грунт выходит на новый температурный режим.

Как известно, изменение температуры грунта сказывается на работе грунтовых теплообменников и теплонасосной системы в целом, и если система была спроектирована неправильно, без учета описанного эффекта, то результатом такой ошибки может стать недостаток мощности теплонасосного оборудования по причине изменения режима его работы. Более того, поскольку скважин для грунтовых теплообменников требовалось большое количество (более 300) на довольно ограниченной площади, необходимо было выяснить их взаимное тепловое влияние. Этот фактор также очень важен.

Грунтовые теплообменники, расположенные в центре поля, окружены другими теплообменниками, поэтому приток тепла из грунта к ним происходит только снизу, тогда как к расположенным по краям поля теплообменникам тепло поступает и в горизонтальном направлении. В результате эффективность центральных теплообменников оказывается ниже, чем тех, что расположены по периметру, а периметральных, в свою очередь, ниже, чем она могла бы быть, если бы теплообменник был только один. Игнорирование взаимного влияния ведет к тем же последствиям – снижению эффективности системы.

Для восстановления температуры грунта, а также с целью снижения затрат энергии на кондиционирование в данном проекте было предложено использовать пассивное холодоснабжение в теплый период года. Поскольку в здании используется архитектурное решение, представляющее собой панорамное остекление, то даже в климатических условиях Московской области нагрузка на охлаждение превышает нагрузку на теплоснабжение (2 170 и 1 535 кВт соответственно). Поскольку есть большое поле скважин, в которых за зимний период накапливается холод, возникает мысль использовать его в летний период для охлаждения помещений – причем в данном случае холод получается практически бесплатным.

Таким образом, одна и та же система в зимний период отапливает помещения, а в летний период охлаждает. Более того, получается двойной положительный эффект: одновременно обеспечивается охлаждение помещений здания и восстанавливается температурный потенциал грунта, чтобы к очередному отопительному сезону он пришел не остывшим, а даже, возможно, несколько подогретым относительно природного уровня.

### 4.3. Кольцевые системы с ТНУ

Одним из наиболее эффективных схемных решений, обеспечивающим одновременное решение ряда проблемных вопросов применения ТНУ, является использование кольцевых систем.

К таким проблемным вопросам относятся:

- Затраты на подвод или отвод из цикла ТНУ низкопотенциального тепла (например, создание геотермального контура).
- Необходимость обеспечения переменных нагрузок – максимальная нагрузка отопления на 50-100 % выше среднесезонной, а максимальная нагрузка ГВС – в 2-5 раз выше среднесуточной.
- Несовпадение графика требуемых нагрузок и возможностей подвода или отвода из цикла ТНУ – для систем кондиционирования требуется холод в дневные солнечные часы, когда возможности наружных блоков кондиционеров минимальны.

Наглядным примером решения данных вопросов для одного здания и применения кольцевых систем является здание «Ирис Конгресс отеля» в Москве. Гостиница (см.рис. 17) была построена в 1991 г. как часть расположенной рядом клиники академика С.Н.Федорова по проекту французской фирмы, с поставкой западного оборудования. В начале 90-х гг. здание не эксплуатировалось, после чего инженерные системы пришлось восстанавливать. Тепловые насосы оказались очень надежным оборудованием — почти всем из трехсот удалось вернуть жизнь и сейчас схема функционирует практически в изначальном виде.



Рис. 17. Гостиница ИРИС в Москве

«Ирис Конгресс Отель» (после недавней реконструкции отель перейдет в состав международной отельной сети «Холидей инн») расположен на самом севере столицы, недалеко от международного аэропорта «Шереметьево». Это восьмизэтажное здание, в котором 195 номеров, два ресторана, бар, фитнес-центр с тренажерным залом, бассейном и саунами, бизнес-центр, 10 залов для конференций и банкетов.

Система теплохладоснабжения отеля построена следующим образом. В каждом из помещений, где предусматривается кондиционирование воздуха, или рядом с ним, устанавливается тепловой насос, мощность которого подбирается в соответствии с параметрами помещения, его назначением, характеристиками необходимой приточно-вытяжной вентиляции, возможным количеством присутствующих людей, установленным в нем оборудованием и другими факторами.

Все тепловые насосы реверсивные, т.е. предназначены и для охлаждения, и для нагрева воздуха. Все они связаны общим водяным контуром – трубами, в которых циркулирует вода. Вода является одновременно источником и приемником теплоты для всех тепловых насосов. Температура в контуре может изменяться в пределах от 18 до 32 °С.

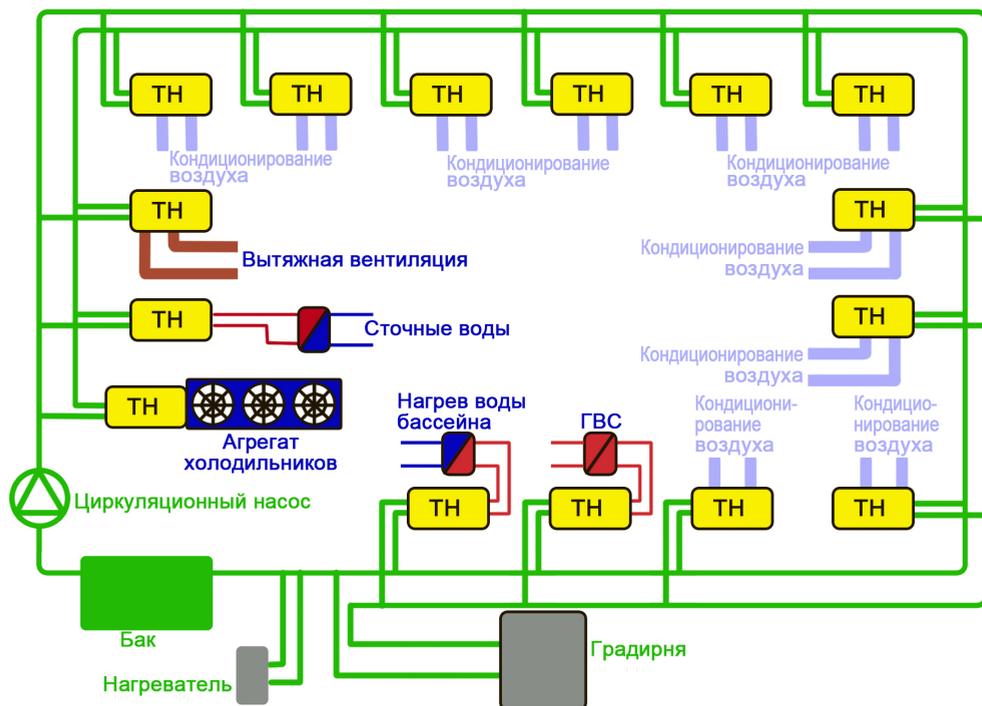


Рис. 18. Работа ТНУ в составе кольцевой схемы

В зависимости от нагрузки (назначения помещения, количества присутствующих в данный момент людей, работающего оборудования, времени года, времени суток) в разных помещениях может требоваться либо нагрев, либо охлаждение воздуха. Соответственно, водяной контур отдает или получает тепловую энергию от локальных установок.

Если количество тепловых насосов, работающих в режиме нагрева воздуха, равно количеству тепловых насосов, работающих в режиме охлаждения, то система не требует поступления теплоты извне или удаления теплоты наружу, и затраты энергии заключаются лишь в работе циркуляционного насоса водяного контура и в работе приводов тепловых насосов. Так происходит в основном в переходные периоды (весна, осень).

Зимой число тепловых насосов, работающих в режиме нагрева воздуха, возрастает, и больше теплоты забирается из водяного контура. В этом случае требуется ее восполнение, для чего к контуру подключен дополнительный нагреватель. Для подогрева воды подойдет любой источник теплоты: водогрейный котел, теплоноситель теплосети (причем не потребуется мощного устройства, т.к. компенсируется только временный дефицит тепла) [78].

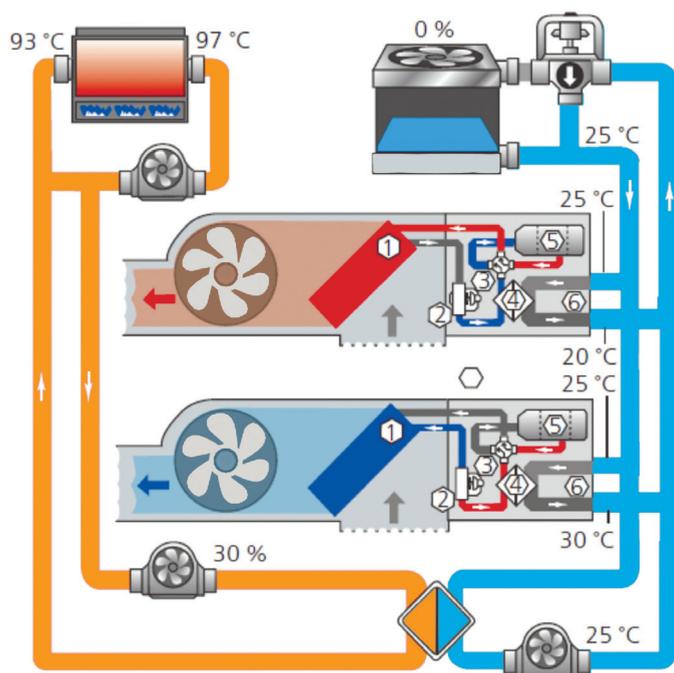


Рис. 19. Работа ТНУ в составе кольцевой схемы

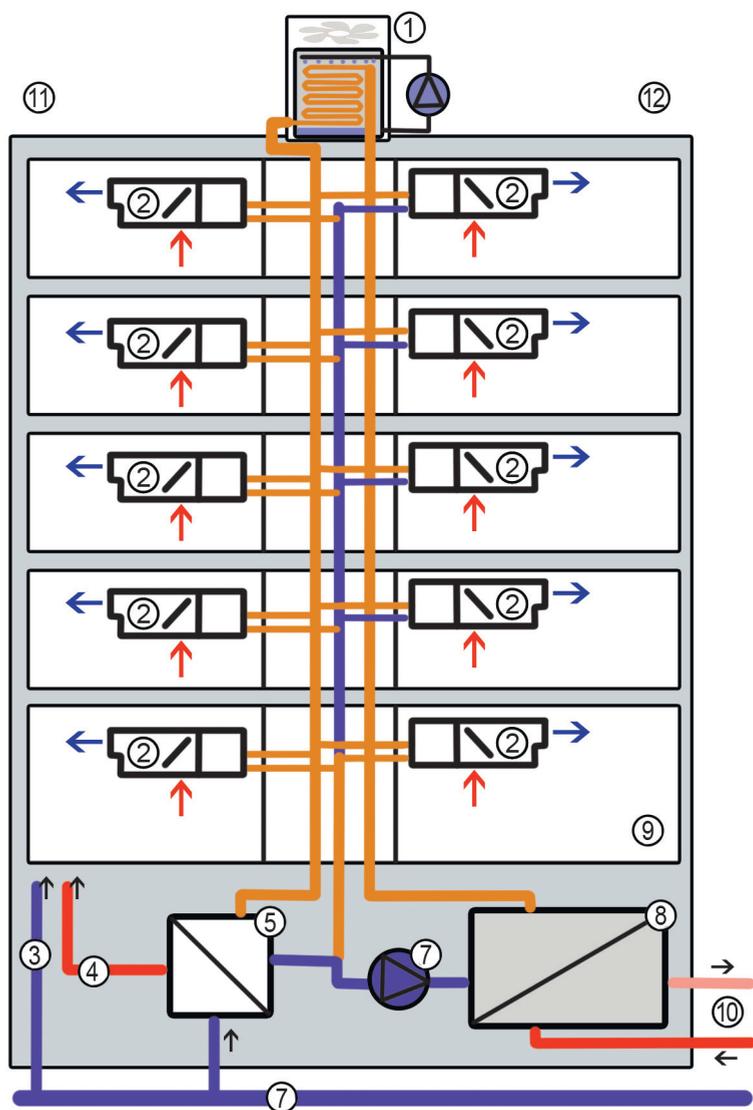


Рис. 20. Кольцевой контур и городские системы водо- и теплоснабжения  
 1 – градирня, 2 – ТНУ «вода-воздух» в помещениях, 3 – система ХВС здания, 4 – система ГВС здания, 5 – ТНУ «вода-вода» для системы ГВС, 6 – городской водопровод, 7 – циркуляционный насос водяного контура, 8 – тепловой пункт здания, 9 – первый этаж – помещения общего назначения, 10 – городская теплосеть, 11 – солнечная сторона, 12 – теневая сторона.

Летом, наоборот, в системе возрастает число тепловых насосов, охлаждающих воздух, и большее количество теплоты поступает в водяной контур. Чтобы температура воды не превысила установленный предел, ее необходимо охлаждать - подойдет градирня любого типа, а при потребности в ГВС и использовании для этого теплового насоса вода-воздух также потребуются только компенсация небаланса.

Сама кольцевая водяная система является аккумулятором, т.к. позволяет в рамках рекомендуемого диапазона температур обеспечивать переменные нагрузки. В состав водяного контура может входить также дополнительный низкотемпературный бак-накопитель. Увеличенный объема бака снижает требуемые мощности как градирни, так и дополнительного нагревателя.

В баке могут быть размещены электрические тэны, что экономит пространство, а их использование будет экономичным при наличии ночного тарифа. Трубы водяного контура кольцевых теплонасосных систем, проходящие внутри зданий, не нуждаются в теплоизоляции.

В такой системе автоматически реализуется эффект пофасадного регулирования, т.к. весной и осенью в солнечные дни часто возникает ситуация, когда солнечная сторона здания значительно прогревается, и в помещениях этой стороны требуется охлаждение воздуха, а с теневой стороны здания помещения необходимо обогреть.

При работе теплового насоса кольцевой системы происходит перенос теплоты из помещений фасада, перегретых солнцем, в помещения теневой стороны. В эти же периоды дневная температура наружного воздуха может значительно превосходить ночную температуру. В этом случае в течение дня в водяном контуре кольцевых теплонасосных систем происходит накопление теплоты, которая затем может быть потрачена в ночное время.

Эффективность работы системы определяется возможностью поддержания теплового баланса за счет различия режимов работы ТНУ. Идеальный вариант – отсутствие потребления тепла от внешнего источника и необходимости отведения тепла в окружающую среду (т.е. работы градирни). На практике для условий средней полосы подогрев контура может потребоваться зимой, при стабильно низких температурах наружного воздуха, при этом необходимо отметить, что для поддержания температуры воды в контуре на уровне 15-30 °С наиболее экономичным является использование обратной воды из теплосети, с дополнительным охлаждением ее на 5-15 °С. Стоит отметить, что кольцевые системы – наиболее активно применяемый вариант использования ТНУ многофункциональных зданий (в США – свыше 80 % от общего числа при новом строительстве и реконструкции). Сравнение стоимости различных систем показано на рис.21.

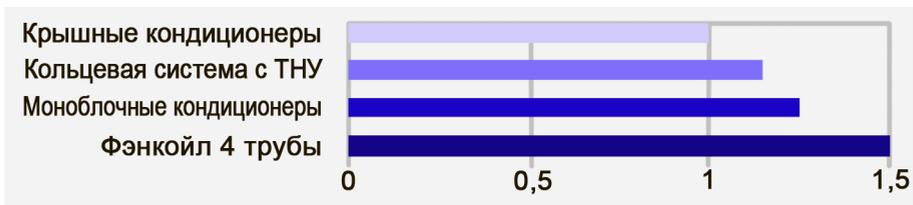


Рис. 21. Сравнение стоимости различных климатических систем

Преимущества данной схемы повышаются пропорционально масштабированию системы, т.к. растет ее аккумулирующая способность и снижается необходимость пиковых источников, а объединение разнотипных потребителей выравнивает графики потребления.

Так, в конкурсе ЕНРА описан вариант кольцевой системы с каналом общей длиной 4,5 км для группы зданий промышленной зоны города Гилзе, Нидерланды. Источником низкопотенциального тепла служат грунтовые воды, имеющие постоянную температуру 10 °С, т.е. прохладные летом и относительно теплые зимой. Реализован кольцевой канал общей длиной 4,5 км, соединенный с дополнительными хранилищами тепла и холода, расположенными на глубине до 80 м. В каждом здании находится теплообменник ТНУ, соединенный с системой.

Другим вариантом применения кольцевой схемы может быть ее использование в существующих зданиях для повышения комфортности. Сегодня в домах даже класса «бизнес» в ряде случаев не только не устанавливается система центрального кондиционирования, но и не предусмотрена в проектах возможность установки сплит-систем без нарушения существующих строительных конструкций.

В результате здания хаотично обрастают десятками и сотнями внешних блоков сплит-систем. Это портит фасад, является экономически невыгодным, а порой и небезопасным. Были предложения на стадии проектирования закладывать прокладку кольцевого контура для тепловых насосов, что не требует больших затрат и не приводит к удорожанию квадратного метра новостройки. В дальнейшем, если жители желают иметь у себя в квартире цивилизованное кондиционирование и воздушное отопление, они самостоятельно делают выбор и покупают (или арендуют) необходимое количество тепловых насосов, которые необходимо только подключить к уже проложенным коммуникациям, и система начинает работать. Такой подход может стать решением проблемы изуродованных сплит-системами фасадов.

Собственно система отопления, особенно при независимом подключении к теплосети, уже является кольцевым водяным контуром. И для установки в квартире ТНУ «воздух-вода» требуется всего два технических действия и одно организационное:

1. Подключить ТН к системе отопления по водяному контуру.
2. Обеспечить в летнее время циркуляцию теплоносителя в системе отопления.
3. Оформить необходимые документы для экономических расчетов.

Естественно, что последние шаги могут включать несколько действий, но они не являются невыполнимыми.

Тот же вариант может быть использован для повышения качества теплоснабжения существующих зданий при невозможности увеличения температуры теплоносителя, что часто имеет место для старых котельных и зданий, расположенных в конце тепломатриалы. Так, при расчетных параметрах 95-70 °С для них фактические значения составляют, например 70-50 °С. Электроотопление и решения, обычно предлагаемые для нового строительства и капремонта (увеличение поверхности нагрева отопительных приборов, напольное отопление), могут быть в этом случае технически и\или экономически нереализуемы.

Просто увеличение расхода сетевой воды также не даст эффекта при прежней температуре теплоносителя и поверхности отопительных приборов.

Включение ТНУ в линию обратной сетевой воды позволяет при сохранении расхода воды и снижения  $T_2$  увеличить используемый температурный перепад с упомянутых, например 70-50=20 °С до 70-30=40 °С, т.е. нарастить подачу тепла в 2 раза и обеспечить требуемое качество теплоснабжения без изменения гидравлического режима теплосети и потерь для остальных абонентов. При этом возможна установка ТНУ «вода-вода» в тепловом пункте, но более привлекательным является решение для отдельных квартир и помещений с ТНУ «вода-воздух» по аналогии с кольцевой схемой.

Пример: детский сад или квартира с проблемой «недотоп». Установка в самой большой комнате напольной ТНУ «вода-воздух» мощностью 3-10 кВт с подключением ее к обратной линии системы отопления требует минимума времени и затрат. Шум от нее в дневное время не является проблемой. По окончании необходимости установка легко отключается и может быть применена в другом месте. В летнее время она же используется для охлаждения воздуха, т.е. работает аналогично мобильному кондиционеру, но без проблем с воздуховодами.

Для внедрения подобных систем сохраняется организационная проблема – оформление распределения выгоды между теплоснабжающей организацией и потребителем. Иначе теплоснабжающая организация не получает нового потребителя (если он отказывается от реализации проекта или принимает решение об автономном теплоснабжении), а потребитель вынужденно имеет повышенные эксплуатационные расходы.

## 4.4. Утилизация низкопотенциального тепла неочищенных сточных вод

### 4.4.1. Москва

В 2004 г. впервые в России введена в эксплуатацию экспериментальная автоматизированная теплонасосная установка (АТНУ), утилизирующая теплоту неочищенных сточных вод, предназначенная для подогрева водопроводной воды перед котлами районной тепловой станции (РТС) № 3 г. Зеленограда [17].

Установка создана на территории Восточной коммунальной зоны г. Зеленограда. В качестве низкопотенциального источника теплоты используются неочищенные бытовые сточные воды, аккумулируемые в приёмном резервуаре главной канализационно-насосной станции (ГКНС) производственного управления «Зеленоградводоканал», расположенной в полукилометре от территории РТС-3.

Неочищенные сточные воды из приёмного резервуара, расположенного под грабельным отделением ГКНС, имеющие температуру +20 °С, по трём ветвям подаются фекальными насосами через трубопроводы напорной канализации в теплообменник-утилизатор, где отдают теплоту промежуточному теплоносителю (воде), охлаждаясь до температуры +15,4 °С, а затем по возвращаются в резервуар. Суммарный расход сточных вод 400 м<sup>3</sup> в час.

Контур циркуляции неочищенных сточных вод спроектирован с учётом практики эксплуатации напорных трубопроводов систем канализации, скорость потока в каналах теплообменника-утилизатора обеспечивает отсутствие образования отложений на теплообменных поверхностях.

Промежуточный теплоноситель с температурой +8 °С подаётся в теплообменник-утилизатор циркуляционными насосами, расположенными в здании ТТУ (теплонасосный тепловой узел), и возвращается в ТТУ с температурой +13 °С. Промежуточный теплоноситель циркулирует между ТТУ и теплообменником-утилизатором по теплоизолированным трубопроводам, длина трассы 657 м. Нагретый промежуточный теплоноситель подаётся в тепловые насосы, где охлаждается до температуры +8 °С, отдавая теплоту хладону парокомпрессионного контура, и вновь направляется в теплообменник-утилизатор. Техническое решение по утилизации теплоты неочищенных сточных вод защищено свидетельством Российской федерации на полезную модель № 20575.

Тепловые насосы проектной тепловой мощностью 2,07 МВт (парокомпрессионные, импортного производства) состоят из теплообменника-испарителя, где происходит охлаждение внешнего теплоносителя за счёт испарения хладона, трёх компрессоров, где происходит сжатие испарённого хладона, трёх теплообменников-конденсаторов, где происходит нагрев подпиточной воды котлов РТС-3 за счёт конденсации хладона, и терморегулирующих вентилей, обеспечивающих заданный режим работы ТН.

Из цеха водоподготовки РТС-3, из водовода подачи водопроводной воды в ТТУ подаётся подпиточная вода. Температура воды в течение года колеблется от 5 до 20 °С. Для поддержания постоянного режима работы ТН вода подаётся к трёхходовому регулирующему клапану прямого действия, соединяющему подающий трубопровод с байпасом подачи нагретой воды после ТН. Трёхходовой клапан за счёт подмеса нагретой воды автоматически поддерживает постоянную температуру на входе в конденсаторы ТН на уровне 23 °С.

Далее, циркуляционным насосом вода подаётся в конденсаторы тепловых насосов, где нагревается хладон до температуры 30 °С и возвращается в цех водоподготовки в тот же водовод подачи воды из водопровода, что позволяет исключить влияние работы подпиточных насосов цеха водоподготовки на режим работы ТН. Расчётная тепловая мощность, передаваемая в цех водоподготовки, составляет 2000 кВт. Расход подаваемой нагретой воды колеблется в пределах от 177,9 до 70 м<sup>3</sup> в час. Изменение расхода осуществляется автоматически в зависимости от температуры воды в водопроводе за счёт работы трёхходового клапана байпасной линии.

В ТНУ установлен счётчик тепловой энергии, регистрирующий тепловую мощность и количество теплоты, получаемой из системы сбора низкопотенциальной теплоты, и тепловую мощность и количество теплоты, передаваемой в цех водоподготовки.

Установка работает в постоянном автоматическом режиме. При кратковременной остановке подпиточных насосов в цехе водоподготовки (временно нет потребности в тепловой энергии АТНУ) ТН автоматически выключаются по достижении температуры на выходе из ТН более 30 °С, и установка переходит в режим холостого хода, при этом циркуляционные насосы и автоматика продолжают работать. После пуска подпиточных насосов и снижения температуры на выходе из ТН ниже 30 °С, ТН вновь автоматически включаются.

Годовой ресурс работы установки – 8256 часов в соответствии с нормативами работы теплофикационных установок. В период остановки систем РТС-3 на профилактические и ремонтные работы АТНУ останавливается, производится профилактический осмотр и, при необходимости, ремонт оборудования и систем АТНУ.

Изначально АТНУ проектировалась для подогрева подпиточной воды РТС при ее работе на открытую систему теплоснабжения города, но в настоящее время в связи с постепенным переходом системы теплоснабжения города на закрытую схему расход подпиточной воды неуклонно снижается. Так, расчетный расход подаваемой воды теперь составляет лишь порядка 50 м<sup>3</sup>/ч вместо проектных 127 м<sup>3</sup>/ч. По этой причине в период 2011-2012 гг. АТНУ существенную часть времени либо простаивала, либо работала с неполной нагрузкой.

По этим причинам в 2013 г. произведена реконструкция АТНУ. Внесены изменения в технологическую схему, допускающие работу тепловых насосов как в параллельном, так и последовательном режимах, что позволяет повысить температуру подогрева водопроводной воды до 40 °С в цехе водоподготовки и загрузить АТНУ на полную мощность.

#### *4.4.2. Набережные Челны*

В 2011 г. на канализационной насосной станции (КНС-3) ЗАО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ» введен в эксплуатацию первый в Республике Татарстан тепловой насос, работающий на сточных водах [29].

Тепловой насос действует следующим образом. В «стакан» КНС, где собираются стоки, помещен коллектор в виде двух барабанов полиэтиленовой трубы диаметром 40 мм и длиной 500 м со специальным раствором внутри (монопропиленгликолем) – так называемый контур низкопотенциального тепла.

Вещество постоянно циркулирует внутри этого контура и переносит тепловую энергию стоков в тепловой насос, где происходит повышение температуры теплоносителя до значения, достаточного для обогрева помещений.

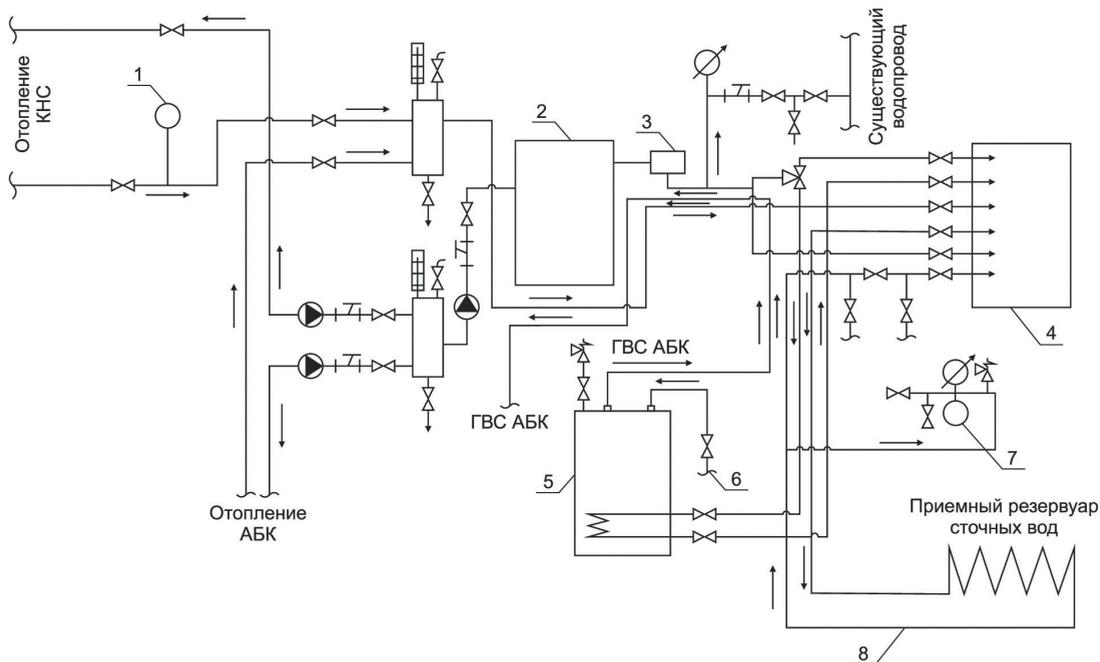
В качестве основного оборудования было принято решение использовать тепловой насос одной из шведских компаний (рис. 22), т.к. такое оборудование уже работало в Вологде и имело положительные отзывы. Немаловажным было также и то, что официальное представительство компании в России находится в Нижнем Новгороде, а офис по гарантийному и сервисному обслуживанию оборудования - в Ижевске. Такая территориальная близость является большим плюсом.

Электрическая мощность, потребляемая тепловым насосом, составляет 11 кВт, а максимальная тепловая, передаваемая в систему отопления, - 0,038 Гкал/ч. (при коэффициенте преобразования энергии 4). Температура теплоносителя в системе отопления – 60 °С, но также предусмотрен дополнительный электрический нагреватель, который при необходимости позволяет догреть воду до 70 °С. Температура воды в системе ГВС установлена на уровне 45 °С.



Рис. 22. Тепловой насос, работающий на сточных водах

Принципиальная схема теплового узла КНС-3 представлена на рис. 23.



**Рис. 23.** Принципиальная схема теплового узла КНС-3

АБК – административно-бытовой комплекс, 1,7 – бак расширительный, 2 – бак буферный ( $V=500$  л), 3 – дополнительный электродогреватель ( $N=15$  кВт), 4 – тепловой насос, 5 – бак ( $V=800$  л), 6 – запитка сетевой водой, 8 – коллектор с рассолом

Инструкцией по эксплуатации срок службы теплового насоса не установлен, но по аналогии применения холодильного оборудования предполагается, что он будет не менее 20-25 лет. Выгоды от внедрения теплового насоса очевидны. С помощью нового оборудования расход электроэнергии уменьшился примерно в 4 раза. В 2010 г. на КНС-3 на отопление и ГВС было затрачено 244 тыс. кВт-ч электроэнергии, а после установки теплового насоса - около 56 тыс. кВт-ч в год.

Есть еще одно существенное преимущество теплового насоса – он практически не нуждается в обслуживании, следовательно, нет никаких затрат на его эксплуатацию. Нужно также отметить и то, что при установке насоса не понадобилось менять систему отопления – остались те же батареи и трубы. Но вместе с тем надо признать, что подобное оборудование необходимо применять с системой отопления, обеспечивающей максимальное использование его возможностей, т.е. должны быть минимальные потери и хороший теплосъем.

Стоимость теплового насоса составила 840 тыс. руб. По нашим оценкам, он должен окупиться за 2,5 года. Так, общий размер платежей за электроэнергию по этой станции за прошедший отопительный сезон снизился более чем на 300 тыс. руб. В 2012 г. еще на двух канализационных станциях предприятия установлено подобное оборудование.

Аналогичные проекты были реализованы в Перми (на базе отечественного оборудования) и Вологде, где на аналогичной станции с июля 2010 г. работает тепловой насос зарубежного производства. По отзывам работников КНС в Вологде, благодаря реконструкции системы отопления им стало очень комфортно работать зимой на станции, плюс к этому на КНС появилась горячая вода. Все это говорит о применимости и целесообразности подобных проектов.

## 4.5. Утилизация тепла шахтных вод

### 4.5.1. Шахта «Осинниковская»

В 2001 году на шахте «Осинниковская» ОАО УК «Кузнецкуголь» в Кемеровской области впервые в России пущена в эксплуатацию опытно-промышленная технология утилизации низкопотенциального тепла шахтных вод. В технологическую схему включен тепловой насос, мощностью 130 кВт. Работа технологической схемы утилизации тепла шахтной воды, по проектным данным, позволяет получить около 60 м<sup>3</sup>/сутки горячей воды, с температурой 45°С на нужды горячего водоснабжения административных зданий [35].

Годовой экономический эффект составляет 268 тысяч рублей, срок окупаемости капитальных вложений около двух лет. Испытания технологической схемы показали превышение фактической производительности над проектной в 1,5 раза, что увеличит экономический эффект и снизит срок окупаемости проекта до одного года. Установка дает 100 м<sup>3</sup> в сутки горячей воды. Затрачивая 1 кВт·ч электроэнергии, технологическая схема позволяет получать около 4 кВт·ч эквивалентной тепловой энергии.

Стоимость выработки 1 Гкал тепла получена в 3 раза ниже в сравнении с шахтной котельной при сроке окупаемости проекта меньше 2 лет. Технология позволяет в летнее время года полностью отключить шахтную котельную, тем самым исключить вредные выбросы в атмосферу.

Вся угольная промышленность характеризуется наличием возобновляемых источников энергии, к которым относится теплота шахтных вод, вентиляционных выбросов, хозбытовых стоков и породных отвалов. Предприятиями отрасли ежегодно сбрасывается в открытые водоемы около 2,4 млрд куб. м шахтных вод, из которых около 50 %

являются нейтральными, и температура по некоторым доходит до 25 °С. С этими водами в окружающую среду сбрасывается более 50 млн ГДж низкопотенциальной теплоты, которая может быть при благоприятных условиях утилизирована. Отведение грунтовых вод для предотвращения затопления шахт при добыче угля является обычной практикой. Например, в ОАО «УК «Прокопьевскуголь» каждое из 9 угледобывающих предприятий (шахт) ежегодно откачивает на поверхность и сбрасывает в естественные водоемы от 400 до 7000 тыс. м<sup>3</sup> шахтной воды с температурой от 10 до 16 °С.

#### *4.5.2. Город Новошахтинск*

Схема теплоснабжения Новошахтинска на период 2013-2028 гг. утверждена Постановлением администрации города Новошахтинска от 19.03.2014 г. № 310, где предусмотрена как вариант перспективного развития схемы теплоснабжения города «оптимизация установленных мощностей существующих котельных и строительство новых мощностей, включающих тепловые насосы, использующих дешевую энергию шахтных или грунтовых вод» [11].

Проект включает в себя модернизацию 10 существующих котельных с оборудованием их тепловыми насосами и газопоршневыми установками (строительство новых блочно-модульных котельных схемой теплоснабжения также предусмотрено).

Стоит отметить, что решение по вводу новых мощностей на базе тепловых насосов, использующих дешевую энергию шахтных вод, действительно для Новошахтинска является достаточно интересным и перспективным. Напомним, что в 2011 г. проект фирмы ООО «Теплонасосные системы – Новошахтинск» вошел в перечень типовых проектов Координационного совета Президиума Генерального Совета Всероссийской политической партии «Единая Россия» по вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Поскольку практически в каждом городе, где закрыты шахты, они чаще всего закрывались методом затопления, то целесообразно применять тепловые насосы, использующие низкопотенциальную тепловую энергию шахтных вод, сочетая их с когенерационными установками для выработки дешевой электроэнергии для работы теплового насоса и собственных нужд. В Новошахтинске объем шахтной воды превышает 11 млн м<sup>3</sup>, она имеет температуру от 18 до 23 °С, что сопоставимо по теплотворной способности со 150 тыс. т нефти в год.

Пилотная теплонасосная станция (ТНС) в г. Новошахтинске снабжает тепловой энергией 5 социально значимых объектов: центральная городская больница № 1 (10 корпусов); детская городская больница (4 корпуса); школа № 27; профтехучилище № 58 (5 корпусов); детский сад № 34 «Мишутка». Строительство теплонасос-

ной станции позволило закрыть 7 старых подвальных неэффективных угольных котельных.

В ТНС установлены:

- два тепловых насоса единичной тепловой мощностью 0,384 МВт, обеспечивающие на выходе температуру теплоносителя равную 65 °С;
- два газовых котла, которые включаются в работу для покрытия пиковых нагрузок и могут выступать в качестве резервного источника. Для того чтобы обеспечить объекты тепловой энергии за счет частных инвестиций были проложены 3,5 км тепловых сетей, 3 км сетей ГВС и внутрикорпусные сети ГВС протяженностью 2,4 км.

Суть технологии работы ТНС такая. Бурится скважина в затопленную шахту, из которой подается вода объемом 100 м<sup>3</sup>/ч, температурой 18-23 °С. Авторы разработки (которая является инновационной и защищена патентом) отмечают, что важным моментом является проведение исследований и точное попадание в шахтную выработку, где температура воды соответствует «заказываемым» тепловым насосом. ТНС обеспечивает тепловой энергией Центральный район города в количестве 11,4 тыс. Гкал в год, что составляет 8% от общегородского потребления тепловой энергии.

При планировании проекта предполагалось, что после окупаемости инвестиций тариф на тепловую энергию должен снизиться и перестать существенно зависеть от цен на углеводородное топливо. Так, на момент реализации проекта прогнозная оценка тарифа на тепловую энергию составляла: в 2011 г. – 1562 руб./Гкал; в 2015 г. – 2443 руб./Гкал; в 2016 г. – 1954 руб./Гкал.

На практике в 2014 г. величина экономически обоснованного тарифа для компании ООО «ТСН-Н» составляла 2726,39 руб./Гкал (без НДС) и не менялась в течение года. К сожалению, из приведенных данных в опубликованной части схемы теплоснабжения нельзя четко понять какая все-таки электроэнергия используется для работы теплового насоса: от внешних источников (т.е. из общей сети) или же от собственного когенерационного источника (на базе газопоршневых установок), т.к. стоимость потребляемой электроэнергии напрямую влияет на формирование тарифа на тепловую энергию от ТНС.

## 4.6. Применение мощных и высокотемпературных тепловых насосов

Преимущества мощных ТН по сравнению с маломощными заключаются в следующем [63]:

- более низкие удельные капиталовложения (на 1 кВт тепловой мощности);
- меньшая занимаемая площадь по сравнению с большим количеством маломощных тепловых насосов;
- более высокие технико-экономические показатели отдельных элементов (например, изоэнтропный КПД компрессора) и теплового насоса в целом.

В нашей стране наиболее крупные парокомпрессионные тепловые насосы с винтовыми компрессорами производят в Новосибирске (ЗАО «Энергия») тепловой мощностью 500 – 3000 кВт (большая мощность достигается за счет объединения блоков по 500 кВт), с центробежными компрессорами – в Казани (НПО «Казань-компрессормаш») тепловой мощностью до 8,5–11,5 МВт. Подробнее об отечественных ТН большой мощности – в приложении.

В мире наиболее крупные парокомпрессионные тепловые насосы имеют тепловую мощность до 30 МВт с двухступенчатыми центробежными компрессорами.

В настоящее время с использованием ТНУ в Стокгольме работает крупнейшая ТНС в мире – Ропстен (входящая в состав тригенерационной станции Värtaverket) с общим отпуском теплоты 250 МВт и холодопроизводительностью 125 МВт. ТНС состоит из трех частей – это Ропстен–1,2, имеющие в своем составе 6 ТНУ с теплоотпуском 150 МВт и Ропстен–3, состоящая из 4 ТНУ с общим отпуском тепловой энергии 100 МВт. КПЭ для ТНУ, использующихся на станции, в среднем составляет 3,5 в течение года. В качестве источника теплоты используется морская вода, в зимний период температура которой опускается до 2–4 °С. В Хельсинки и Осло работают тепловые насосы на сточных водах. В летний период они производят одновременно тепловую энергию для горячего водоснабжения и холод для кондиционирования крупных торговых и бизнес-центров.

Применение тепловых насосов большой мощности наиболее эффективно в крупных городах, где большие тепловые и холодильные нагрузки в течение длительного периода и где остро стоит проблема утилизации отходов, в том числе и тепловых, таких как сточные воды.

Примеры внедрения мощных теплонасосных установок:

– Тюмень, Велижанский водозабор. Для отопления поселка с 1996 г. используются два насоса НТ-3000 общей мощностью 3700 кВт. Источник тепла – вода с температурой 7-9 °С;

– в г. Горно-Алтайске для отопления здания ЦСУ с 1995 г. используется насос НКТ-300 мощностью 270 кВт. Источником тепла служит грунтовая вода (7-9 °С);

– в Новосибирске для горячего водоснабжения Академгородка в летнее время (на ТЭЦ в Речкуновке) с 1998 г. используется насос НТ-1000 мощностью 1000 кВт. В качестве источника тепловой энергии служит вода Новосибирского водохранилища (5-22 °С);

– с января 1999 г. в системе отопления на Новосибирской ТЭЦ-4 в опытной промышленной эксплуатации находится тепловой насос АБТН-2000 тепловой мощностью 2000 кВт. В качестве источника тепловой энергии используется отработанный в турбине пар.

На ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» проведены испытания ТНУ, использующей в качестве рабочего тела отработанный пар. Все объекты работают в штатном режиме и обеспечивают заданные параметры при плановом периодическом техническом обслуживании, что позволяет сделать вывод о практической целесообразности подобных решений.

## 4.7. Юг России

В южных регионах России (в Краснодарском и Ставропольском краях, Республике Крым) особенно целесообразно внедрение теплонасосных установок большой мощности.

Особенность объектов внедрения – потребность как в тепловой, так и холодильной энергии для обеспечения комфортных условий в различные периоды года.

Одним из примеров реализованных проектов является энергоцентр гостиницы «Гамма» (пос. Ольгинка Туапсинского района), где 2008 г. запущена в эксплуатацию ТНУ мощностью 1 МВт. Это позволило решить вопросы отопления, ГВС и кондиционирования 6 корпусов гостиницы (20,4 тыс. м<sup>2</sup>, 350 номеров) без подвода газовой магистрали. Данный проект является одним из крупнейших на территории России с использованием теплонасосной технологии.

Основным источником низкопотенциальной тепловой энергии (НПТ) служат грунтовые воды (система съема НПТ состоит из двух скважин, расположенных в зоне высотного здания). Резервным источником НПТ является окружающий воздух (система съема НПТ состоит из восьми драйкулеров, расположенных на крыше теплового пункта). В энергоцентре установлены восемь тепловых насосов зарубежного производства, работающих по независимой друг от друга схеме. Все оборудование энергоцентра размещено на площади около 50 м<sup>2</sup>.

За время эксплуатации энергоцентра энергозатраты комплекса только по электричеству снизились примерно в 15 раз. Система ТНУ проектировалась для работы со средним коэффициентом преобразования COP=5,0 (по паспорту). Однако, поскольку в проекте были применены аккумуляторы тепла/холода, а в летний период работы использовался режим «пассивного» кондиционирования, т.е. без включения в работу ТНУ (при небольших суточных нагрузках осуществлялось охлаждение

воздуха только за счет циркуляции теплоносителей скважинного и других контуров системы), это позволило существенно сократить потребление электроэнергии; для потребления объектом 1 МВт·ч тепловой/холодильной энергии затрачивалось от 75 до 90 кВт·ч сетевой электроэнергии [46].

Другой пример многофункциональный комплекс торговый центр «Квартал» (ул. Навагинская, Центральный район, г. Сочи): 2014 год, мощность 1,4 МВт, источник НПТ — грунтовая вода из скважин.



Рис. 24. Фото ИТП торгового центра на сочинской привокзальной площади

Многофункциональный комплекс органично вписался в сложившуюся архитектурную концепцию привокзальной площади и стал её украшением, отражающим прогрессивное начало в олимпийской странице жизни города Сочи.

В инженерных решениях по многофункциональному комплексу также сохранена преемственность, но с инновационным духом времени. Особенность участка размещения комплекса состоит в том, что он имеет высокий уровень грунтовых вод, что первоначально воспрепятствовало строительству на этом месте большого многоэтажного здания. Грунтовые воды из скважины использовались в своё время для целей кондиционирования помещений бывшей на этом месте гостиницы путём охлаждения конденсаторов холодильных машин.

Сочинская компания предложила заказчику строительства концепцию тепло/холодоснабжения на базе современной технологии тепловых насосов схемы «вода-вода», использующую в качестве источника низкопотенциального тепла (НПТ) грунтовую воду из скважин на территории комплекса. После сравни-

тельного технико-экономического анализа предложенного варианта с традиционными технологиями (подключение к городской теплосети, строительство котельной, установка чиллеров схемы «воздух-вода» и др.) заказчик принял решение по использованию технологии теплового насоса схемы «вода-вода» для целей отопления, кондиционирования и ГВС зданий комплекса.

Пробурены скважины с расчётным дебитом воды для работы теплонасосных установок. Скважины подачи грунтовой воды выполнены в подземном варианте, то есть на поверхность земли они выходят как традиционные канализационные люки, а всё оборудование находится в подземных боксах. Инженерная концепция предполагает применение в каждом здании индивидуального ИТП с группой тепловых насосов для выработки тепла/холода на нужды отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения.

ИТП располагаются на кровле зданий (рис.24), что экономит коммерческие площади комплекса. Подача грунтовой воды из скважин к каждому ИТП по вертикальным стоякам от общего коллектора, проложенного под землёй на территории комплекса и связывающего все скважины в один контур НПТ.

Общая мощность тепловых насосов составляет 1,4 МВт, в блок-модулях смонтировано по два-три тепловых насоса по 100 кВт, при этом расчётное потребление электроэнергии не превышает 350 кВт при 100 % нагрузках, но, как показывает опыт эксплуатации аналогичных установок (отель «Гамма» в Туапсинском районе, п. Ольгинка) среднегодовое часовое потребление электроэнергии составит не более 180 кВт.

Стоимость выработки 1 Гкал тепла/холода с помощью теплового насоса схемы «вода-вода» при существующем тарифе на электроэнергию составляет сумму, конкурентную стоимости тепла индивидуальной газовой котельной, но в три раза дешевле, чем покупка тепла у муниципального унитарного предприятия «Сочитеплоэнерго» и в два раза дешевле, чем выработка тепла/холода традиционными устройствами типа сплит-систем, мультизональных VRV-систем или чиллеров схемы «воздух-вода».

Также положительным фактором принятой технологии является её полная экологическая безопасность, так как нет продуктов сгорания и выхлопов в окружающую среду.

Необходимость слива технической воды после тепловых насосов в городской коллектор ливневой канализации потребовала полной реконструкции системы ливневых труб вдоль улиц Навагинская и Островского, что было выполнено заказчиком строительства за свой счёт и что обеспечило их работоспособность даже в самые напряжённые периоды проливных дождей в 2015 году.

Грунтовая вода после теплового насоса не претерпевает каких-либо химических, биологических, механических изменений и используется на технологические нужды комплекса – полив насаждений, уборку территории, мытье окон и остекления фасадов зданий, обеспечивает работу декоративных фонтанов, в противопожарных и других целях.

Стоимость эксплуатации тепловых насосов значительно меньше, чем стоимость эксплуатации газовой котельной, а также круглогодичный режим загрузки тепловых насосов на выработку как тепла, так и холода, определяют срок окупаемости капитальных затрат на строительство системы не более трёх лет.

Туристический центр 3\*\*\* «Арт Ап Сити» на 156 номеров (п. Красная поляна, Адлерский район, г. Сочи): 2013 год, мощность 1,3 МВт, источник НПТ – грунтовая вода из скважин.



Рис. 25. Фото скважины ТНУ

Туристический центр «Арт Ап Сити» состоит из пяти трёхэтажных корпусов общей площадью 17 тыс. м<sup>2</sup>. В декабре 2013 года завершено строительство и сдана в эксплуатацию теплонасосная установка (ТНУ) схемы «вода-вода» для обеспечения отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения объекта, входящего в программу олимпийского строительства. Общая тепловая мощность составляет 1,3 МВт.

Теплонасосная установка состоит из пяти блок-модулей по 200-300 кВт мощности, установленных возле каждого корпуса гостиницы для автономного снабжения тепловой/холодильной энергией. В блок-модулях смонтировано по два-три тепловых насоса по 100 кВт тепловой мощности каждый. Управление ТНУ автоматическое через индивидуальный контроллер теплового насоса. Подача низкопотенциальной энергии – тепла грунтовой воды из двух скважин – на территории комплекса осуществляется посредством технического водопровода, подходящего к блок-модулям.

Санаторий «Белая Русь» (п. Майский, Туапсинский район, Краснодарский край): 1994 год, мощность 3,5 МВт, источник НПТ – вода Чёрного моря.

Гостиница 3\*\*\* «Парк отель» (ул. Береговая, город Краснодар): 2012 год, мощность 350 кВт, тепловые насосы фирмы Mammoth (США), источник НПТ – грунтовая вода из скважин.

#### **Школа в селе Арчедино-Чернушинское Волгоградской области**

Компанию Mitsubishi Electric использовала тепловые насосы Zubadan типа «воздух-воздух». Нижний предел диапазона рабочих температур насоса по данным изготовителя: –25 °С, кратковременный предел: –28 °С (теплопроизводительность падает при этом примерно на 20%). По мнению проектировщиков [18], в реальности насос продолжает работу до –36 °С, хотя коэффициент преобразования снижается. В Чернушке такие морозы – редкость. Вплоть до –25 °С тепловой насос работает в штатном режиме с высоким COP (чуть выше 3) и почти без обмерзания наружных блоков.

При обычной для Волгограда зимней температуре от –10 до 0 °С насос в состоянии выдавать воздух с температурой до +40 °С, а самое главное – при перерыве в энергоснабжении оборудование не пострадает даже в очень суровый мороз, и при подаче электричества школа быстро прогреется вновь. Тепловой насос использует озонобезопасный фреон R410A, имеет весьма низкий уровень звукового давления – всего 53 дБ. Кроме того, максимальная длина магистрали (75 м) позволяет разместить наружные блоки подальше от детских ушей. Все это стало возможно благодаря двухступенчатому компрессору, системе промежуточного охлаждения паров хладагента, а также мощной системе автоматического регулирования параметров. Немаловажно и то, что тепловой насос, в отличие от газовой котельной, не подлежит регистрации в надзорных органах.

Помимо этой школы ТНУ оснащены ещё 14 объектов в Волгоградской области.

## 4.8. Примеры применения ТНУ на транспорте

Применение ТНУ в различных сферах может не только иметь локальный технический и экономический эффект, но и служить дополнительным мотивом к развитию собственно теплонасосных технологий.

В первую очередь, применение ТНУ возможно аналогично известным решениям – отопления, кондиционирования. В качестве примера стоит привести ряд реализованных проектов, в т.ч. на объектах ОАО РЖД.

### *4.8.1. Перевод на теплоснабжение с мазутных и угольных котельных на ТНУ отдельных изолированных объектов*

На узловой железнодорожной станции Волгограда был реализован проект по переводу теплоснабжения одного из объектов инфраструктуры Приволжской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» с дизельной котельной на тепловые насосы. Основной идеей такого переоснащения было снижение эксплуатационных расходов и уменьшение себестоимости выработки тепловой энергии для предприятия, а также снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду.

В проекте в качестве основных источников тепловой энергии применены тепловые насосы типа «воздух-воздух» и «воздух-вода» серии Ecodan производства японской компании Mitsubishi Electric. Тепловые насосы серии Ecodan – инновационные инженерные системы, которые в холодный период года отапливают помещения и нагревают горячую воду, а в теплый период охлаждают помещения, позволяя осуществлять своего рода «климат-контроль».

Инициатором и заказчиком проекта выступил департамент технической политики ОАО «РЖД», осуществляющий в компании реализацию мероприятий программы ресурсосбережения и внедрения новых технических средств и технологий, обеспечивающих повышение энергетической эффективности подразделений ОАО «РЖД». Работа по переводу теплоснабжения некоторых объектов Приволжской железной дороги на тепловые насосы «воздух-воздух» и «воздух-вода» была поручена волгоградской компании ООО «ТеплоТехМонтаж».

В результате модернизации заказчик получил повышение эффективности теплоснабжения и круглогодичное использование системы отопления и ГВС, а в летний период появилась возможность охлаждать помещения. При этом существенно снизились эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и ремонт системы.

Дизельная котельная была предназначена для теплоснабжения и горячего водоснабжения служебно-технических помещений на железнодорожной станции

Приволжской железной дороги (административное здание, пункт технического обслуживания оборудования, здание компрессорной и помещения операторов). Установленная мощность котельной 1,2 Гкал/ч., присоединенная тепловая нагрузка 0,39 Гкал/ч. (отопление и ГВС), годовое потребление тепловой энергии 645 Гкал.

В котельной было установлено 2 паровых котла марки Е-1/9, работающих в догрейном режиме. Износ основного и вспомогательного оборудования котельной к 2014 году составлял 100 %, и после модернизации котельной было принято решение о ее закрытии с последующим демонтажем и утилизацией изношенного оборудования.

После проведения комплексных мероприятий по повышению теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций указанных объектов подрядчик установил тепловые насосы с общей производительностью 0,206 Гкал/ч. тепловой энергии (240 кВт). При этом потребление электроэнергии за отопительный период при сезонном коэффициенте энергоэффективности тепловых насосов SCOP=3,5 должно составить не более 210 тыс. кВт-ч.

Инвестиционные затраты по проекту составили 12 млн руб. Срок реализации 3 месяца (4-й квартал 2014 года). Годовой экономический эффект, планируемый к получению заказчиком в будущем, формируется за счет снижения эксплуатационных расходов и затрат на топливо и должен составить не менее 9,5 млн руб. в год, что позволит окупить инвестиционные затраты примерно за 1,5 года.

В качестве резервной системы энергоснабжения на период аномальных отрицательных температур на объекте установлены традиционные электрические котлы, которые ни в декабре, ни в январе еще ни разу не включались, даже при понижении температуры наружного воздуха до  $-28^{\circ}\text{C}$ , так как было достаточно работы тепловых насосов.

По итогам эксплуатации за указанный период (31 день) потребление электрической энергии составило 36,7 тыс. кВт-ч на сумму 110,01 тыс. руб., что ниже месячного фонда оплаты труда работников ликвидированной котельной.

Средняя температура за период с 19 декабря 2014 года по 19 января 2015 года в регионе составила  $-5,2^{\circ}\text{C}$ , температура в помещениях поддерживалась в диапазоне  $+20...+24^{\circ}\text{C}$ . На основании данных месяца эксплуатации можно с высокой степенью точности предположить, что при средней температуре наружного воздуха  $-2,2^{\circ}\text{C}$  за отопительный период (для климатической зоны Волгограда) общее потребление электроэнергии составит не более 200 тыс. кВт-ч, что подтверждает предварительные расчеты.

Данный проект является первым реализованным на Приволжской железной дороге, но не единственным в программе ресурсосбережения ОАО «РЖД», где ши-

роко используются различные системы теплоснабжения объектов с использованием альтернативных источников энергии. В Волгоградской области в настоящее время эксплуатируется уже более 50 объектов с установленными тепловыми насосами Ecodan в комплекте с наружными блоками серии Zubadan суммарной тепловой мощностью свыше 3 МВт.

#### ***4.8.2. Энергоэффективная система тепло- и холодоснабжения вокзала***

На вокзале Анапы была внедрена современная энергоэффективная система отопления, холодоснабжения и горячего водоснабжения. Благодаря проведенным работам, удалось достичь поставленных целей: сделать вокзал независимым от внешнего источника тепловой энергии и рационально управлять энергетическими ресурсами [25].

В комплекс данной системы входят тепловые насосы, предназначенные для нагрева и охлаждения воды, каскадные теплонасосные установки внутреннего размещения и шесть реверсируемых установок, разработанных и поставленных с участием группы компаний «Инсолар».

#### ***4.8.3. Климатические системы для железнодорожных вагонов***

Воздушная климатическая система включает в себя турбокомпрессор, теплообменник, контроллер, вентиляторы, преобразователь частоты, воздухопроводы, клапаны, заслонки, глушители, помещенные в корпус раму с обшивкой.



Рис. 26. Воздушная климатическая система (ВКС) для железнодорожных вагонов

Летом воздух, сжатый компрессором, охлаждается в теплообменнике. Охлажденный воздух расширяется в турбине, в результате чего его температура понижается до +5...+10 °С. Полученный холодный воздух подается в помещение. Горячий воздух после выхода из теплообменника выбрасывается в атмосферу.

Для повышения энергетической и экономической эффективности от применения ВКС может быть создан дополнительный контур утилизации теплоты в единой системе охлаждения, отопления и нагрева воды (например, для подогрева воды для бытовых нужд). При этом суммарный коэффициент мощности (полезного использования электроэнергии) достигает 3,0–3,5. Зимой воздух нагревается в теплообменнике, после чего подается в помещение. Переохлажденный в турбине воздух отводится в окружающую среду.

Пассажирские вагоны с системой водяного отопления можно считать «классической» для климатических условий России и протяженности маршрутов движения. Однако с развитием скоростного движения в межрегиональном сообщении протяженностью до 700 км пригодным оказывается и пассажирский вагон с воздушной системой отопления как более простой в эксплуатации, малоинерционной, обладающей меньшей массой. В 1999 г. МВРЗ им. Войтовича по разработке ОАО ПКБВ «Магистраль» построил опытный скоростной вагон межобластного назначения модели 9510. Вагон был оборудован воздушной системой обеспечения климата (СОК), включавшей в себя:

- климатическую установку (для охлаждения и обогрева) типа КУ 7175, на базе воздушной холодильной машины;
- частотный преобразователь;
- высоковольтный электрокалорифер (3 кВ) номинальной мощностью 30 кВт;
- воздушные каналы забора, раздачи и рециркуляции воздуха;
- цифровой блок автоматического управления СОК.

При работе системы в режиме отопления наружный воздух предварительно нагревается в КУ, работающей в теплонасосном режиме, затем, смешиваясь с рециркуляционным воздухом, после окончательного нагрева в высоковольтном электрокалорифере поступает в разделительный узел и через нижние раздаточные воздухопроводы – в пассажирский салон вагона. Предусмотрено автоматическое регулирование теплопроизводительности электрокомпрессора КУ за счёт ступенчатого изменения частоты вращения, а также ступенчатого регулирования мощности высоковольтного электрокалорифера (шесть ступеней) посредством переключения групп высоковольтными контакторами.

При работе системы в режиме охлаждения наружный воздух охлаждался в КУ и, смешиваясь с рециркуляционным, подавался в салон вагона через потолочный

воздуховод. Режим вентиляции отличался от режима охлаждения тем, что свежий воздух подавался в салон не компрессорами КУ, а дополнительными вентиляторами, минуя цикл воздушной холодильной машины. Все электропотребители вагона были запитаны от многоканального высоковольтного преобразователя с общей выходной мощностью 65 кВт.

Проведенные испытания опытного вагона выявили ряд существенных недостатков в работе оборудования климатической системы, потребовавших её коренной модернизации. В первую очередь климатическая установка КУ 7175 была заменена на кондиционер УКВ-31 фирмы «Остров»; установлено два высоковольтных электрокалорифера мощностью по 20 кВт каждый; распределительный узел с ручными заслонками «зима – лето» устанавливается непосредственно после УКВ, обеспечив проходимость воздуха через высоковольтные электрокалориферы только в режиме отопления; установлены подоконные панели со встроенными каналами вентиляции, через которые воздух подаётся в оконную зону и нижнюю часть салона.

Испытания вагона с модернизированной системой СОК показали её работоспособность, подтвердили высокие динамические качества воздушной системы отопления и равномерность распределения температур воздуха по салону с нижней раздачей [31].

#### *4.8.4. Система геотермического (геотермального) обогрева стрелочных переводов*

На станции Дача Долгорукова Октябрьской железной дороги реализован плотный проект по внедрению системы геотермического обогрева двух стрелочных переводов [42].

Стрелочное хозяйство железных дорог России насчитывает около 300 тысяч стрелочных переводов. Климат же таков, что на протяжении значительной части года на земляном полотне станций и промышленных предприятий лежит снежный покров. В ряде регионов земля покрыта снегом свыше 8 месяцев. Работа стрелок существенно осложняется в зимний период, когда во время снегопадов и метелей снег препятствует нормальной работе стрелочных переводов.

Проблема повышения надежности работы стрелочных переводов в зимний период весьма актуальна. Для обеспечения надёжной работы стрелочных переводов в зимнее время используются различные способы и системы: тепловой обогрев (электрический, газовый, геотермальный, индукционный); пневмоочистка (удаление снега за счёт использования пневмоочистительных снегоуборочных машин, автоматическая пневмообдувка и шланговая обдувка), а также уборка снега ручными средствами.

В 2011 г. на станции Дача Долгорукова (ПЧ-14) Октябрьской железной дороги внедрен пилотный проект системы геотермального обогрева стрелочных переводов Triple-S производства Германии (рисунок 27). Это инновационная система обогрева стрелочных переводов, использующая геотермическую технологию на базе тепловых насосов в совокупности с новейшими устройствами управления. Она обеспечивает снижение энергозатрат на 60 % по сравнению с классическими системами обогрева.



Рис. 27. Система геотермического обогрева стрелочного перевода

Система включает в себя 3 основных компонента:

- экологичный естественный источник тепла (тепло земли);
- блок теплового насоса;
- теплообменник (нагреватель, крепящийся к шейке рельса).

Управление системой осуществлялось с помощью метеостанции с набором сенсоров в сочетании с температурными датчиками, установленными на рельсах.

Установленная на двух стрелочных переводах система показала во время отопительного сезона 2011/2012 годов бесперебойную работу.

В период отопительного сезона потребление электроэнергии системой «Triple S» в 22,4 раза меньше, чем потребление энергии электрической системой. Глубина расположения теплообменника – 10 метров. Интеллектуальная система управления и регулирования обеспечивает подачу тепла к стрелочному переводу по мере надобности, благодаря чему установка не находится постоянно во включенном состоянии.

В случае снегопада геотермическая система также обеспечивает высокую эксплуатационную готовность стрелочных переводов, достигающую 99,9 %. Систему геотермального обогрева эффективно применять на больших группах стрелочных переводов. К одной геотермической системе обогрева можно подключать до восьми стрелочных переводов, расположенных в радиусе до 250 м.

Система оборудована метеостанцией, с помощью которой определяются температура окружающей среды и погодные условия, в зависимости от чего автоматически устанавливается режим обогрева рельса. За время опытной эксплуатации системы была достигнута разность температур между обогреваемым и необогреваемым рельсом в 70 °С Цельсия при температуре окружающей среды от нуля до минус 30 °С. Потребляемая мощность системы составляет в среднем около 20 кВт, что в 2–3 раза меньше мощности существующей системы электрообогрева стрелок типа СЭИТ-04 [36].

#### *4.8.5. Утилизация тепла, отводимого от технологического оборудования*

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируется 137 сортировочных горок, в том числе 110 механизированных с компрессорными станциями [72]. Особенность применения тепловых насосов на горочных комплексах заключается в возможности использования ТН в качестве способа охлаждения компрессора взамен традиционного, где воду охлаждают в градирнях 3 (см. рисунок ниже), преобразования полученной низкопотенциальной тепловой энергии в высокопотенциальную и ее использовании в системе отопления здания сортировочной горки.

Недостатком традиционной схемы охлаждения является то, что из градирни 3 рассеивается тепловая энергия в окружающую среду, что обусловлено принципом ее действия. Эта энергия как раз и представляет собой источник снижения потребления энергоресурсов и экономии эксплуатационных затрат на теплоснабжение зданий сортировочных горок, если ее использовать с помощью теплового насоса.

Еще одним существенным минусом такой схемы является отсутствие должной подготовки воды, подаваемой в систему охлаждения компрессора при помощи циркуляционного насоса 2. Кроме того, циркулирующая в системе охлаждения вода постоянно загрязняется в градирне.

На рис. 28 показана запатентованная принципиальная схема совмещения гидравлической системы ТН с системой теплоснабжения здания и контуром охлаждения компрессоров, позволяющая избежать названных недостатков традиционного способа охлаждения.

Принцип работы предлагаемой к рассмотрению схемы заключается в следующем (рис.28). Обратная вода системы охлаждения перед пуском в работу компрессора 1 (или группы компрессоров) проходит соответствующую очистку и обработку в блоке системы водоподготовки 5. Подача воды в блок осуществляется открытием задвижки 4 при закрытом регулирующем клапане 7. После заполнения системы охлаждения компрессора обратная вода задвижка 4 закрывается.

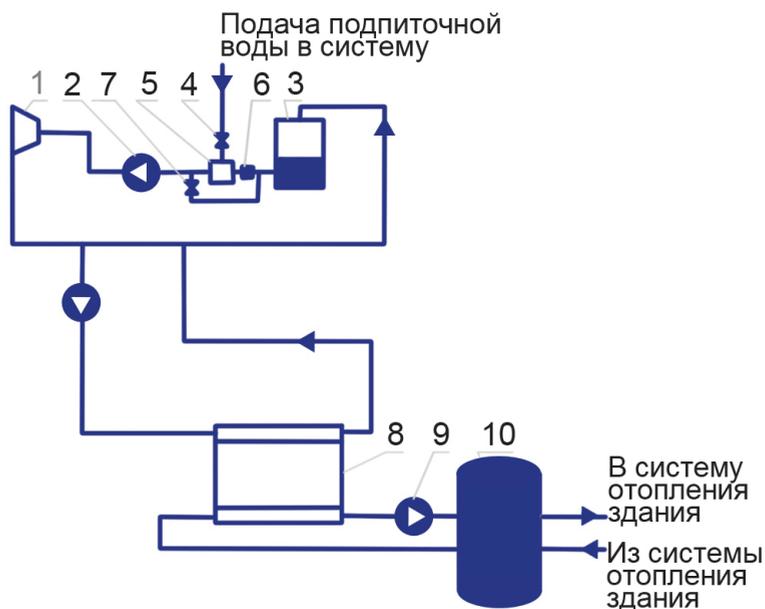


Рис. 28. Принципиальная схема совмещения гидравлической системы ТН с контуром охлаждения компрессоров сортировочной горки

1 – компрессор, 2,9 – циркуляционный насос, 3 – градирня, 4,6 – задвижка, 5 – блок системы водоподготовки, 7 – регулирующий клапан, 8 – тепловой насос, 10 – буферный накопитель

Далее, при помощи циркуляционного насоса 2 (или группы циркуляционных насосов) уже подготовленная вода подается в систему охлаждения, после чего происходит ее разделение на два потока. Первый поток по системе трубопроводов идет в тепловой насос 8, где отдает свое тепло фреону в испарителе, далее – в градирню 3, а второй по системе трубопроводов подается сразу в градирню 3. Затем оба потока соединяются, и уже охлажденная вода снова подается к работающему компрессору для отвода тепла.

В случае неудовлетворения сетевой воды нормам качества (возможное загрязнение второго потока в градирни), она может повторно пройти очистку и обработку в блоке системы водоподготовки 5.

Что касается работы теплового насоса 8, то процесс преобразования тепловой энергии в высокопотенциальную происходит по классической схеме, результатом чего является нагрев воды системы отопления здания в конденсаторе с последующей подачей ее с помощью циркуляционного насоса 9 (или группы циркуляционных насосов) в буферный накопитель 10 и затем обратно в систему.

На основе технико-экономического анализа сделан вывод о сроке окупаемости 7,9 года [72].

## **4.9. Примеры применения тепловых насосов на промышленных предприятиях в Республике Беларусь**

В Республике Беларусь, имеющей ограниченные запасы собственных топливных ресурсов, применение тепловых насосов отнесено к приоритетным направлениям энергосбережения. Тепловые насосы установлены на нескольких десятках промышленных предприятиях, объектах жилищно-коммунального хозяйства и отдыха.

Как правило, это опытно-промышленные системы теплоснабжения с парокомпрессионными тепловыми насосами, отличающимися типом, теплопроизводительностью, видом рабочего агента, источниками низкопотенциальной теплоты и теплопотребляющими процессами.

В таблице 5 приведены общие данные о некоторых внедренных системах [33]. Как видно из таблицы, спектр промышленного применения ТНУ достаточно широк: от водосбросов канализации и очистных сооружений, до станций метро и вторичных энергоресурсов промышленных предприятий.

Таблица 5

## Примеры применения ТН в Республике Беларусь

Объекты применения тепловых насосов	Источник низко-потенциальной теплоты	Тепло-потребитель	Тип компрессоров	Вид рабочих агентов	Схема отбора теплоты
Сооружения речного водозабора	Речная вода	Отопление, вентиляция и ГВС	Винтовые	R134a	С промежуточным теплоносителем
				R22	
Водонасосные станции II-го подъема	Водопроводная вода	Отопление	Спиральный	R407C	С непосредственным отбором
				R407C	
Канализационные насосные станции	Городские сточные воды	Отопление и вентиляция	Винтовые	R134a	С промежуточным теплоносителем
	Грунтовые воды, городские сточные воды				
Сооружение очистки городских сточных вод	Очищенные сточные воды	Отопление, вентиляция и ГВС	Винтовые	R134a	С непосредственным отбором
	Вытяжной воздух				
Станции метро	Воздух тоннеля метро	Отопление	Поршневые	R22	С непосредственным отбором
	Условно чистые сточные воды				
Промышленные предприятия	Оборотная вода	Горячее водоснабжение	Спиральный	R22	С промежуточным теплоносителем
	Трансформаторное масло				
Трансформаторные подстанции	Трансформаторное масло	Отопление, вентиляция и ГВС	Спиральный	R407C	С промежуточным теплоносителем

## 5. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТНУ С СИСТЕМАМИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ТЭЦ)

Если применение ТНУ для автономного теплоснабжения отдельно стоящего здания – это решение проблемы при невозможности подключения к централизованному тепло- или газоснабжению, то применение ТНУ в теплофикационных системах это путь к совершенствованию и повышению экономичности последних. Объективный недостаток теплофикационных систем – вынужденная затратная эксплуатация систем транспорта тепла и связанный с этим уход потребителей к автономному теплоснабжению может быть частично компенсирован применением ТНУ.

Есть следующие варианты применения ТНУ:

- Дополнительное подключение к теплофикационным системам новых потребителей тепла.
- Подключение к теплофикационным системам потребителей холода.
- Совершенствование теплоэнергетических установок теплофикационных систем.

Ниже рассмотрены как самостоятельно экономичные варианты, так и спорные или возможные только в результате организационных действий.

В то время как ТНУ получают все более широкое применение для отопления и летнего кондиционирования воздуха отдельных объектов, для городской застройки с высокой плотностью тепловой нагрузки получить нужное количество низкопотенциального тепла затруднительно, особенно в период пиковых нагрузок (при низких температурах наружного воздуха). Поэтому в реализованных или рассматриваемых проектах крупные ТНУ используют тепловую энергию морской воды, водоемов, канализационных стоков, затопленных шахт. Наиболее мощная теплонасосная станция (320 МВт) работает в Стокгольме. Для городов России с крупными теплофикационными системами наиболее актуален вопрос эффективного применения ТНУ как дополнения к существующим системам централизованного теплоснабжения.

### 5.1. Использование ТНУ в многоквартирных домах совместно с централизованным теплоснабжением

#### 5.1.1. Киев

Наиболее ярким примером работы теплового насоса, использующего теплоту грунта и канализационных стоков, в системе горячего водоснабжения может послужить опытная система с ТНУ, установленная в общежитии аспирантов в Киеве [19].

Поскольку тепловая мощность установленного теплового насоса оказалась недостаточной для того, чтобы он мог полностью обеспечивать все потребности здания в горячей воде в зимний период, когда температура холодной водопроводной воды была близка к 0 °С, зимой вместе с тепловым насосом работал параллельно включенный теплообменник, в котором вода подогревалась теплоносителем из тепловой сети. Тепловой насос включался автоматически лишь в часы повышенного водоразбора. Тем не менее, полученные в результате исследований данные, в особенности, относящиеся к работе сточно-гликолевого теплообменника, могут быть интересны специалистам, поскольку сами теплообменники такого рода в литературе не описаны.

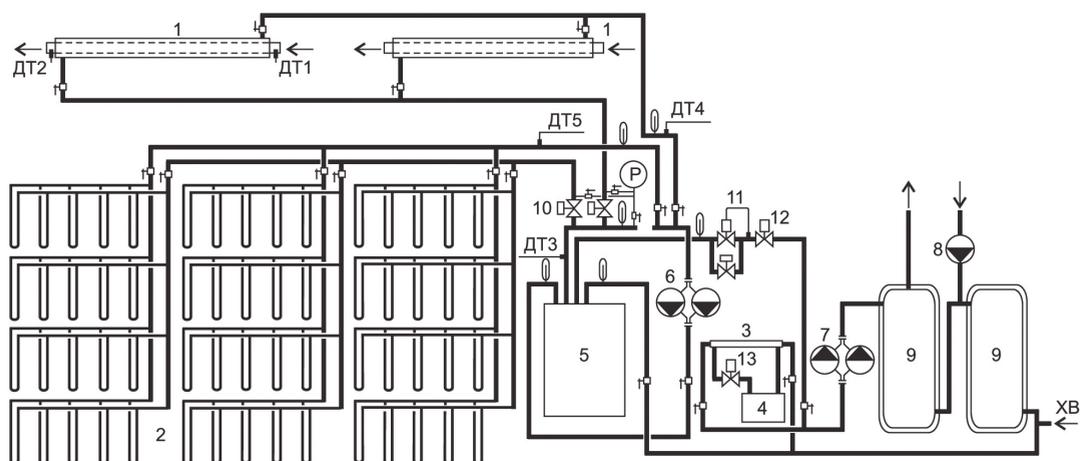


Рис. 29. Схема испытательного стенда опытной установки:

1 – сточно-гликолевые теплообменники; 2 – грунтовые теплообменники; 3 – теплообменник системы централизованного теплоснабжения; 4 – узел ввода тепловой сети; 5 – тепловой насос; 6 – циркуляционный насос водного раствора этиленгликоля; 7 – циркуляционный насос контура водоподогревателей; 8 – циркуляционный насос системы ГВС; 9 – закрытые баки-накопители горячей воды; 10 – балансировочные вентили испытательного стенда; 11 – регулятор температуры прямого действия контура конденсатора; 12 – электромагнитный клапан; 13 – регулятор температуры водоподогревателя; ДТ1-ДТ5 – датчики температуры испытательного стенда; ХВ – холодная вода из водопровода.

На рис. 29 представлена схема фрагмента теплового пункта этого здания. Два сточно-гликолевых теплообменника 1, выполненные из нержавеющей коаксиально установленных труб диаметром 100 и 125 мм, работают в общем циркуляцион-

ном контуре с грунтовыми теплообменниками 2, изготовленными из полиэтиленовых U-образной формы труб (60 шт.) диаметром 14 мм, погруженными в грунт петлями длиной по 3 м (глубина ограничена возможностью бурения в подвале уже построенного здания – т.е. высотой потолка подвала).

Насос 6 обеспечивает циркуляцию водного раствора этиленгликоля между источниками низкопотенциального тепла 1, 2 и испарителем теплового насоса 5. При работе компрессора теплового насоса в его конденсаторе подогревается вода, циркулирующая при помощи насоса 7, подающего подогретую воду в баки-накопители 9. Параллельно конденсатору теплового насоса установлен теплообменник 3, присоединенный к узлу ввода тепловой сети 4.

Для регулирования теплового потока, кроме регулятора, встроенного в тепловой насос 5, использованы регуляторы 11, 12 и 13. Регулятор, встроенный в тепловой насос, настроен для работы в системе горячего водоснабжения таким образом, что он автоматически включает компрессор теплового насоса при температуре поступающей в конденсатор воды ниже 26 °С, а при поступлении из бака воды с более высокой температурой компрессор автоматически отключается. Таким образом, если баки-накопители настолько заполнены горячей водой, что в самой холодной точке бака температура превышает 26 °С, то тепловой насос работать не будет. Другой автомат, встроенный изготовителем в тепловой насос, не позволит компрессору по условиям его защиты включиться ранее, чем через 7 мин после отключения. Поэтому в схему добавлен электромагнитный клапан 12, который связан с компрессором теплового насоса так, что при работе компрессора он открыт, а при останове – закрывается.

При отсутствии этого клапана холодная вода могла бы в течение 7 мин, свободно протекая через конденсатор неработающего теплового насоса, поступать в самую горячую часть бака-накопителя, в результате чего жители, принимающие теплый душ, могли внезапно оказаться под струей холодной воды. Конструктивно клапан 12 выполнен с возможностью пропуска небольшого расхода воды при закрытом клапане. Это сделано для того, чтобы датчик температуры встроенного в тепловой насос регулятора мог уловить момент, когда в конденсатор начнет поступать вода с температурой ниже 26 °С, чтобы тепловой насос мог вовремя включиться.

Температура холодной воды, поступающей на подогрев в конденсатор теплового насоса, изменяется в интервале от 1 до 26 °С, в то время как температура подогретой воды должна находиться в более узком диапазоне допустимых температур 50-55 °С.

Обеспечить такой диапазон удалось при помощи регулятора температуры прямого действия 11 и ручного балансировочного вентиля на байпасной линии. Балансировочный вентиль настроен таким образом, что при открытии электромагнитного клапана 12, в то время, когда клапан 11 закрыт, через балансировочный

вентиль проходит минимальный расход воды. Если бы байпаса не было, то при пуске компрессора и отсутствии протока воды через конденсатор сработал бы автомат защиты, который при повышении давления конденсации холодильного агента отключает компрессор без возможности последующего автоматического запуска.

При наличии байпасной линии холодная вода сразу после пуска компрессора начинает поступать на подогрев в небольшом объеме, ограниченном положением балансировочного вентиля. Через несколько секунд, после того как температура подогретой воды достигнет 50 °С, автоматически и постепенно открывается регулятор температуры прямого действия 11, и расход подогреваемой воды увеличивается, в то время как ее температура остается все время на уровне 50-55 °С. Регулятор 11 поддерживает эту температуру в течение всего времени работы компрессора, увеличивая расход нагреваемой воды при повышении температуры и уменьшая его при понижении температуры.

Циркуляционные насосы 6 и 7 работают безостановочно. Насос 7 подает воду не только в конденсатор теплового насоса, но и в теплообменник 3, тепловая мощность которого регулируется клапаном 13 по обычной для тепловых пунктов схеме.

Основными теплофизическими параметрами теплонасосной установки являются расходы и температуры жидкостей, циркулирующих в различных контурах. Расходы сточной воды в канализационных трубах измерить практически невозможно, но они определялись косвенным путем на основе теплового баланса сточно-гликолевого теплообменника.

**Летний режим.** Температура в канализационной трубе в течение ночи изменялась в диапазоне от 23 до 31 °С, т.к. лето, и вода из водопровода, попадающая в небольшом количестве в канализацию через неплотности смывных бачков, имела примерно такую же температуру. Колебания температур сточной жидкости носят случайный характер, и уложить эти колебания в рамки строгих математических зависимостей вряд ли возможно.

Самые теплые стоки отмечены во время пиковых водоразборов, и это вполне естественно, а достаточно резкие колебания температур в это время можно объяснить тем, что потребителей горячей воды в доме, где проживает 150 чел., относительно немного, и влияние каждого открытого крана здесь более заметно, чем это было бы в большом доме.

Температура охлажденного этиленгликоля колебалась от 8 до 19 °С. Эти крайние значения можно рассматривать как равновесные в режимах работающего и остановленного теплового насоса. Продолжительность выхода на низшую (8 °С) равновесную температуру – около 2,5 ч, а на высшую (19 °С) – примерно 2 ч. Всего в течение суток тепловой насос работал 12-13 ч.

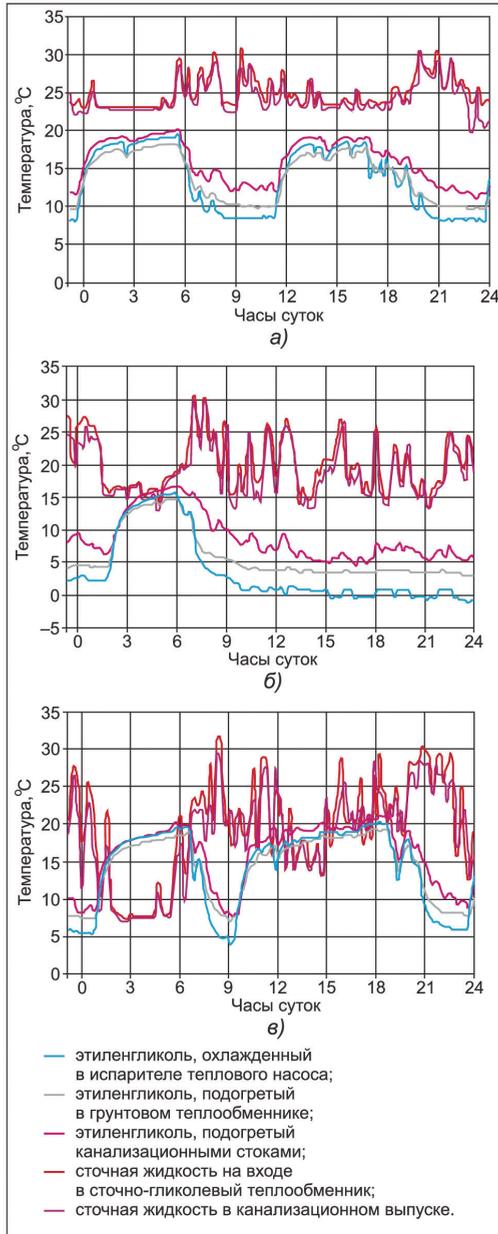


Рис. 30. Характер изменения температур этиленгликоля и канализационных стоков: а – летом (17 августа 2006 г.); б – осенью (17 ноября 2006 г.); в – зимой (31 января 2007 г.).

В отличие от режима активного охлаждения теплообменников, когда температура на входе этиленгликоля в теплообменники была самой низкой в системе, в режиме повышения температур, возникшем при остановке теплового насоса, самой низкой температурой становится температура этиленгликоля после грунтового теплообменника.

Это происходит из-за того, что при работающем тепловом насосе на температуру этиленгликоля оказывает воздействие испаритель, а также грунтовый и сточно-гликолевый теплообменники, в то время как при неработающем компрессоре испаритель исключен из этого процесса, и теплообмен происходит между грунтом и стоками. Реализуется этот процесс при посредничестве этиленгликоля, который при неработающем компрессоре продолжает циркулировать в своем контуре, играя роль промежуточного теплоносителя.

Благодаря именно этой необычной роли постоянно подогреваемый теплыми стоками грунт легко восстанавливает свой температурный потенциал, способствуя работе теплового насоса с неизменно высоким коэффициентом преобразования. Известно, что грунтовые теплообменники, охлаждающие грунт постоянно в течение зимы, к концу отопительного сезона обрастают ледяными наростами, что заметно ухудшает коэффициент преобразования теплового насоса, и даже за летний период изначальный тепловой потенциал грунта не всегда восстанавливается полностью.

В приведенной схеме достаточно 2,5 ч, в течение которых тепловой насос «отдыхает», для того, чтобы грунт восстановил свою естественную температуру, которая, как это видно из кривых на рис. 26а, находится вблизи +17 °С. Напомним, что в данном случае речь идет не о грунте вообще, а о трехметровом слое грунта, расположенном непосредственно под пятном здания.

На рис. 30а не нанесена кривая изменения температуры воды на выходе из конденсатора теплового насоса, которая автоматически поддерживалась на уровне 47-52 °С.

**Осенний режим.** Изначально тепловой насос общежития аспирантов предназначался для работы в летний период с использованием теплоты атмосферного воздуха.

С этой задачей он успешно справлялся в течение 8 лет, и после подключения новых источников низкопотенциальной теплоты его эффективность при работе в летний период еще более повысилась.

К концу осени экспериментальный тепловой насос, номинальная тепловая мощность которого составляет всего 25 кВт, перестал справляться с задачей обеспечения бесперебойного горячего водоснабжения шестиэтажного общежития, для

которого по действующим нормам проектирования необходим (с учетом имеющихся емкостей) водоподогреватель мощностью 35 кВт. Когда вода стала поступать из городского водопровода с температурой 10 °С и ниже, в конденсаторе не удавалось подогреть ее до температуры 50 °С.

Поэтому зимой параллельно тепловому насосу был включен водоподогреватель, работающий на сетевой воде ТЭЦ, и в середине ноября тепловой насос уже не мог нагреть необходимый объем воды самостоятельно (рис. 26б).

В отличие от летнего режима, когда температура этиленгликоля не понижалась ниже +7 °С, теперь его самая низкая температура достигала –1 °С. Именно при такой температуре устанавливалось в конце ноября тепловое равновесие в теплообменной системе «грунт – этиленгликоль». Самая высокая температура этиленгликоля не превысила 15,5 °С, и это на 3,5 °С ниже, чем в августе.

Температура в канализационной трубе опускалась до 14 °С, потому что водопроводная вода, попадающая в канализацию, в основном, через неплотности смывных бачков, имея начальную температуру около 8 °С, подогревалась в неизолированных трубопроводах водоснабжения, в смывных бачках, а также в канализационных стояках, проходящих через отапливаемые помещения. В течение суток температура стоков, поступающих в греющий контур сточно-гликолевого теплообменника, изменялась в диапазоне от 14 до 30 °С, а температура стоков, покидающих дом, была на 0,5-3 °С ниже.

Верхний температурный уровень грунтового массива понизился по сравнению с летним периодом от 17 до 14 °С. Так же, как и летом, температура грунта успевает восстановиться до верхнего уровня во время ночного перерыва в работе теплового насоса, правда, для этого потребовалось уже не 2,5 ч, а 4 ч, т.к. период активного охлаждения более продолжителен, чем летом.

В течение суток середины ноября тепловой насос работал 20 ч. Температуры воды на выходе из конденсатора теплового насоса в этот период поддерживались на уровне 44-47 °С.

**Зимний режим.** Чтобы поднять температуру горячей воды на нормативный уровень (50-55 °С), пришлось задействовать теплообменник. В течение всей зимы тепловой насос автоматически включался только в часы пикового водоразбора. На рис. 30в показано, как изменялись температуры жидкостей, участвовавших в процессе преобразования тепловой энергии в тепловом насосе в течение суток.

Температура стоков в канализационной трубе ночью снижалась до 7 °С, потому что попавшая в канализацию водопроводная вода с начальной температурой около 2 °С подогревалась в трубопроводах, проложенных внутри дома. В течение суток температура стоков, поступающих в греющий контур сточно-гликолевого те-

плообменника, изменялась в диапазоне от 7 до 32 °С, а температура стоков, покидающих дом, была на 0,5-4 °С ниже.

Температура охлажденного этиленгликоля колебалась от 4 до 20 °С. Эти значения рассматриваются как равновесные в режимах работающего и остановленного теплового насоса. Период активного использования низкопотенциальных источников энергии в это время года не превышал 7 ч в сутки. Вода в конденсаторе теплового насоса подогревалась при этом до 50-58 °С.

### Основные результаты:

1. Технические решения обеспечения теплом системы горячего водоснабжения жилого дома от теплового насоса, использующего низкопотенциальную энергию канализационных стоков этого дома и грунта, расположенного под ним, в том виде, как они реализованы в общежитии аспирантов КиевЗНИИЭП, продемонстрировали работоспособность экспериментальной установки и ее эффективность.

2. Температура сточной жидкости, которую обычно сливают в канализацию, достигает зимой 31 °С, и ее тепловой потенциал можно использовать. Сточно-гликолевые теплообменники, общая длина которых в экспериментальной системе была ограничена 8 м, используя этот потенциал далеко не в полной мере, обеспечили около половины тепловой мощности теплового насоса.

3. Величина удельного теплового потока от поверхности сточно-гликолевого теплообменника, выполненного из стальной нержавеющей трубы диаметром 100 мм, отнесенная к одному метру его длины, находится в интервале значений 0,53-1,16 кВт/м, а коэффициент теплопередачи в процессе исследований колебался в диапазоне 125-211 Вт/(м<sup>2</sup> К).

4. Удельная тепловая мощность расположенного в подвале дома грунтового теплообменника, отнесенная к погонному метру скважин глубиной 3 м с U-образными полиэтиленовыми трубками диаметром 16,2 мм, находится в интервале 24-52 Вт/м. Величина удельного теплового потока из грунта, отнесенная к площади той части подвала здания, в которой пробурены скважины, находится в диапазоне значений 39-86 Вт/м<sup>2</sup>.

5. Тепловой насос работал со средней величиной коэффициента преобразования 3,5.

6. Совместная работа сточно-гликолевого и грунтового теплообменников в едином гликолевом контуре циркуляции, работающем безостановочно, предотвращает переохлаждение грунта, который при неработающем компрессоре теплового насоса прогревается теплотой стоков, способствуя более эффективной выработке тепловой энергии.

7. При работе теплового насоса в течение 20 ч в сутки температура этиленгликоля понижается до минимального значения  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Среднее значение температуры охлажденного этиленгликоля  $+5\dots+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

8. Время выхода установки на стационарный температурный режим – от 2,5 до 4 ч. от начала работы теплового насоса.

9. Максимальная температура воды, подогретой в конденсаторе теплового насоса,  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; среднее значение –  $51\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

10. Изменения температуры наружного воздуха в период проведения исследований в интервале значений от  $+28$  до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  не оказали заметного влияния на величину теплового потока от грунта, расположенного под пятном здания.

11. Для обеспечения полностью автономного и независимого от тепловой сети горячего водоснабжения общежития аспирантов КиевЗНИИЭП необходимо дополнительно установить тепловой насос тепловой мощностью 20 кВт и увеличить протяженность сточно-гликолевых теплообменников до 26 м.

### *5.1.2. Москва*

В жилом 17-этажном доме на юго-западе Москвы в 2002 г. была установлена теплонасосная система, которая обеспечивает горячее водоснабжение. В здании есть центральное теплоснабжение, используемое главным образом на нужды отопления. Вентиляция организована следующим образом: централизованная механическая вытяжка, естественный приток в квартирах через клапаны, установленные в оконных рамах.

Вода для горячего водоснабжения готовится при помощи тепловых насосов, использующих теплоту вентиляционных выбросов здания в комбинации с теплом грунта. В 2009 году был разработан новый ИТП, который позволил объединить тепловую сеть и теплонасосное оборудование таким образом, чтобы они дополняли друг друга. Цепочка приготовления горячей воды для ГВС следующая: вначале идет отбор теплоты от удаляемого воздуха – производится предварительный нагрев холодной воды. Затем подогревается вода за счет использования теплонасосного оборудования до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но на выходе она еще не имеет температуры, соответствующей требованиям СанПиН.

До необходимой по нормам (вода должна быть не менее  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  на самом удаленном водоразборном приборе) температуры догрев осуществляется теплоносителем из теплосети [24].

В целом необходимо отметить, что при текущих ценах на природный газ и электроэнергию применение тепловых насосов в зоне действия централизованных

систем теплоснабжения не конкурентоспособно. В случае использования более дорогого топлива или наличия источника дешевой электроэнергии (рядом с ГЭС или АЭС) эффективность использования ТНУ должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Исходя из существующей логики взаимоотношений на тепловом рынке, можно предположить, что если бюджетное здание перевести на теплоснабжение от теплового насоса и отключить от котельной, то затраты бюджета скорее всего увеличатся. Оплата за тепловую энергию снизится, но ровно этих денег недополучит теплоснабжающая организация, доход которой был рассчитан по объему необходимой валовой выручки (НВВ), соответственно, за компенсацией она обратится в муниципалитет. Многие муниципальные теплоснабжающие организации в той или иной мере дотационные, и их выпадающие доходы приходится компенсировать бюджетам.

Поэтому как таковой экономии средств не получится, а затраты вырастут (начиная от капитальных на покупку ТНУ, и далее: амортизация, эксплуатация, регулярное техническое обслуживание и проч.). Исключение может составить ситуация, когда требуется подключение новых зданий к тепловой сети в районах со сложившейся застройкой и дефицитом пропускной способности тепловых сетей.

## **5.2. Подключение ТНУ к обратной тепломагистрالی (использование тепловой энергии обратной сетевой воды)**

### *5.2.1. Технологическое решение*

На рис. 31, 32 показана принципиальная схема ЦТ от паротурбинной ТЭЦ и типовой температурный график сетевой воды. Для существующего микрорайона при подаче на ЦТП сетевой воды 100 т/ч. с температурами 100/50 °С потребители получают свои 5 Гкал/ч. тепла. Новый объект может получить из той же сетевой воды еще 2 Гкал/ч. тепла при охлаждении с 50 до 30 °С, что не изменяет расхода сетевой воды и затрат на ее перекачку и обеспечивается без перекладки теми же тепловыми сетями. Важно то, что в соответствии с температурным графиком обратной сетевой воды есть возможность получения дополнительного количества тепла именно при низких температурах наружного воздуха [20].



ставляющую, то получаем эксплуатационную составляющую стоимости «нового» тепла от ТНУ уже только 1817 руб./Гкал, что уже близко к оценке стоимости тепла от «альтернативной котельной».

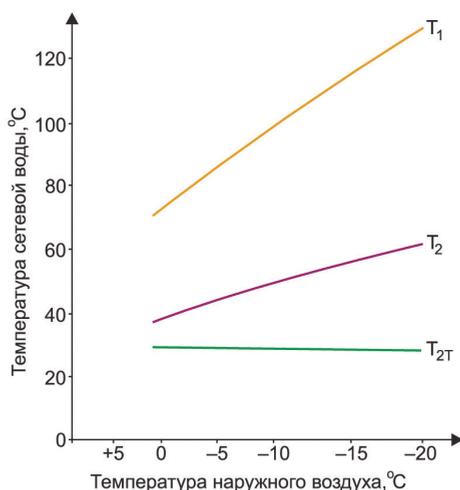


Рис. 32. Типовой температурный график сетевой воды (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> – температуры сетевой воды в прямой и обратной магистралях, T<sub>2т</sub> – после ТНУ)

Более того, в перспективе реально введение разных тарифов на тепловую энергию от ТЭЦ – в зависимости от потенциала – ведь снижение температуры обратной сетевой воды и дополнительный отпуск тепла обеспечивают на ТЭЦ выработку электроэнергии наиболее эффективным комбинированным теплофикационным способом, меньший сброс тепла в градирнях и повышает пропускную способность тепломагистралей. Так, в работах А.Б. Богданова [15] приведена характеристика относительного прироста топлива на отпуск тепла от паровой турбины Т-185/215 Омской ТЭЦ-5 и показано, что прирост условного расхода топлива на прирост тепловой нагрузки составляет 30-50 кг/Гкал в зависимости от температуры сетевой воды и от электрической загрузки турбины, что подтверждается путем прямых измерений.

Таким образом, при неизменной электрической нагрузке дополнительный расход топлива на ТЭЦ при загрузке теплофикационных турбин для отпуска тепла в 35 раз ниже, чем от водогрейных котлов.

Наиболее эффективно применение в климатических системах ТНУ «вода - воздух», т.е. не нагрев воды для системы отопления, а получение воздуха требуемых параметров – это реальная возможность создания комфортных условий даже при нестабильной работе теплосети, где не выдерживаются температурные и гидрав-

лические режимы, используя количество тепла от источника и переводя его в качество теплоснабжения.

Одновременно такая система решает вопрос охлаждения воздуха в летнее время, что особенно актуально для современных офисных и культурно-бытовых центров, элитных жилых комплексов, гостиниц, где вполне естественное требование – кондиционирование воздуха – зачастую крайне неэффективно обеспечивается стихийным оснащением помещений сплит-системами с внешними блоками на фасаде здания. Для объектов с необходимостью одновременно нагревать и охлаждать воздух используется кольцевая система нагрева и кондиционирования воздуха (описана выше).

### *5.2.2. Пример Барнаула*

В случае, если подключение нового здания требует увеличения диаметра тепловых сетей или реконструкции ЦТП, то ТНУ может быть альтернативой и существенно снизить затраты на подключение. ТНУ может, используя тепловую энергию существующих обратных трубопроводов теплосети, обеспечить теплоснабжение новых зданий, оборудованных низкотемпературными системами отопления (типа «теплый пол»), которые устойчиво работают при температуре теплоносителя 40-50 °С.

Проект по подключению жилого и административного зданий осуществлен в г. Барнауле. Такая схема позволила снизить удельные расходы электроэнергии на перекачку теплоносителя и отказаться от необходимости перекладки тепловых сетей для увеличения диаметров (снизить капитальные затраты).

При подключении нагрузки к сетям ТЭЦ, как это было осуществлено в пилотном проекте, снижения температуры обратной сетевой воды позволяет повысить КПД ТЭЦ. Полученный опыт показал, что фактическое теплотребления административного здания в г. Барнауле стало в 2 раза ниже нормативного (поскольку низкотемпературные системы отопления имеют меньшие потери в окружающую среду).

## **5.3. Применение ТНУ у потребителей с ИТП для тепло- и холодоснабжения при централизованном теплоснабжении**

Появление на рынке абсорбционных холодильных машин (АБХМ), работающих на горячей воде с температурой от +95 до +150 °С, позволяет устанавливать их непосредственно у потребителя, используя в качестве теплоносителя поступающую сетевую воду после окончания отопительного периода [40].

Рассмотрим для вновь застраиваемых районов вариант концепции тепло- и холодоснабжения или повышения эффективности использования существующих систем – не только для передачи тепловой энергии, но и для холодоснабжения.

Абсорбционная холодильная машина – это энергоэффективная установка, предназначенная для охлаждения (и нагрева) воды, используемой в системах отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) и технологических процессах. Цикл охлаждения (нагрева) АБХМ реализует за счет подводимой извне тепловой энергии. В последнее время интерес к АБХМ со стороны инвесторов и застройщиков растет и за рубежом, и в России.

Многие потенциально привлекательные для инвесторов площадки, предлагаемые под застройку в крупных городах России, характеризуются низким уровнем энергообеспечения. За возможность присоединения дополнительной электрической мощности плата составляет примерно 100 тыс. руб. за каждый кВт (например, в Санкт-Петербурге, Москве) и более.

Мегаваттная парокомпрессионная холодильная машина при коэффициенте преобразования равном 3 потребляет на организацию холодильного цикла как минимум 330 кВт электроэнергии и требует соответствующих затрат на подключение такого устройства к электросети.

В то же время АБХМ холодопроизводительностью 1000 кВт расходует всего несколько кВт электроэнергии. Да и тратится она в основном на перемещение сред – работу насосов и вентиляторов, а также на электроснабжение автоматики. На реализацию холодильного цикла АБХМ электроэнергию не расходует.

Характерно, что использовать АБХМ можно и когда об увеличении мощности электроустановки объекта вследствие подключения парокомпрессионной техники не может быть и речи, возможности поставщика электроэнергии исчерпаны.

В таких случаях АБХМ позволяют обойтись без строительства подстанции и ЛЭП, отказаться от использования дизельных генераторов.

В настоящее время возросли запросы населения к уровню комфортности проживания не только в зимний, но и в летний периоды года. В связи с повсеместным распространением автоматизированных ИТП появилась возможность автоматического регулирования отпуска тепла независимо от температурных графиков его подачи для каждого здания и сооружения без постоянного присутствия людей. Нагрузки на горячее водоснабжение зданий примерно соизмеримы с нагрузками для обеспечения их системой кондиционирования и удаления теплоизбытков при организации систем вентиляции.

Учитывая сказанное, был рассмотрен вариант теплохладоснабжения для новых построек в Москве [41]. В качестве объекта теплохладоснабжения может быть

представлен новый перспективный небольшой городок за МКАД – Рублево-Архангельское – площадью 2,5 млн м<sup>2</sup> или территория застройки ЗИЛа такой же площадью, с применением качественно-количественного отпуска тепла на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Ориентировочное тепловое потребление для отопления и вентиляции сооружений составит порядка 125 МВт, а с учетом рекуперации (возьмем минимум 20 %) – 100 МВт. Аналогичный вариант теплоснабжения также возможен в новом микрорайоне в пос. Коммунарка (Новая Москва).

С точки зрения оптимизации использования данной тепловой мощности для планируемой застройки необходимо учитывать радиус энергоэффективности источника тепла. Для определенности дальнейшего изложения и расчетов принят вариант схемы с несколькими автономными источниками, суммарной мощностью 100 МВт, а ориентировочная мощность одного из теплоисточников в 50 МВт. При этом пропускная способность тепловых сетей может обеспечить снабжение застройки холодом в размере 12 МВт (при прокачке сетевой воды, соответствующей максимальной зимней тепловой нагрузке, температурном графике +115...+70 °С и перепаде температур на АБХМ 15 °С), и все это без ущерба для горячего водоснабжения.

Источник тепла в отопительный период может работать с использованием как качественно-количественного, так и количественного регулирования, по любому температурному графику. По окончании отопительного периода теплоисточник продолжает работать для обеспечения горячего водоснабжения с понижением температуры от источника до +70 °С (при качественном регулировании); такая температура сетевой воды возможна до времени включения систем охлаждения. АБХМ, работающим на горячей воде, необходима температура не менее +95 °С с перепадом температур 10–20 °С. В примере предлагается переход на количественное регулирование с постоянным поддержанием температуры подающей сетевой воды от источника тепла +115 °С.

Это станет возможным при применении комбинации гидравлического распределителя (стрелки) и частотного электропривода. При этом снизится и физическая нагрузка на тепловые сети за счет снижения расходных характеристик на трубопроводы – а это, соответственно, долговечность и надежность сетей.

АБХМ, в отличие от парокомпрессионных установок, могут производить холод без использования электроэнергии, необходимой для работы компрессоров. При выработке холода с использованием традиционных холодильных машин требуется подвод значительных величин электрической мощности на застройку и платы за присоединение. Вместо этого в ИТП можно установить АБХМ, совме-

стить ее с системами вентиляции и обеспечить комфортные условия в жаркое время года.

Пропускная способность сетей позволит без проблем пропускать теплоноситель и зимой, и летом, тем более что теплосеть рассчитывается по максимально-зимней пропускной способности. Оценка стоимости производства холода: расход сетевой воды в систему теплосети от теплоисточника в максимально-зимнем режиме составит  $957 \text{ м}^3/\text{ч}$ . при принятом нами температурном графике.

Холодильный коэффициент АБХМ на горячей воде составляет 0,84. При этом, чтобы обеспечить 12 МВт холода, нам необходимо выработать 14,37 МВт тепла. Для производства данного тепла необходимо сжечь около  $1\,700 \text{ м}^3$  газа в час.

Определим мощность и затраты на энергоносители в расчете на 1 ч работы. Чтобы перекачать теплофикационную воду до потребителя потребуется (при расходе  $957 \text{ м}^3/\text{ч}$ . и перепаде 40 м вод. ст.) 175 кВт электрической энергии, с учетом подпитки, перекачки, рециркуляции и дополнительной электромощности на АБХМ еще  $\sim 90$  кВт, всего необходимо около 265 кВт электроэнергии.

Другие сырьевые ресурсы не учитываются, т.к. они все относятся непосредственно к источнику. Если принять стоимость  $1\,000 \text{ м}^3$  газа по Москве 4 500 (4 448) руб.; стоимость 1 кВт.ч электроэнергии – 4,50 руб., получаем стоимость газа для холодоснабжения  $1,7 * 4\,500 = 7\,650$  руб.; стоимость электроэнергии для перекачки теплофикационной воды на холодоснабжение:  $265 * 4,50 = 1\,193$  руб. (сюда еще вошла составляющая горячего водоснабжения, но мы ее не учитываем); таким образом, общие затраты составят 8 843 руб.

Чтобы обеспечить те же 12 МВт холода, но только парокомпрессионными машинами (чиллерами) необходимо иметь ориентировочно электрическую мощность 2,4 МВт. Стоимость электроэнергии для производства холода парокомпрессионными машинами составит  $2\,400 * 4,5 = 10\,800$  руб.

Весь расчет ведется только на сами машины, без учета градирен, насосных станций для перекачки холодоносителя, а также разных обременений, необходимых для создания комфортной летней жизни. В результате получается, что выработка холода от работы АБХМ на теплоносителе от системы теплоснабжения существенно дешевле, чем от электросетей.

Кроме того, можно остаточную тепловую энергию после АБХМ пустить на горячее водоснабжение. Необходимы другие схемы подключения в ИТП и затраты, но при этом увеличится лишь расход газа на выработку дополнительного тепла на горячее водоснабжение. Если требуется большая холодильная нагрузка от источника, тогда при проектировании необходимо просто пересчитать диаметры тепловых сетей и мощности сетевых насосов.

В расчетах многое не рассмотрено дополнительно: и динамика тарифов на тепловую энергию и электроэнергию, и условия обременения на разные подключения, и капитальные затраты на строительство и т.д. Сохраняется также проблема летнего отключения тепловых сетей. Но при новых застройках несколько лет (8–10) отключений не должно быть.

Разумеется, экономический эффект от использования предлагаемой схемы во многом зависит от эксплуатирующей организации.

Опыт работы с организациями, эксплуатирующими ЦТП, ИТП и автономные котельные в Московской области, Туле и Салехарде, показывает, что от того, насколько грамотно руководство организации и ее основные специалисты используют предоставляемые схемные возможности, зависит и уровень доходности эксплуатирующей организации, и, самое главное, стоимость теплоснабжения для конечного пользователя.

Выше рассмотрены объекты нового строительства, однако сформулированные предложения применимы и к уже существующим системам централизованного теплоснабжения. Если в системе централизованного теплоснабжения, питающейся от ТЭЦ, понижать температуру обратной сетевой воды за счет применения тепловых насосов или водоохлаждающих чиллеров, то и в этом случае будет получена экономия ресурсов при работе системы кондиционирования и при работе самой ТЭЦ.

## **5.4. Совершенствование теплоэнергетических установок, работающих в теплофикационных системах (включение ТНУ в схему ЦТП)**

Наряду с представленными выше предложениями использовать ТНУ в централизованных системах собственно как источник тепла или холода, есть варианты включения ТНУ в технологическую схему теплоэнергетических установок, работающих в теплофикационных системах (ТЭЦ, ЦТП). Рассмотрим предложения по включению ТНУ в схему ЦТП [75].

На рисунке 33 представлены некоторые возможные схемы включения ТНУ с электроприводом в централизованную систему теплоснабжения для подогрева воды для ГВС. На схеме рециркуляционный контур системы ГВС для упрощения анализа включен перед переохладителем. Рассматриваются несколько вариантов.

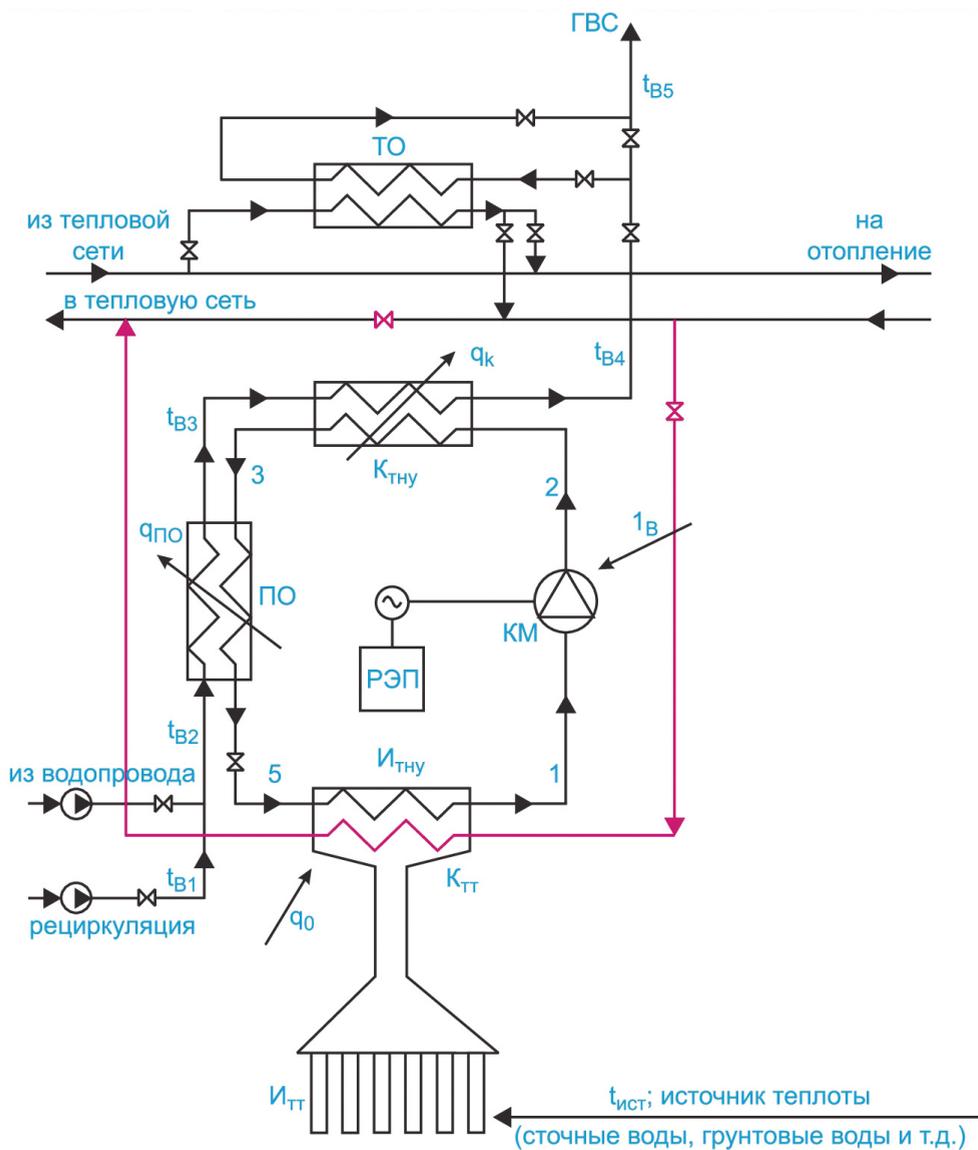


Рис. 33. Рассматриваемые варианты схем включения ТНУ в централизованную систему теплоснабжения:

КМ – компрессор,  $K_{\text{ТНУ}}$  – конденсатор ТНУ, ПО – переохладитель, Др – дроссель,  $I_{\text{ТНУ}}$  – испаритель ТНУ, ТТ – тепловая труба,  $K_{\text{ТТ}}$  – конденсатор ТТ,  $I_{\text{ТТ}}$  – испаритель ТТ, РЭП – регулятор электропривода, ТО – теплообменник

Используется теплота низкопотенциального источника для подачи ее в испаритель ТНУ с возможностью догрева воды для ГВС после конденсатора ТНУ водой из подающего трубопровода тепловой сети.

Подача теплоты к испарителю ТНУ возможна непосредственно теплоносителем источника теплоты или с использованием промежуточного теплоносителя, циркулирующего под воздействием насосов с механическим приводом, или с использованием тепловых труб (ТТ). Такая схема может найти применение как дополнение ограниченной мощности существующей системы теплоснабжения.

## **5.5. Совершенствование теплоэнергетических установок, работающих в теплофикационных системах (включение ТНУ в схему ТЭЦ)**

### *5.5.1. Использование теплоты конденсации энергетического пара*

Поскольку основной проблемой в рассматриваемых вариантах использования ТН в разных сферах энергопотребления остается выбор источника низкотемпературного тепла, возникают идеи использования теплоты из обратного трубопровода системы централизованного теплоснабжения, которую во многих случаях и отобрать несложно, и температурный потенциал этого источника тепла удобен для использования в тепловом насосе [20].

При этом очевидно, что теплота, отнятая от воды из обратного трубопровода тепловой сети, будет подогрета в котельной теплотой сгорания топлива, а для выработки электрической энергии, используемой для привода компрессора теплового насоса, будет дополнительно сожжено топливо на электростанции. При этом владельцу теплового насоса пришлось бы платить не только за электрическую энергию, но и за тепло, отобранное от воды из обратного трубопровода.

Вместе с тем, при теплоснабжении от ТЭЦ могут возникнуть сомнения в эффективности использования теплоты обратной воды, поскольку при понижении температуры конденсации отработанного в энергетической турбине водяного пара будет увеличена выработка электрической энергии. Оценить энергетическую эффективность того или иного технического решения в теплоэнергетике можно, выполнив анализ, целью которого является определение расхода топлива в различных схемах энергообеспечения.

Сравнение различных схем энергообеспечения от ТЭЦ без использования теплового насоса и при его наличии выполнено исследователями для схем, которые приведены на рис. 30.

Для упрощения анализа принято, что в обеих схемах использованы турбины с противодавлением, в которых промежуточные отборы пара не используются, а теплота конденсации всего отработавшего в турбине пара передается в систему теплоснабжения.

Кроме того, вместо множества тепловых насосов, которые могут быть установлены в зданиях, условно работает один тепловой насос, смонтированный непосредственно на ТЭЦ. Примем также, что в результате применения теплового насоса тепловая мощность системы теплоснабжения не изменилась и осталась равной  $Q_1$ .

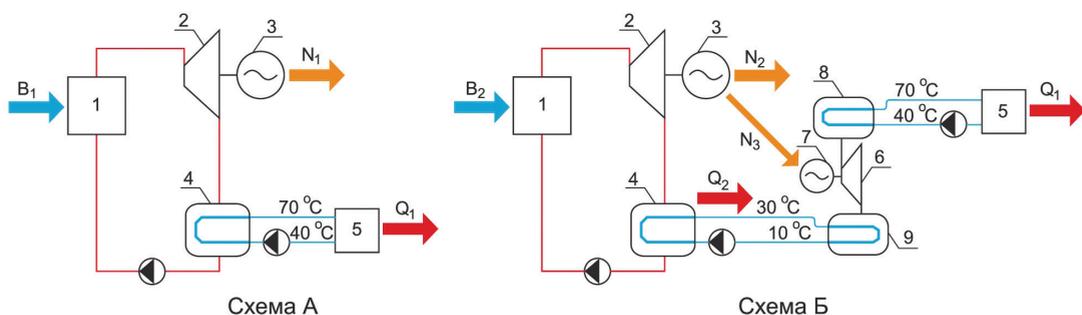


Рис. 34. Схемы энергообеспечения от ТЭЦ:

А – традиционная схема, Б – схема с тепловым насосом, использующим теплоту конденсации энергетического пара, 1 – котел электростанции, 2 – паровая турбина, 3 – электрогенератор ТЭЦ, 4 – конденсатор теплофикационного отбора ТЭЦ, 5 – система теплоснабжения, 6 – компрессор теплового насоса, 7 – электропривод теплового насоса, 8 – конденсатор теплового насоса, 9 – испаритель теплового насоса. КЭС на схеме Б не показана.

В традиционной схеме «А» пар высокого давления из котла 1 поступает в турбину 2, соединенную с электрогенератором 3, который выдает мощность  $N_1$ , используемую потребителем. Часть энергетического пара отбирается из турбины и направляется в конденсатор 4 системы теплоснабжения 5, работающей в переходном режиме с тепловой мощностью  $Q_1$  при температурах теплоносителя  $70\text{--}40^\circ\text{C}$ . При этом ТЭЦ потребляет топливо в количестве  $B_1$ .

В схеме «Б» система теплоснабжения 5, работающая при традиционных для существующих отопительных систем температурах теплоносителя в переходном

режиме 70-40 °С, дополнительно оборудуется тепловым насосом, включающим в себя компрессор 6 с электродвигателем 7, конденсатор 8 и испаритель 9. При этом оборудование ТЭЦ будет работать с пониженной температурой конденсации энергетического пара, выдавая теплоноситель с температурами 30-10 °С, который используется в испарителе 9 теплового насоса.

Сделан вывод, что энергетическая система с тепловым насосом, использующим теплоту низкотемпературного отбора паровой турбины ТЭЦ, работает с превышением расхода топлива по сравнению с обычной энергетической системой от ТЭЦ, и применение тепловых насосов в любой централизованной системе теплоснабжения, в том числе в системе с ТЭЦ, энергетически неэффективно.

Однако, следует различать понятия «энергетически неэффективно» и «экономически нецелесообразно». В частности для рассматриваемого случая:

1. Применение ТНУ не является самоцелью. Если объект без проблем обеспечен теплоснабжением от ТЭЦ, нет необходимости в усложнении и удорожании системы.

2. Применение ТНУ может быть экономически целесообразно, если позволяет обеспечить присоединение новых потребителей к ТЭЦ или переключить их от пиково-резервных котельных (ПРК) при ограничении пропускной способности существующих тепломагистралей.

Так, например, существующий объект при расходе сетевой воды 100 т/ч. с температурами 100/50 °С получил 5 Гкал/ч. Новый объект может получить из той же сетевой воды при ее дальнейшем охлаждении с 50 до 30 °С еще 2 Гкал/ч без дополнительных затрат на транспорт, который уже обеспечен технически и экономически.

Важно то, что в соответствии с температурным графиком обратной сетевой воды есть возможность получения дополнительного количества тепла именно при низких температурах наружного воздуха, т.к. с ростом температуры «обратки» увеличивается и возможный теплосъем. Можно провести аналогию с низкотемпературными системами отопления, но для ТНУ используемый диапазон температур шире (возможно дальнейшее охлаждение до 15-20 °С). ТНУ в данном случае является только дополнением к традиционной системе – в размере до 40 % к существующей нагрузке (это иллюстрируется приведенным выше диапазоном температур – 100/50 и 50/30 °С).

3. Ограничением масштаба применения ТНУ является возможность использования отборов ТЭЦ, а также теплофикационного пучка в конденсаторе, т.к. без «дополнительной» когенерации данный вариант нецелесообразен.

Приведем несколько цифр для упомянутого выше примера. Новый потребитель с расчетной нагрузкой 2 Гкал/ч. и годовым потреблением 5-8 тыс. Гкал обеспечивает дополнительную выручку ТЭЦ около 6-10 млн руб., при этом сопутствующие

затраты ТЭЦ на порядок меньше, т.к. определяются только дополнительным расходом топлива в размере менее 400 т у.т.

Альтернативный вариант (в случае использования котельной) потребовал бы расхода топлива свыше 1200 т у.т. Кроме того, дополнительных потерь тепла при транспорте здесь уже нет. А потребитель, реализовавший систему с ТНУ, получит и эффективное отопление зимой, и кондиционирование летом (для климатических систем зданий с ТНУ «вода-воздух» по кольцевой схеме).

Таким образом, для ТЭЦ присоединение нового потребителя с ТНУ может быть вполне экономически целесообразно. Остается вопрос, будет ли такой вариант приемлем для потребителя (т.к. система с ТНУ означает и дополнительные капиталовложения, и эксплуатационные затраты на электроэнергию). Если подключение к ТЭЦ невозможно, альтернатива для него – новая котельная. В этом случае теплоснабжение от ТНУ на обратной сетевой воде, даже с учетом затрат на электроэнергию, стало бы для потребителя конкурентоспособно по сравнению со строительством новой котельной, а для ТЭЦ – по-прежнему экономически выгодно.

Про выигрыш для экологии города (сокращение расхода топлива для данного примера на 800 т у.т.) сказано выше. Приведенные соображения не затрагивали вопросы технического совершенства ТЭЦ и ТНУ, однако стоит отметить несомненный прогресс в данных технологиях. В частности, предлагаются ТНУ большой мощности с улучшенными техническими показателями, что позволяет рассматривать их применение и в схеме ТЭЦ.

### *5.5.2. Использование теплоты охлаждающей турбины воды*

Основными источниками низкопотенциального тепла в городских условиях являются:

- теплота системы охлаждения технической воды ТЭЦ, ГРЭС;
- станции аэрации (СА);
- вторичная отработавшая теплота обратной сетевой воды ТЭЦ.

Так, обработка сточных вод в системе Мосводоканала составляет свыше 6 млн м<sup>3</sup> в сутки. Оценка объема низкопотенциального тепла – 3 600 Гкал/ч [77].

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии на паротурбинных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), позволявшее в советское время существенно экономить топливно-энергетические ресурсы страны, на современном этапе оказывается недостаточно эффективным. Одной из основных причин снижения экономичности ТЭЦ является существенное сокращение выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Перспективным сосредоточением скрытых резервов повышения энергоэффективности станций представляются системы охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭЦ. Известно, что тепловые электрические станции потребляют значительное количество воды для конденсации пара в конденсаторах паровых турбин, обеспечиваемое техническим водоснабжением.

Наиболее распространены две схемы организации технического водоснабжения для охлаждения конденсаторов паровых турбин: прямоточная (вода, взятая из реки, проходит через конденсаторы турбин, а затем сливается обратно ниже по течению реки) и обратная (с многократным использованием воды после ее охлаждения в градирнях или брызгальных бассейнах).

Однако типовые схемы организации охлаждения конденсаторов паровых турбин неминуемо связаны с большими потерями тепловой энергии в окружающую среду, что ведет к снижению экономичности ТЭЦ, увеличению степени вредного воздействия на окружающую среду (тепловое загрязнение рек при прямоточной схеме и загрязнение атмосферы парниковыми газами, в частности  $\text{CO}_2$ , при использовании обратных систем охлаждения с градирнями или брызгальными бассейнами).

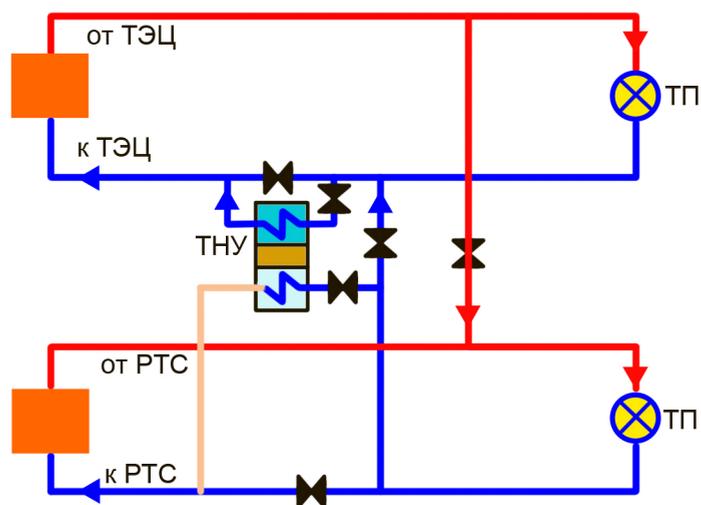


Рис. 35. Вариант подключения ТНУ к системе теплоснабжения с использованием переемычек между теплосетями ТЭЦ и РТС

Кроме того, типовые схемы нуждаются в мощных системах обеспечения конденсаторов турбин охлаждающей водой, таких как массивные башни градирен с

большой площадью орошения, циркуляционные насосы оборотных систем или береговые насосные станции и водосбросы прямоточных систем.

Усовершенствование схемы систем охлаждения возможно путем внедрения теплонасосной установки, которая позволит отбирать теплоту от нагретой в конденсаторе турбины охлаждающей воды, повышать ее потенциал и полезно использовать ее для собственных нужд ТЭЦ. Таким образом, внедрение ТНУ позволит возвращать в цикл станции часть теплоты, которая ранее терялась впустую.

Для полезного использования теплоты после повышения ее потенциала теплонасосной установкой предлагается включить конденсатор ТНУ в воздухопровод дутьевого воздуха парового или водогрейного котла с целью предварительного подогрева дутьевого воздуха перед основными воздухоподогревателями до требуемой температуры.

Такая схема позволяет отказаться от неэкономичного предварительного подогрева воздуха в калориферах, греющим агентом в которых, как правило, является высокопотенциальный пар производственного отбора, и, соответственно, увеличить выработку электроэнергии. Кроме того, аномально жаркое лето 2010 г. проявило еще одну проблему отечественных тепловых электрических станций, работающих по электрическому графику с максимальной загрузкой существующих систем охлаждения оборотных вод конденсаторов паровых турбин. Она заключается в неспособности станций нести необходимую (причем расчетную) электрическую мощность.

Для таких ТЭЦ внедрение предлагаемой технологии охлаждения оборотной воды позволит снизить ограничения электрической мощности.

Следует отметить, что предложенная схема включения в технологическую цепочку ТЭС теплонасосной установки имеет резервы для дальнейшего совершенствования за счет замены электродвигателя компрессора ТНУ более экономичной приводной турбиной, рабочий пар к которой подается из отбора основной турбины и, выработав в приводной турбине необходимую механическую работу, возвращается в нижележащий отбор.

Такое усовершенствование схемы ТНУ тепловой электростанции позволит значительно снизить затраты электроэнергии на собственные нужды станции и соответственно увеличить ее отпуск потребителям. Затраты мощности на привод компрессора ТНУ будут скомпенсированы дополнительной выработкой электроэнергии конденсационным потоком пара, высвобождаемым за счет исключения из работы паровоздушных калориферов предварительного подогрева дутьевого воздуха.

Проведенные расчеты показывают, что применение предложенного решения на ТЭС с энергоблоком мощностью 100 МВт позволяет полезно утилизировать бо-

лее 9 Гкал/ч. сбросной теплоты охлаждающей воды за счет подогрева дутьевого воздуха парового котла от 5 до 70 °С в конденсаторе ТНУ. При этом мощность конденсатора ТНУ составляет 12 Гкал/ч., а компрессора – 3,3 МВт. Коэффициент трансформации ТНУ принят равным 4. Количество сэкономленного топлива от полезной утилизации 9 Гкал/ч. низкопотенциальной теплоты составляет более 7000 т условного топлива в год.

Более высокие показатели энергетической эффективности схем с ТНУ по сравнению с исходными схемами могут быть получены при снижении отпуска электроэнергии, однако экономическая эффективность такого решения может быть определена только с учетом состояния региональных рынков электроэнергии и возможности компенсации недовыработки на конкретной ТЭЦ.

### **Опыт утилизации низкопотенциального тепла с использованием тепловых насосов абсорбционного типа для повышения эффективности энергоблока ТЭЦ (Рига)**

Теплоцентраль “Imanta” была сдана в эксплуатацию в 1974 году для обеспечения тепловых нагрузок Рижского левобережья. До реконструкции основное производство обеспечивали три водогрейных котла КВГМ-100 (установленные в 1974, 1976 и 1980 годах) с номинальной мощностью 116 МВт (тепл.) каждый и два паровых котла ДКВР-20-13/250 с номинальной мощностью 16 МВт (тепл.) каждый [66].

В 2001 году было принято решение о кардинальной модернизации теплоисточника со строительством абсолютно нового когенерационного энергоблока (КЭ) с применением передовых мировых технологий.

В настоящий момент оборудование КЭ состоит из следующих основных элементов:

- Газовая турбина Rolls Royce RB 211-24GT, 31,52 МВт (эл.);
- Котёл-утилизатор Transelektro Power 63 т/ч., 67 бар;
- Паровая турбина В+V Industrietechnik MARC 4-H01, 16 МВт (эл.);
- Паровой котёл Vapor, 12 т/ч., 13 бар.

Общая установленная мощность оборудования КЭ 48 МВт (эл.) и 48 МВт (тепл.).

После возведения когенерационного энергоблока в период отопительного сезона водогрейные котлы работают параллельно с оборудованием КЭ, а в летний период находятся в состоянии резерва.

Рассматриваемый пример является частным случаем возможности утилизации теплопотерь, образующихся при эксплуатации когенерационного энергоблока, рабочий цикл которого сопряжён с выбросом в окружающую среду низкопотенциального тепла из градирен открытого типа (рис. 37), которые обеспечивают охлаждение смазочных масел газовой и паровой турбин, а также масла газового компрессора.

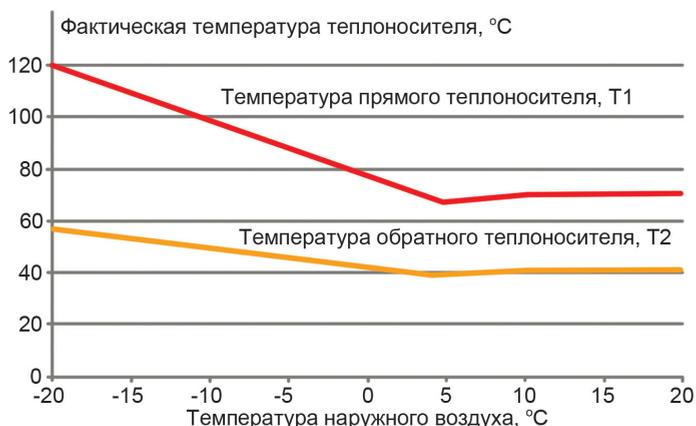


Рис 36. График зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха

В свою очередь технологический процесс котла утилизатора связан с продувкой перегретой воды с температурой выше 100 °C в количестве до 3,5 т/ч.

С целью рационального использования вышеупомянутых низкопотенциальных энергоресурсов и для общего повышения эффективности работы когенерационного энергоблока, в 2008 году было принято решение об установке промышленной теплонасосной установки. Основываясь на результатах предварительных расчётов, оптимальным был признан вариант с установкой теплонасоса абсорбционного типа, который в отличие от компрессионного теплонасоса не требует существенных затрат на электроэнергию для обеспечения работы основного элемента – компрессора.



Рис. 37. Градирни открытого типа теплоцентрали "Imanta"

В существующем корпусе с водогрейными котлами располагается помещение, отвечающее всем необходимым требованиям для установки абсорбционно-го теплонасоса: возможностью подключения к охлаждающей воде, теплосетям и источнику тепла высокого потенциала – замкнутому теплофикационному контуру (рис.38 и 39).

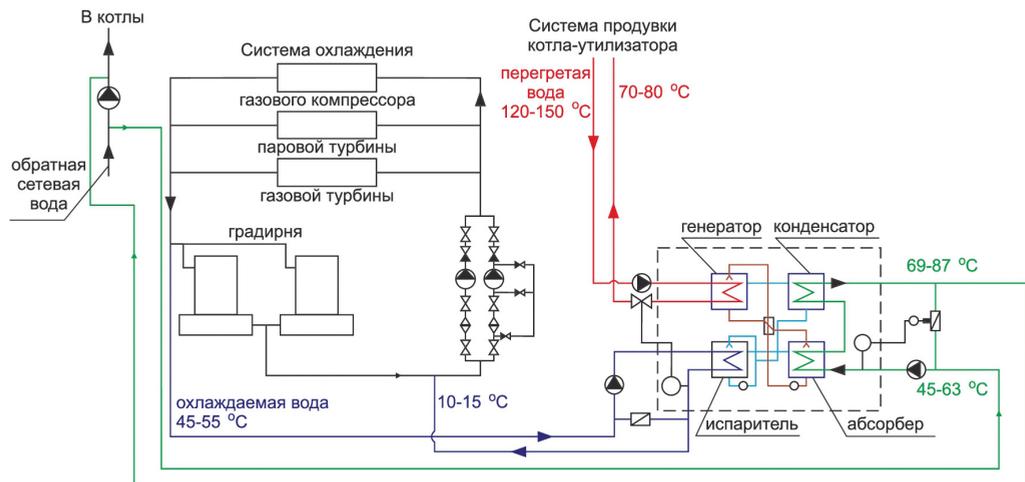


Рис.38. Принципиальная схема размещения теплонасоса

#### ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КЭ

1. Газовая турбина
2. Паровая турбина
3. Котел-утилизатор
4. Электрогенератор
5. Замкнутый теплофикационный контур

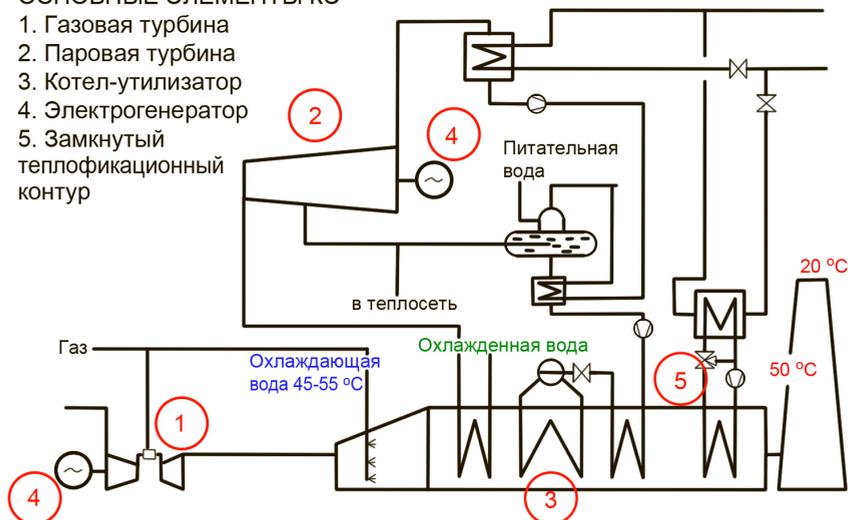


Рис.39. Принципиальная схема КЭ теплоцентрали "Imanta"

Исходными данными для технико-экономических расчётов послужили следующие показатели:

- испаряемое количество воды из градирен открытого типа – 3 т/ч.;
- выбрасываемая в окружающую среду тепловая энергия 2,0 МВт (по фактически подтвержденным данным установленного теплосчетчика 1,9 МВт);
- количество продувочной перегретой воды с температурой выше 100 °С – 3,5 т/ч., что составляет примерно 40 МВт потенциальной тепловой энергии;
- тепловая нагрузка при температуре наружного воздуха -24,6 °С – 313,8 МВт (тепл.);
- тепловая нагрузка в летний период – 31,2 МВт (тепл.);
- предполагаемое количество часов работы теплонасоса в отопительный сезон при температуре наружного воздуха ниже +10,0 °С – 5,450 ч./год.

Обеспечение технологического процесса абсорбционного теплонасоса требует затрат порядка 3 МВт тепловой мощности, что в конечном результате даёт прирост мощности КЭ дополнительно на 2 МВт или возрастание коэффициента полезного действия когенерационного энергоблока на 2 %.

Таблица 6

## Сравнительная таблица расчётных экономических показателей

Показатели	Абсорбционный теплонасос	Компрессионный теплонасос
Общие затраты на установку, млн.EUR	1,2	1,5
Ежегодная экономия денежных средств, млн.EUR	0,6	0,3
Срок окупаемости капитальных затрат, лет	2,2	6,0

Экономические расчёты рассматриваемого примера показывают, что при достаточно высоких ценах на природный газ через 10 лет эксплуатации промышленного абсорбционного теплонасоса чистая прибыль составит порядка 1,8 млн евро, что является высоким показателем рентабельности с низкой степенью риска (учитывая период окупаемости проекта в 2,2 года).

Возрастание энергоэффективности, экономия на приобретении эмиссионных квот, минимальное потребление электроэнергии, значительное снижение количества вредных выбросов в атмосферу, минимизация риска обледенения градирен открытого типа снижение расхода охлаждающей воды на 48 000 тонн в год – таким

является перечень основных неоспоримых приобретений в результате установки данного теплового насоса.

В условиях высоких и нестабильных цен на такие важные энергоресурсы как нефть и газ, а также учитывая глобальную политическую нестабильность, применение тепловых насосов может существенным образом повлиять на сложившуюся ситуацию в качестве альтернативного источника тепловой энергии.

Анализ эксплуатационных расходов покажет, насколько выгоден, долговечен и надёжен цикл абсорбционной установки в условиях длительной эксплуатации, и какие существуют возможности дополнительной оптимизации процесса.

Изучение вопроса эффективности применения абсорбционных тепловых насосов в процессе утилизации «бросового» тепла низкого потенциала показывает, что отсутствие компрессорного оборудования и фтор-хлорсодержащих веществ существенным образом расширяет границы их применения и диапазон выпускаемых мощностей, делает их экологически чистыми и экономичными источниками тепла.

### **Использование тепловых насосов на ТЭЦ-28 (Москва)**

Теплонасосная установка НТ-410-4-9-08 (сокращенно НТ-410) изготовлена на заводе «Компрессор».

В июне 1999 г. НТ-410 прошла заводские испытания и была поставлена на ТЭЦ-28 для ее монтажа, обвязки с существующим оборудованием, дооснащения КИПиА и испытаний в условиях ее реальной эксплуатации на ТЭЦ [26]. В качестве теплоносителя применяется вода технического состава. Диапазон работы теплового насоса при работе на хладоне 142:

- по температуре воды на входе в испаритель 20 – 50 °С
- по температуре на выходе из конденсатора 50 – 65 °С
- по объемному расходу воды на испаритель 35 – 85 м<sup>3</sup>/ч.
- по объемному расходу воды на конденсатор 55 – 100 м<sup>3</sup>/ч.

При проектировании и создании на ТЭЦ-28 испытательного стенда с ТНУ была заложена возможность изменения в широком диапазоне параметров, определяющих работу ТНУ. Известно, что теплопроизводительность ТНУ при прочих равных условиях существенно зависит от температуры низкотемпературного источника на входе в ТНУ, поэтому для повышения теплопроизводительности ТНУ при ее эксплуатации на ТЭЦ-28 на вход испарителя ТНУ подается циркуляционная вода с выхода конденсатора турбины. Номинальная величина охлаждения воды в испарителе составляет примерно 5 °С.

Для проведения испытаний ТНУ при существенно более низких температурах низкотемпературного источника (например, моделирования случая использова-

ния теплоты естественных водоисточников – рек, озер и т.д.), в схему на ТЭЦ-28 включен дополнительный параллельный циркуляционный контур с водяным насосом. С уменьшением (при заданном расходе воды через испаритель) отбора циркуляционной воды от конденсатора при работе указанного водяного насоса температура на входе в испаритель будет уменьшаться до требуемого уровня. Для повышения температуры воды на входе в испаритель до 45-50 °С предусмотрено подмешивание горячей воды из прямой тепломагистрали.

Испытания ТНУ при высоких температурах на входе в испаритель представляют интерес, например, при использовании ТНУ для горячего водоснабжения, когда в качестве низкотемпературного источника используется теплота бытовых и сбросных теплоисточников или при централизованном теплоснабжении – теплота сетевой воды в обратной тепломагистрали.

Схема присоединения ТНУ к оборудованию ТЭЦ-28 предусматривает также возможность значительного изменения температуры на выходе из конденсатора ТНУ: от 20 до 65 °С. Номинальный подогрев сетевой воды в конденсаторе ТНУ на ТЭЦ-28 составляет около 5 °С.

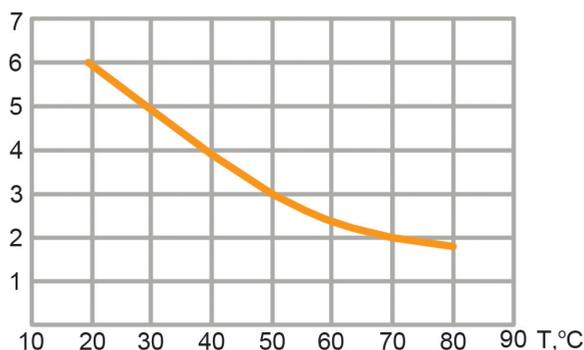


Рис. 40. Коэффициент преобразования ТНУ

Как правило, коэффициент преобразования  $K_{\text{ТНУ}}$  представляется в виде зависимости от входной температуры воды теплоносителя  $T_{\text{вх}}$  на входе в испаритель ТНУ и  $T_{\text{вых}}$  - выходной воды (теплоносителя) к теплопотребителю (на выходе из конденсатора ТНУ).

$\Delta T_{\text{ТНУ}}$  - уровень температурного перепада между температурой к высокотемпературному потребителю и температурой низкотемпературного источника теплоты. На следующем рисунке показана на основе зарубежных данных зависимость  $K_{\text{ТНУ}}$  от  $\Delta T_{\text{ТНУ}}$  в наиболее интересном для практического использования диапазоне изменения  $\Delta T_{\text{ТНУ}}$ . Видно, что если при  $\Delta T_{\text{ТНУ}} = 20$  °С  $K_{\text{ТНУ}}$  составляет ~6, то с увеличением

AT<sub>ТНУ</sub> до 80 °С K<sub>ТНУ</sub> снижается до ~1,7. Таким образом, K<sub>ТНУ</sub> зависит главным образом от AT<sub>ТНУ</sub>.

Для получения достаточно достоверных данных по K<sub>ТНУ</sub> в зависимости от AT<sub>ТНУ</sub> на ТЭЦ-28 была проведена большая серия испытаний (около 32 контрольных замеров) в достаточно большом диапазоне при изменении значений T<sub>ВХ</sub> и T<sub>ВЫХ</sub> при установившихся режимах. Количество теплоты, передаваемое от ТНУ в теплотель при испытаниях варьировалось от ~300 до ~480 кВт (от ~0,26 до ~0,41 Гкал/ч.).

Учитывая, что средняя величина температурного перепада между нагревающей и нагреваемой средами в конденсаторе и испарителе ТНУ равна 5-6 °С, для обеспечения эффективной работы ТНУ минимальное значение AT<sub>ТНУ</sub> должно быть не ниже 15 °С. При выполнении работ по внедрению крупномасштабных ТНУ в энергетику полученные по K<sub>ТНУ</sub> данные при испытании НТ-410 следует рассматривать, как нижний предел эффективности ТНУ.

Вместе с тем, сам факт получения при испытании НТ-410 такого высокого коэффициента преобразования (K<sub>ТНУ</sub> = 4-6) в диапазоне изменения AT<sub>ТНУ</sub> = 25 – 15 °С, является крайне важным. Именно это значение AT<sub>ТНУ</sub> характерно при передаче ТНУ сбросной теплоты от конденсаторов турбины в обратную тепломагистраль.

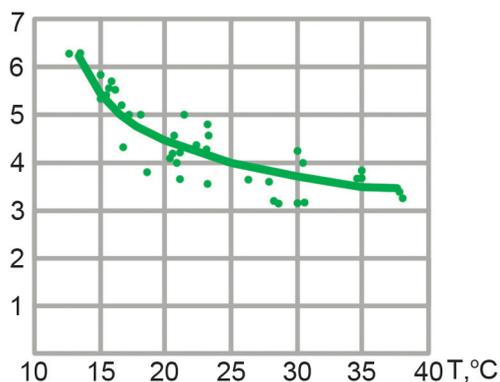


Рис. 41. Коэффициент преобразования ТНУ в условиях реальной эксплуатации на ТЭЦ

Итак, в процессе проведения первого этапа испытаний в условиях реальной эксплуатации ТНУ на ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» получена зависимость коэффициента преобразования ТНУ в диапазоне температурного перепада в ТНУ от 15 до 36 °С. Подтверждена возможность передачи сбросной теплоты циркуляционной воды конденсатора турбины (T<sub>цв</sub> = 25 – 30 °С) в обратную тепло-магистраль теплотели (T<sub>об</sub> = 45 – 50 °С) с достаточно высоким коэффициентом преобразования (K<sub>ТНУ</sub> = 4,5 - 6 при соответственно AT<sub>ТНУ</sub> = 25 – 13 °С).

Рекомендованы к дальнейшей разработке две схемы использования на первом этапе внедрения на ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» крупномасштабных ТНУ (теплопроизводительностью до 20 Гкал/ч.):

- с передачей сбросной теплоты циркуляционной воды в обратную тепломагистраль теплосети (до подогревателей сетевой воды);
- использования сбросной теплоты для ступенчатого нагрева в ТНУ подпиточной сетевой воды.

## **5.6. Пример совместного использования ТН и пиковых угольных котлов**

Эффективность внедрения теплонасосной техники на российском рынке можно показать на примере Чувашской Республики, где созданы благоприятные условия для внедрения ТН. Так, кабинетом Министров Чувашской Республики, впервые в России, 4 марта 2002 г. был введен в действие тариф на электроэнергию для отопления и горячего водоснабжения тепловыми насосами зданий производственного и коммунально-бытового назначения, который ниже тарифа, применяемого для расчета потребляемой электроэнергии для существующих систем теплоснабжения в 2,15 раза по средневзвешенным ценам [57].

ООО «Энергосервисная компания ЗэиМ-ЭСКО» совместно с ООО «Теплонасос-сервис» построен и успешно функционирует теплонасосный пункт в поселке Сосновка, расположенном на левом берегу реки Волга, г. Чебоксары. Теплонасосный пункт поэтапно введен в эксплуатацию в период с октября 2001 г. по март 2002 г. и предназначен для теплоснабжения комплекса «школа + больница».

Установлены три парокомпрессионных ТН в пристройке к угольной котельной (два тепловых насоса НТВ-360 с винтовыми компрессорами производства ЗАО «Энергия» и один тепловой насос НТП-150 с поршневым компрессором, изготовленный из отечественных комплектующих ООО «Теплонасос-сервис»), общей теплопроизводительностью 950 кВт. В качестве рабочего тела ТН используется озоносберегающий хладон С-10 (смесь R21/R22), применяемый взамен R134а. Источником возобновляемой низкопотенциальной теплоты является грунтовая вода, поступающая с глубины 35-40 м с температурой плюс 7-8 °С.

Температура системы отопления от ТН изменяется от 46 °С до 65 °С, в зависимости от температуры наружного воздуха. Максимальная нагрузка системы отопления составляет 380,5 кВт, системы вентиляции 698 кВт, системы горячего

водоснабжения (ГВС) – 428 кВт. Среднечасовая нагрузка системы ГВС составляет 214 кВт. Емкость бака-аккумулятора воды для ГВС 25 м<sup>3</sup>. Продолжительность отопительного периода для Чебоксар составляет 5208 часов, периода горячего водоснабжения – 8760 часов. Расчетная температура наружного воздуха наиболее холодного периода - минус 31 °С, средняя расчетная температура наружного воздуха за отопительный период - минус 4,9 °С.

На данном объекте реализована бивалентная схема котельной «тепловые насосы - пиковые угольные котлы», что позволило более чем на 20 % снизить капитальные затраты на строительство и закупку оборудования, сократить расчетный срок окупаемости капитальных затрат до 3-4 лет. Установленная тепловая мощность ТН составляет 74 % от расчетной тепловой нагрузки потребителя, с учетом среднечасовой нагрузки системы ГВС. При достижении температуры наружного воздуха минус 20 °С в работу в пиковом режиме включаются угольные котлы.

На следующем рисунке 42 приведена принципиальная тепловая схема теплонасосной части котельной.

С помощью погружных насосов низкопотенциального источника тепла ПС1 – ПС3 (два рабочих, один резервный) грунтовая вода из скважин поступает к тепловым насосам и последовательно проходит через испарители И, вначале НТП-150, затем НТВ-360 №2 и НТВ-360 №1, отдавая свою теплоту, и охлажденная сбрасывается в дренажный коллектор. Вода системы отопления и вентиляции также последовательно, противотоком грунтовой воде, подогревается в конденсаторах К, переохладителях ПО1 и маслоохладителях МО1 тепловых насосов.

Важно отметить, что в конструкцию тепловых насосов НТВ-360 внесен ряд изменений, позволяющих увеличить коэффициент преобразования теплоты на 2-3%.

Так, при работе тепловых насосов НТВ-360 часть грунтовой воды отбирается перед испарителем и водяным насосом НВ, установленном на трубопроводе, параллельно подается в маслоохладитель МО2, для доохлаждения масла компрессора до регламентной температуры и в переохладитель ПО2, для доотбора части неиспользованной в конденсаторе К и переохладителя ПО1 теплоты жидкого хладагента и его доохлаждения до температуры максимально близкой к температуре хладагента в испарителе.

Подогретая в МО2 и ПО2 грунтовая вода направляется вновь на вход в испаритель, где, смешиваясь с основным потоком грунтовой воды, подогревает ее на 0,3-0,5 °С. Часть воды теплоносителя - приемника тепла параллельно конденсатору КД и переохладителю ПО1 протекает через маслоохладитель МО1, охлаждая масло компрессора К. Таким образом часть теплоты масла и фреона используется напрямую - в переохладителе ПО1 и маслоохладителе МО1, часть сбрасывается на вход в испаритель (ПО2, МО2).

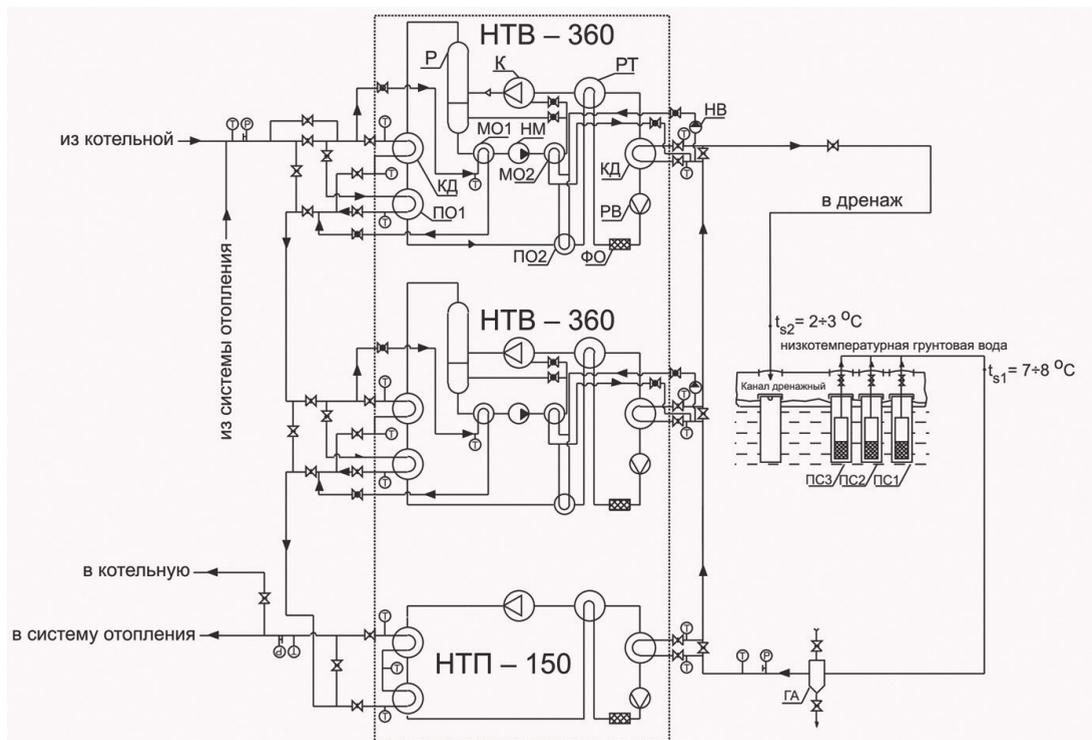


Рис. 42. Принципиальная тепловая схема теплонасосной части бивалентной котельной:

К – компрессор, КД – конденсатор, И – испаритель, ПО – переохладитель, МО – маслоохладитель, Р – ресивер, РВ – регулирующий вентиль, ФО – фильтр осушитель, ПС – насосы низкопотенциального источника тепла, ГА – грязевик абонентский, РТ – регенеративный теплообменник, НМ – насос масла, НВ – водяной насос.

По эксплуатационным данным, в период с октября по март общее количество тепловой энергии, отпущенное потребителям от бивалентной котельной, составило 1315 Гкал, в том числе выработано в тепловых насосах 1057 Гкал, в угольных котлах 258 Гкал. Расход угля за этот период составил 92 т. Расход электроэнергии, с учетом всех электропотребителей (тепловых насосов, сетевых насосов, погружных насосов грунтовой воды, освещения, вентиляции и т.д.) составил за это время 649 МВт·ч (в период работы тепловых насосов 598 МВт·ч). Экономия угля составила 241 т.

Средневзвешенный коэффициент преобразования теплонасосной системы составил 2,3. Среднее соотношение стоимости израсходованной электроэнергии к стоимости угля за отчетный период составило 0,55, т.е. топливная составляющая

на теплонасосной части бивалентной котельной снизилась на 45 % по сравнению с угольной котельной. Соответственно, пропорционально сокращению потребления твердого топлива снизились выбросы в окружающую среду твердых и газообразных отходов сжигания топлива, что особенно важно для национального природного парка «Заволжье» (Чебоксары).

Остальные затраты на содержание бивалентной котельной «Тепловые насосы - угольные котлы» не изменились по сравнению с затратами на содержание угольной котельной. На состояние марта 2002 г. себестоимость теплоты составила: в случае работы бивалентной котельной – 460 руб./Гкал, в случае работы только угольных котлов – 688 руб./Гкал, с учетом дополнительных затрат электроэнергии на приводы погружных насосов (установленная мощность каждого из трех насосов, включая один резервный, составляет 16 кВт), что составляет порядка 10-12 % от всей электрической энергии, потребляемой бивалентной котельной.

Несмотря на большую экономию денежных средств, себестоимость теплоты при использовании ТН может быть снижена еще больше. Дело в том, что в указанный период эксплуатации теплонасосная станция не работала в установленном режиме из-за поэтапности внедрения ТН (НТП-150 и один НТВ-360 - в октябре 2001 г., второй НТВ-360 - в марте 2002 г.). В случае работы ТН в установленном режиме расчетная себестоимость теплоты составит 400 руб./Гкал.

Кроме того, в условиях существования системы дифференцированной оплаты за электрическую энергию, существенный дополнительный эффект может быть получен от ТН, работающих с аккумуляторами теплоты и двухтарифными счетчиками электрической энергии, и потребляющих электроэнергию в период ночного провала суточного графика электрической нагрузки в энергосистеме. При этом достигается обоюдная экономическая выгода: для потребителей теплоты от ТН – за счет снижения платы за электроэнергию по ночному тарифу, а для энергосистемы – за счет снижения себестоимости производимой электроэнергии при уплотненном графике электрической нагрузки.

## **5.7. Использование тепловой энергии из систем охлаждения центров обработки данных (ЦОД) на нужды теплоснабжения**

В работе В.С. Пузакова [59] отмечается, что по данным доклада Greenpeace «Исследование влияния дата-центров, крупнейших интернет-компаний на экологию»

(2011 г.), потребление электроэнергии всеми ЦОД мира составило в 2011 г. от 1,5 до 2% от общемирового спроса на электрическую энергию и с каждым годом эта потребность увеличивается на 12%. В соответствии с данными 2015 г., опубликованными в отчете финансово-кредитной организации Bank of America Merrill Lynch, общее энергопотребление всеми ЦОД в мире уже составляет порядка 10% общего спроса на электроэнергию. При этом, если бы «облачные» технологии (все ЦОД) были бы отдельной страной, то эта виртуальная страна заняла бы пятое место по годовому объему потребления электроэнергии после США, Китая, России и Японии.

Система охлаждения ЦОД «съедает» до половины всей потребляемой электроэнергии дата-центром. Максимальная температура нагрева в отдельных частях ЦОД составляет 27-46 °С (соответственно, чем выше загрузка ЦОД, тем больше выделяется тепла). На текущий момент в различных странах мира (как правило, северных) все больше реализуется проектов по полезному использованию выделяемого тепла из т.н. «горячих» коридоров ЦОД на нужды теплоснабжения потребителей при помощи ТНУ. Источник теплоснабжения является высоконадежным, поскольку ЦОД, как правило, имеет два независимых источника электроснабжения: в качестве основного обычно использует ввод из внешней системы электроснабжения, в качестве резервного – собственный источник генерации электроэнергии.

Ниже остановимся на наиболее интересных проектах, которые уже реализованы или находятся в стадии проработки.

### **Финляндия**

В 2010 г. в г. Хельсинки (население города около 500 тыс. чел.) в бомбоубежище, расположенном на глубине 30 м под Успенским собором XIX века, финской ИТ-компанией Academica был построен ЦОД (его проектная потребляемая электрическая мощность – 2 МВт), отличительной особенностью которого стало полезное использование выделяемого им тепла, поступающего в общую систему централизованного теплоснабжения города. Реализация данного проекта стала возможна благодаря совместному сотрудничеству ИТ-компании и теплоснабжающей организацией города «Хельсингин Энергия» (Helsingin Energia).

Принцип полезного использования тепла в данной схеме следующий: морская вода из Балтийского моря поступает в теплообменный аппарат для охлаждения горячего воздуха ЦОД, затем подогретая вода идет в тепловой насос, в котором полезно используется ее потенциал для нагрева теплоносителя второго контура городской системы централизованного теплоснабжения.

Благодаря данному решению снижение годовых затрат на электроэнергию на цели охлаждения ЦОД в денежном эквиваленте по данным 2010 г. составило более

560 тыс. долл. США, а потребление электроэнергии снизилось почти в 2 раза. Система обеспечивает теплом порядка 500 жилых домов или 1000 квартир. По укрупненной оценке, требуемое количество тепловой энергии составляет около 15 тыс.

г. Эспоо (численность населения около 300 тыс. чел.). Финская ИТ-компания Tieto и один из крупнейших мировых энергохолдингов Fortum («Фортум») реализовали совместный проект в 2011 г. по полезной утилизации сбросного тепла с ЦОД (обслуживаемом компанией Tieto) с целью последующего его использования на нужды централизованного теплоснабжения потребителей города. Холодная вода на нужды охлаждения «горячих коридоров» ЦОД подается компанией «Фортум», после этого уже подогретая вода поступает в тепловой насос, в котором полезно используется ее потенциал для нагрева теплоносителя второго контура на нужды теплоснабжения потребителей.

По состоянию на 2013 г., на ЦОД полезно утилизируется около половины производимой им тепловой энергии (53%), что позволяет обеспечить теплом около 390 близлежащих домов; в 2015 г. таких домов уже было 630 шт. Стоит отметить, что ЦОД в г. Эспоо вошел в отчет финансово-кредитной организации Bank of America Merrill Lynch как один из самых «зеленых» во всем мире.

Законодательное поле, климатические условия и развитая энергетическая инфраструктура Финляндии являются хорошей почвой для строительства дата-центров (не только для местных компаний, но и зарубежных, например, российская крупнейшая поисковая система Yandex тоже возводит ЦОД в Финляндии).

## Швеция

Энергокомпания Fortum Varme (Фортум Варме) в Швеции несколько лет назад запустил новый проект «Open District Heating» (Открытое централизованное теплоснабжение), суть которого заключается в повышении эффективности существующих систем теплоснабжения за счет утилизации выделяемой тепловой энергии ЦОД и ее использования на нужды теплоснабжения жителей г. Стокгольм, и получением прибыли как для теплоснабжающей организации, так и для компании-владельца ЦОД. В соответствии с данной бизнес-моделью, компания «Фортум Варме» совместно со шведской ИТ-компанией Bahnhof в 2013 г. реализовала два пилотных проекта в Стокгольме .

1. Дата-центр Bahnhof Pionen. ИТ-компания Bahnhof в 2000-х гг. при создании своего ЦОД на глубине 30 м в скале в бывшем бомбоубежище изначально смонтировала традиционную систему охлаждения на базе чиллеров.

В начале 2010-х гг. ИТ-компанией был выполнен комплекс работ по созданию новой системы охлаждения ЦОД на базе тепловых насосов (2 ед. Carrier

30XWH 802-NT) суммарной тепловой мощностью 0,975 МВт или 0,84 Гкал/ч (и холодопроизводительностью 0,694 МВт). Конструкция применяемых тепловых насосов рассчитана на работу на давлении 16 бар (на стороне конденсатора), что позволяет подключать их напрямую к тепловой сети, которая работает на том же давлении.

Теплоснабжающей организацией «Фортум Варне» были выполнены работы по строительству нового участка трубопровода тепловой сети протяженностью 67 м в двухтрубном исчислении условным диаметром Ду125 мм от ЦОД до существующей системы централизованного теплоснабжения.

В нормальном режиме работы ЦОД выдаваемая им тепловая мощность в общую сеть составляет порядка 0,6 МВт при температуре теплоносителя в подающем трубопроводе 68 оС.

Величина компенсации за покупку тепловой энергии от ЦОД со стороны теплоснабжающей организации «Фортум Варне» зависит от температуры наружного воздуха. Тем ниже температура, тем выше стоимость покупаемой тепловой энергии от ЦОД, т.к. в Швеции, также как и в ряде других европейских стран, изначально (при базовой тепловой нагрузке) загружаются самые эффективные источники тепловой энергии (например, мусоросжигающие заводы), а при полупиковой и пиковой нагрузке самые дорогие, требующие сжигания ископаемых видов топлива.

Созданная система охлаждения с полезной утилизацией сбросного тепла регулирует температуру на обеих сторонах теплового насоса (на холодной и на горячей). В случае возникновения каких-либо внештатных ситуаций, приводящих к нарушению температурного режима охлаждения дата-центра, в работу вступает резервная «старая» система охлаждения, но при этом утилизируемое тепло просто «сбрасывается» на улицу.

Суммарный объем инвестиций обеими компаниями на реализацию данного проекта составил 4,7 млн шведских крон или около 24 млн руб., из них:

- ИТ-компания Bahnhof потратила 3,4 млн шведских крон на создание новой системы охлаждения ЦОД, включая тепловые насосы, внутреннюю разводку коммуникаций, создание системы автоматизации процессов «под ключ»;
- теплоснабжающая организация «Фортум Варне» инвестировала 1,3 млн шведских крон на прокладку нового участка трубопровода тепловой сети от ЦОД до существующей городской системы централизованного теплоснабжения.

2. Дата-центр Bahnhof Thule. Данный ЦОД находится в центре Стокгольма и по праву может считаться самым энергоэффективным дата-центром в стране. С мо-

мента ввода в эксплуатацию этот ЦОД стал самым крупным дата-центром, расположенным в деловом центре Стокгольма.

Он состоит из трех серверных залов, система охлаждения «горячих» коридоров которых основана на использовании тепловых насосов в количестве 3 шт. (Carrier 30XWH 802-НТ), подключенных как по горячей, так и холодной стороне. При нормальном режиме работы тепловые насосы одновременно выдают мощность на нужды централизованного тепло- и холодоснабжения.

Отопительный сезон в Стокгольме длится около полугода. Важной особенностью является то, что система централизованного холодоснабжения и тепловые насосы образуют две независимых системы охлаждения ЦОД Thule. Тепловые насосы были смонтированы таким образом, чтобы они могли работать в «островном режиме», т.е. без подключения к системе централизованного холодоснабжения и «сброса» нагрузки в нее.

Использование той или иной системы, соответственно, зависит от городских погодных условий. Отпуск тепловой энергии от ЦОД начинается при наружной температуре воздуха от +7 °С и ниже; при достижении температуры наружного воздуха +20 °С и выше производства холода и выдача его в сеть централизованного холодоснабжения на полную проектную мощность.

Подключив ЦОД к сетям централизованного тепло- и холодоснабжения, ИТ-компания и энергохолдинг «Фортум Варме» создали новую высоконадежную и достаточно гибкую систему утилизации «сбросной» энергии дата-центра.

Тепловые насосы могут сразу выдавать полную тепловую мощность благодаря тому, что энергия берется одновременно из машинных залов и из обратного трубопровода централизованной системы холодоснабжения.

В ходе нормального режима работы тепловые насосы «берут» энергию из обратного трубопровода централизованной системы холодоснабжения и в результате выдают тепловую энергию уже в систему централизованного теплоснабжения. Общая холодопроизводительность тепловых насосов составляет около 1,189 МВт при выдаче в сеть воды температурой 5,5 °С, суммарная выдаваемая тепловая мощность тепловых насосов – 1,583 МВт или 1,36 Гкал/ч, температура теплоносителя при этом составляет около 68 °С.

В связи с тем, что в ближайшие годы планируется расширение ЦОД, для ИТ-компании было важно инвестировать средства в систему охлаждения именно с учетом перспективного развития дата-центра и возможности утилизации всего объема «сбросного» тепла и холода. Суммарный объем инвестиций обеими компаниями на реализацию проекта составил 7,9 млн шведских крон или около 41 млн руб.

## Канада

В конце 2012 г. кредитно-финансовая корпорация Westbank и телекоммуникационная компания Telus заключили договор на строительство комплекса зданий Telus Garden в г. Ванкувер, включающего 24-этажный деловой центр и 44-этажный жилой комплекс, общей стоимостью 750 млн долл. США, в настоящее время реализация проекта находится в завершающей стадии строительства.

Одной из задач проекта было выбрать источник тепло-, холодоснабжения и горячего водоснабжения для двух зданий, исходя из следующих основных критериев: надежное теплоснабжение по обоснованным тарифам (с учетом минимизации капитальных и операционных затрат); соответствие стандартам LEED Platinum и Gold certification; минимальный объем выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Организацией ответственной за строительство и дальнейшую эксплуатацию системы теплоснабжения комплекса Telus Garden стала дочерняя структура энергетической компании FortisBC Alternative Energy Service Inc. (FAES).

Проектная тепловая нагрузка комплекса зданий (офисные, жилые и торговые площади) составляет 5,81 МВт или 5 Гкал/ч, из которых: нагрузка на отопление – 5,11 МВт или 4,4 Гкал/ч; нагрузка ГВС – 0,7 МВт или 0,6 Гкал/ч. Проектная величина холодопроизводительности – 5,48 МВт.

Годовое потребление тепла на нужды отопления всех зданий составляет 2906 Гкал (3379 МВт•ч); годовой расход тепла на нужды ГВС – 1561 Гкал (1815 МВт•ч); годовой расход холода – 4591 МВт•ч. Общая площадь зданий составляет около 88 тыс. м<sup>2</sup>.

В результате сравнения порядка 10 различных источников теплоснабжения (включая возобновляемые источники энергии; когенерационную установку на базе газопоршневых агрегатов; подключение к существующей системе парового теплоснабжения и др.) наиболее эффективным оказался вариант с утилизацией излишков тепла от существующего ЦОД Telus.

Система утилизации и транспорта тепловой энергии от ЦОД включает в себя: холодильные машины (чиллеры); теплообменные аппараты типа «вода-воздух» (2 шт.) для утилизации тепла горячего воздуха от ЦОД; тепловые насосы; насосное оборудование; систему ГВС; охладительную башню-градирню (используется в том случае, когда нет необходимости в полезном использовании того или иного количества тепла от ЦОД); теплообменное оборудование и подводящие трубопроводы для подключения к существующей паровой системе теплоснабжения; систему учета тепловой энергии.

Теплообменные аппараты (2 шт.) размещаются непосредственно на территории ЦОД, необходимые для охлаждения воздуха, выделяемого оборудованием ЦОД, и нагрева воды до температуры 20-38 °С.

Затем нагретая вода направляется по трубопроводу в энергоцентр, где расположены тепловые насосы и чиллеры, предназначенных для нагрева воды на нужды теплоснабжения и охлаждения на нужды холодоснабжения зданий соответственно.

Три тепловых насоса (рабочий хладагент R-134a) размещаются в энергоцентре, которые используются для нагрева воды на нужды отопления до температуры 43 °С, на нужды ГВС – до температуры 70 °С. Коэффициент преобразования тепловых насосов доходит до 5.

В энергоцентре размещено пять чиллеров (использующих хладагент R-134a), охлаждаемая вода (на холодной стороне) в которые поступает с температурой 11 °С, а из них уже направляется в систему холодоснабжения с температурой 5 °С; на горячей стороне в чиллеры поступает вода из ЦОД с температурой 29 °С и покидает их с температурой 35 °С.

Как было указано выше, для покрытия пиковых тепловых нагрузок зданий Telus Garden используется существующая система пароснабжения. Также данная паровая система является резервной и в случае необходимости может покрыть всю проектную тепловую нагрузку зданий. Подключение к паровой сети производится через теплообменные аппараты (тепловые пункты), размещенных в зданиях: в офисном здании теплообменник тепловой мощностью 2,32 Гкал/ч (2,7 МВт); в жилом здании теплообменный аппарат тепловой мощностью 2,84 Гкал/ч (3,3 МВт).

Градирия (охладительная башня) предназначена для «сброса» излишков тепла, которые не могут быть использованы, что позволяет стабильно работать системе охлаждения ЦОД, когда нагрузки в зданиях не сбалансированы (это может возникать, например, летом, когда потребность в холоде превышает потребность в тепле). Градирия имеет отдельный независимый от энергоцентра контур (через теплообменник), физически она размещается на 22-м этаже офисного здания.

Система транспорта энергоносителей включает в себя: трубопроводы диаметром 2Ду250 между ЦОД и энергоцентром, расположенным в офисном здании; трубопроводы между энергоцентром и жилым зданием 2Ду250 – для отопления потребителей (температура теплоносителя 43 °С), 2Ду150 – для ГВС потребителей (температура теплоносителя 70 °С); 2Ду200 – для холодоснабжения потребителей (температура воды 5 °С).

В соответствии с проектом, теплоснабжение и горячее водоснабжение всего этого комплекса до 94% возможно обеспечить за счет использования избыточного тепла ЦОД Telus (в зависимости от загрузки его серверного оборудования), находящегося в непосредственной близости. Покрытие пиковой тепловой нагрузки и полупиковой (при снижении тепловой мощности от ЦОД в случае уменьшения загрузки его серверов) обеспечивается за счет существующей паровой системы теплоснабжения.

Капитальные затраты на создание системы утилизации излишков тепловой энергии ЦОД составили 3,165 млн долл. США, ежегодные операционные затраты – 297 тыс. долл. США (которые в совокупности являются практически минимальными по сравнению с другими рассматриваемыми вариантами теплоснабжения). При этом объем ежегодных выбросов CO<sub>2</sub> в случае полезного использования избытка тепла ЦОД составляет всего 12 т, что также является минимальным значением по сравнению с остальными вариантами теплоснабжения новых зданий.

### Нидерланды

В начале 2015 г. голландская энергетическая компания Eneso, которая обслуживает более 2 млн потребителей, объявила о начале сотрудничества со «стартап» компанией Nerdalize. Совместными усилиями у ряда потребителей они установили полноценные компактные серверы, связанные с массивной облачной платформой посредством сети Интернет, которые, по сути, являются для потребителей радиаторами, самостоятельно генерирующими тепловую энергию. По предварительным оценкам, стоимость предоставления услуг хостинга такой серверной ниже на 30-55% (в зависимости от используемого типа системы охлаждения).

Охлаждение таких мини-серверов производится водой по замкнутому контуру, в котором нагретая вода отдает тепло отапливаемому помещению, имеется возможность «сброса» излишков тепловой энергии на улицу. Выделяемого тепла серверами-радиаторами достаточно для обогрева помещений в условиях голландского климата.

Причем, ИТ-компания Nerdalize построила данную систему таким образом, что «квартирные» серверы постоянно загружены на полную мощность, т.е. объем выделяемой тепловой энергии находится на одном уровне. В случае отсутствия связи с сетью Интернет, на мини-сервере запускается соответствующий скрипт, который заставляет выполнять их пустые вычисления, чтобы избежать нежелательных перерывов в работе такой своеобразной системы отопления.

Данный эксперимент проводится в пяти многоквартирных жилых домах страны. В настоящее время система работает в тестовом режиме, т.к. специалисты двух компаний хотят понять, сможет ли она быть коммерчески выгодной по сравнению с традиционными способами теплоснабжения потребителей.

### Еще несколько примеров

В 2010 г. компания Telehouse построила дата-центр Telehouse West в Лондоне (Великобритания) с системой полезного использования избыточного тепла дата-центра для теплоснабжения домов и учреждений, расположенных неподалеку.

В 2011 г. французский энергетический холдинг Dalkia и парижский Диснейленд (Disneyland Paris) объявили о своем сотрудничестве для реализации совместного проекта по утилизации избыточного тепла ЦОД Диснейленда и передаче его через строящиеся трубопроводы тепловых сетей компании Dalkia для теплоснабжения нового бизнес-парка Val d'Europe общей площадью около 600 тыс. м<sup>2</sup>, расположенного недалеко от Парижа (данное решение позволяет ежегодно снижать выбросы CO<sub>2</sub> при на 5,4 тыс. т).

Британская компания AQL, предоставляющая телекоммуникационные услуги, в ходе полной реконструкции своего ЦОД (г. Лидс, Великобритания) в 2013 г. внедрила систему утилизации выделяемого ЦОД тепла, которое используется для отопления своего же конференц-зала на 300 мест, расположенного неподалеку от дата-центра, в перспективе планируется также использовать выделяемое дата-центром тепло для отопления арт-галереи The Tetley.

На окраине г. Цюрих (Швейцария) компания IBM в середине 2000-х гг. переоборудовала бывший военный бункер 1971 г., находящийся на глубине 7 м, в ЦОД. Выделяемое ЦОД тепло используется для нагрева воды близлежащего муниципального бассейна. За год ЦОД способен отдавать около 2,4 тыс. Гкал.

Также известны примеры по использованию выделяемого тепла ЦОД для обогрева оранжереи, цветочного тепличного хозяйства.

Как видно, большинство из рассмотренных проектов реализованы в странах Европы с холодным климатом.

В заключение отметим, что использование систем охлаждения на базе теплового насоса для полезной утилизации тепловой энергии ЦОД позволяет на 80% снизить затраты электроэнергии на охлаждение дата-центра по сравнению с менее прогрессивными системами на базе воздушного охлаждения и на 13% по сравнению с традиционными системами жидкостного охлаждения (на базе чиллеров).

## 6. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНУ В РОССИИ

Документы, регламентирующие использование тепловых насосов в России, стали появляться лишь в последнее время. До этого можно сослаться лишь на СНиП 41-01–2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (СП 60.13330.2012), в котором тепловые насосы лишь упомянуты.

Вышел ГОСТ Р 54865–2011 «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами». Данный ГОСТ Р непосредственно посвящен теплонасосным системам. Представленная в нем методика позволяет рассчитать затраты энергии теплонасосной системой с учетом режимов ее работы, состава и характеристик основного и вспомогательного оборудования и прочих факторов. Методика базируется на использовании приведенных в технической документации эксплуатационных параметров оборудования, а также на характеристиках оборудования, полученных в результате испытаний по российским или европейским методикам.

И уже совсем недавно объединением НОСТРОЙ был разработан стандарт, посвященный монтажу, вводу в эксплуатацию и пусконаладке теплонасосных систем – СТО НОСТРОЙ 149 «Устройство теплонасосных систем теплоснабжения зданий. Правила, контроль выполнения, требования к результатам работ». Данный стандарт разработан в развитие положений СП 60.13330.2012 (раздел 11), а также с целью конкретизации положений документа «Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии».

Помимо этого, несколько документов чисто технического характера выпущены компанией-производителем ТНУ – ОАО «Инсолар-Инвест», они связаны с проектированием теплонасосных систем и их отдельных элементов. Это документы, посвященные технологическим схемам – Технические рекомендации ТР 209–09 «Альбом типовых технологических схемных и технических решений гибридных теплонасосных систем теплоснабжения (ГТСТ) многоэтажных жилых зданий в условиях плотной городской застройки», и отдельным устройствам, например «Альбом типовых технических решений термоскважин систем сбора низкопотенциального тепла грунта и блоков-утилизаторов низкопотенциального тепла вентвыбросов для гибридных теплонасосных систем теплоснабжения многоэтажных жилых зданий».

Согласно общероссийскому классификатору стандартов (ОКС), тепловые насосы входят в раздел 27 «Энергетика и теплотехника» в группу 080.

## ГОСТы, касающиеся тепловых насосов

Номер	Наименование
ГОСТ Р 54539-2011	Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Методы испытаний функциональных характеристик
ГОСТ Р 54671-2011	Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Термины и определения
ГОСТ Р 54788-2011	Кондиционеры абсорбционные и адсорбционные и/или тепловые насосы газовые с номинальной тепловой мощностью до 70 кВт. Часть 1. Безопасность
ГОСТ Р 54789-2011	Кондиционеры абсорбционные и адсорбционные и/или тепловые насосы газовые с номинальной тепловой мощностью до 70 кВт. Часть 2. Рациональное использование энергии
ГОСТ 32111.1-2013	Шум машин. Оценка звуковой мощности кондиционеров и воздушных тепловых насосов. Часть 1. Оборудование наружное без воздухопроводов
ГОСТ 32111.2-2013	Шум машин. Оценка звуковой мощности кондиционеров и воздушных тепловых насосов. Часть 2. Оборудование внутреннее без воздухопроводов
ГОСТ 32968-2014	Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению
ГОСТ 32969-2014	Кондиционеры и воздухо-воздушные тепловые насосы с воздухопроводами. Испытания и оценка рабочих характеристик
ГОСТ 32970-2014	Кондиционеры и тепловые насосы без воздухопроводов. Испытания и оценка рабочих характеристик
ГОСТ EN 378-1-2014	Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора
ГОСТ EN 378-2-2014	Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 2. Проектирование, конструкция, изготовление, испытания, маркировка и документация
ГОСТ EN 378-3-2014	Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 3. Размещение оборудования и защита персонала
ГОСТ EN 378-4-2014	Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 4. Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление

Номер	Наименование
ГОСТ 33662.1-2015	Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Определения, классификация и критерии выбора
ГОСТ 33662.2-2015	Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 2. Проектирование, конструкция, изготовление, испытания, маркировка и документация
ГОСТ 33662.4-2015	Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 4. Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление
ГОСТ 33657.1-2015	Кондиционеры с воздушным охлаждением и воздухо-воздушные тепловые насосы. Методы испытаний и расчета сезонного коэффициента эффективности. Часть 1. Сезонный коэффициент эффективности охлаждения
ГОСТ 33657.2-2015	Кондиционеры с воздушным охлаждением и воздухо-воздушные тепловые насосы. Методы испытаний и расчета сезонного коэффициента эффективности. Часть 2. Сезонный коэффициент эффективности нагрева
ГОСТ 33657.3-2015	Кондиционеры с воздушным охлаждением и воздухо-воздушные тепловые насосы. Методы испытаний и расчета сезонного коэффициента эффективности. Часть 3. Годовой коэффициент эффективности
ГОСТ 33657.2-2015	Кондиционеры с воздушным охлаждением и воздухо-воздушные тепловые насосы. Методы испытаний и расчета сезонного коэффициента эффективности. Часть 2. Сезонный коэффициент эффективности нагрева
ГОСТ 33657.3-2015	Кондиционеры с воздушным охлаждением и воздухо-воздушные тепловые насосы. Методы испытаний и расчета сезонного коэффициента эффективности. Часть 3. Годовой коэффициент эффективности
ГОСТ 33863-2016	Энергетическая эффективность. Оборудование для отопления. Показатели энергетической эффективности и методы определения
ГОСТ 33864-2016	Энергетическая эффективность. Оборудование для отопления. Проектирование с учетом воздействия на окружающую среду

Открывающиеся возможности использования ТНУ, особенно с учетом повышения тарифов на энергию из традиционных источников, а также запрос на повышение экономичности и надежности энергоснабжения со стороны потребителей, требуют совершенствования законодательной и нормативно-правовой базы применения ТН в России – как с точки зрения технических регламентов, так и в части стимулирующих мер.

## 7. ОБЗОР РЫНКА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

### 7.1. Российские и иностранные производители, проектировщики и монтажники тепловых насосов

Несмотря на то, что тепловые насосы в России пока не получили широкого распространения, на рынке представлено множество производителей как ведущих мировых (прежде всего европейских) брендов, так и российских, и китайских.

Потребитель может купить продукцию практически любого мирового производителя, однако необходимо учитывать, что не все фирмы оказывают сервисную поддержку, поставляют необходимые запчасти и осуществляют квалифицированный монтаж. В российских представительствах есть все необходимые каталоги, но обычно самих моделей нет на складе, они поставляются под заказ.

К фирмам, имеющим немецкие корни, относятся Buderus, Waterkotte, Rehau, Stiebel Eltron, Vaillant (один из крупнейших мировых производителей), Viessmann, Wolf Dimplex.

На рынке зарекомендовали себя бренды Heliotherm, Ochsner (Австрия), Atlantic (Франция), Climate Master (более 50 лет занимается тепловыми насосами), Carrier, Aertec, Fhp Mammoth (США), Thermocold, Climaveneta (Италия), Pzp komplet, G-mar (Чехия), Noval (Лихтенштейн), Geothermix (Канада), Geotermal Solar (Ирландия).

Необходимо назвать также международный концерн Danfoss, купивший Avenir Energie (Франция), Thermia (Швеция), Steinmann (Швейцария).

Известны и азиатские бренды, преимущественно из Японии и Китая: General, Mitsubishi Heavy Industries, Daikin, Hitachi, Clint, Lennox, Fujitsu.

Тепловые насосы российского производства или сборки – это «Корса», «Инсолар», «Экип». Российские производители тепловых насосов большой мощности – НПО «Казанькомпрессормаш» (Казань, парокompрессионные тепловые насосы с центробежными компрессорами тепловой мощностью до 8500 – 11500 кВт), ЗАО «Энергия» (Новосибирск, парокompрессионные тепловые насосы с винтовыми компрессорами тепловой мощностью до 500 – 3000 кВт, ОКБ «Теплосибмаш» (Новосибирск, абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы).

### 7.2. Обзор рынка геотермальных тепловых насосов

Геотермальные тепловые насосы остаются одними из наиболее популярных и распространенных. Применяют их в силу причин, описанных в разделах выше, с допол-

нительным источником тепла, в так называемых бивалентных системах отопления, когда в системе помимо ТН работает догреватель, обычно это электродкотел или ТЭН.

Многие модели геотермальных ТН имеют встроенный электронагреватель. Также в качестве второго источника могут выступать солнечный водонагреватель, газовый, дизельный котел.

Тепловые насосы обладают совершенно различной теплопроизводительностью, которая может достигать 80 кВт (Heliotherm). Коэффициент мощности колеблется в диапазоне 4,45,2. Максимальная температура контура отопления у большинства тепловых насосов составляет 60-65 °С. Отдельные модели снабжаются дополнительными электротЭНами, позволяющими произвести быстрый догрев в случае необходимости. Это Logatherm WPS ...K от Buderus, Fighter 1145 и 1245 от Nibe, целый ряд моделей (WPC ...S, а также WPC ... cool, WPF ...E, WPF ... cool, WPF ...S, WPF ... basic) от Stiebel Eltron, все разновидности серии geoTHERM от Vaillant, Vitocal 200-G и Vitocal 300-G от Viessmann, оба варианта BWS от Wolf. Максимальная мощность электрического ТЭНа колеблется от 2 до 9 кВт.

Ряд теплонасосов оборудован емкостями от 163 до 200 л для приготовления санитарной воды ГВС (Logatherm WPS ...K от Buderus, Fighter 1245 от Nibe, все модели WPC от Stiebel Eltron, geoTHERM plus от Vaillant, Vitocal 222-G от Viessmann, BWS ...Z от Wolf).

Nibe и Stiebel Eltron позволяют соединять свои модели в каскад до девяти (Fighter 1345) или до шести (WPF ...M(S), WPF ...G, WPF ...HT) приборов.

Данные о моделях геотермальных ТН приведены в таблице в приложении 4.

### 7.3. Популярные европейские модели тепловых насосов и отечественные ТН большой мощности

Австрийское энергетическое агентство публикует на портале <http://www.topprodukte.at/> результаты исследований популярных в Европе моделей тепловых насосов<sup>1</sup>. Лидерами рейтинга в типе «вода – вода» стали ТН Waterkotte DS5017.5 Ai A; Heliotherm HP12S16W-WEB; Knv TopLine 1255-6. Среди насосов «раствор – вода» лидируют модели Vaillant flexoCOMPACT exclusive, Vaillant flexoTHERM exclusive, Waterkotte Ai1 Geo 5010.5. Их характеристики приведены в приложении 5.

Также в приложении 6 содержится информация об отечественных производителях ТН большой мощности и отдельных выпускаемых моделях.

<sup>1</sup> Источник: [http://www.topprodukte.at/de/Products 8. – Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/551/topprodukte\\_sort\\_listing/x/topprodukte\\_sort\\_direction/x/topprodukte\\_how\\_many\\_ds/1.html](http://www.topprodukte.at/de/Products%208.-Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/551/topprodukte_sort_listing/x/topprodukte_sort_direction/x/topprodukte_how_many_ds/1.html)

## 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТНУ

### 8.1. Подходы к оценке эффективности проекта с ТНУ

Подходя к оценке потенциального проекта с ТНУ, необходимо принимать во внимание целый ряд соображений. Является ли применение теплового насоса самоцелью? Скорее, преследует определенные практические цели в конкретных условиях. Будет ли это организация автономного тепло- и холодоснабжения и горячего водоснабжения, либо достройка существующей системы, либо использование «пропадающего» сбросного тепла энергетических либо производственных процессов, и так далее.

Какие-то выводы можно сделать из сложившихся страновых условий и опыта реализованных проектов. Анализ показал достаточно неплохие показатели коэффициента трансформации грунтовых геотермальных теплонасосных систем: для южных регионов России он равен примерно 4, для северных – около 2,7.

Рассмотрим конкретный пример экономичного с точки зрения капитальных вложений варианта отопления индивидуального жилого дома тепловыми насосами, использующими в качестве источника низкопотенциального тепла атмосферный воздух [74].

Тепловые насосы этого типа имеют коэффициент трансформации 3,2-3,6 (при температуре воздуха  $t_{\text{н}}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Однако они имеют существенные ограничения в использовании: при снижении температуры наружного воздуха резко снижаются их тепловая мощность и коэффициент трансформации. При  $t_{\text{н}}<-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  использовать такие водо-воздушные тепловые насосы на цели отопления невозможно; а на цели ГВС их невозможно использовать уже при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Поэтому в наиболее холодные интервалы отопительного периода теплоснабжение производится за счет дублирующих установок. Если это электродотел, его надо рассчитывать на полную тепловую нагрузку, что не позволяет экономить затраты на пиковый источник тепла и на заявленную электрическую мощность. Таким образом, насосы такого типа наиболее востребованы в тех регионах, где сезонные температуры не опускаются ниже приведенных значений, и не требуется строительства пикового источника.

Из-за того, что удельные капиталовложения в ТНУ в сложившихся в настоящее время в России условиях существенно выше, чем для альтернативных нагревателей, тепловой насос наиболее целесообразно установить лишь на часть расчетной

отопительной нагрузки (т.н. «базовую часть»), с покрытием пиковой тепловой нагрузки от более дешевого нагревателя.

Определение доли теплового насоса в покрытии общей тепловой нагрузки потребителя – это оптимизационная задача, которая должна решаться индивидуально в каждом конкретном случае.

Ее результат зависит от схемы теплоснабжения дома, плотности графика продолжительности стояния температур наружного воздуха в регионе, соотношения стоимости теплового насоса и пикового нагревателя, стоимости электроэнергии в регионе.

Ниже приведены результаты сопоставления различных схем с тепловыми насосами разных типов и альтернативных систем индивидуального теплоснабжения по критерию минимума суммарных дисконтированных затрат на систему отопления поселка малоэтажной застройки, состоящего из 200 домов общей площадью по 200 м<sup>2</sup> каждый, за расчетный период 30 лет (см. рис. 43).

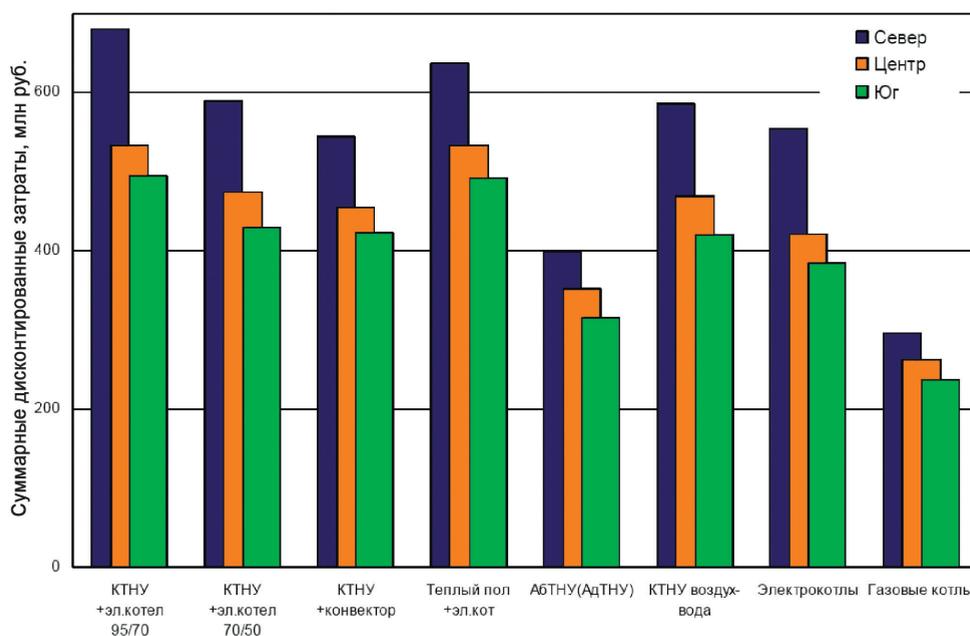


Рис. 43. Суммарные дисконтированные затраты в строительство ТНУ и котлов разных типов

Теплонасосная технология не конкурирует с теплоснабжением на газовом топливе. Если сравнивать ТНУ с электрокотлом, то, оптимизировав схему теплоснабжения с ТНУ, можно добиться экономии электроэнергии по сравнению с электро-

котлом от 59 % на севере до 64 % на юге России и получить экономию заявленной электрической мощности порядка 20-25 %.

Для условий Севера с большой продолжительностью отопительного периода (от 5600 ч/год) и высокими тарифами на электроэнергию (от 2 руб./кВт-ч) схема отопления от компрессионного грунтового теплового насоса, работающего параллельно с конвекторным обогревателем, показывает близкие и даже более низкие затраты за расчетный период, чем электродкотлы.

Результаты оценки экономии топлива при помощи разных схем с ТНУ показывают сильную зависимость эффектов от региональных условий.

К примеру, для условий северных регионов при среднем удельном расходе топлива на электростанциях 340 г у.т./кВт-ч. ни одна из схем теплоснабжения с тепловыми насосами компрессионного типа не является топливосберегающей по сравнению с газовыми котлами. Топливосберегающим эффектом обладают лишь абсорбционные (адсорбционные) установки, они позволяют экономить порядка 20 % топлива. Для центральных южных регионов России при оптимальном выборе схемы теплоснабжения с компрессионной ТНУ может быть достигнута экономия топлива до 9 % - даже по сравнению с использованием котлов на газе.

По сравнению с использованием электродкотлов экономия топлива на электростанциях составляет 55-65 % соответственно.

Проведенное дополнительное исследование показало, что системы теплоснабжения на базе ТНУ становятся экономически более эффективными, чем индивидуальные электродкотлы при следующих условиях:

- а) при повышении тарифов на электроэнергию;
- б) при снижении соотношения стоимости ТНУ и электродкотлов.

Так, повышение тарифов на электроэнергию более, чем на 30 % позволяет разработать такую схему теплоснабжения с тепловым насосом, которая будет экономически более эффективна по критерию суммарных дисконтированных затрат, чем теплоснабжение от электродкотла. При действующих тарифах на электроэнергию ТНУ будут экономически эффективными по сравнению с электродкотлами, если удастся снизить удельные капитальные затраты на их установку на 50 % и более.

Однако в целом нельзя полностью опираться на однозначные выводы или шаблонные решения – конкретные технико-экономические показатели проекта могут зависеть от индивидуального сочетания множества факторов – климатических, тарифных, других условий конкретного проекта. Кроме того, залог успеха проекта часто кроется в подборе грамотного схемного решения с использованием ТНУ, как и подборе самой технологии теплового насоса, каковых насчитывается немало.

Необходимо учесть в т.ч. климатические, иногда гидрологические условия, предусмотреть влияние на окружающую среду (в т.ч. в части возможного промерзания грунта, площади почв, «занятых» инженерным оборудованием и имеющих ограничения для агроприменения либо строительства; ряд вопросов возникает и при использовании низкопотенциальных водных источников и даже воздуха).

В целом в большинстве российских регионов проекты с ТНУ требуют тщательных изысканий и расчетов, прежде всего с точки зрения схемных решений. Определение технического решения проекта – оптимизационная задача на стыке техники, технологии, экономики и местных условий (климатических, тарифных, инвестиционных и проч.).

Правильно оценить энергетическую эффективность предлагаемого решения или нескольких вариантов для выбора оптимального не всегда легко.

Например, хотя ТН слабо могут конкурировать с централизованным отоплением в тех зонах, где оно присутствует, интересными и выгодными могут оказаться проекты проектирование ТНУ в составе систем централизованного теплоснабжения (что возможно на различных этапах цепочки от генерации до потребления, как было показано выше), например, когда позволяют обеспечить присоединение новых потребителей к ТЭЦ или переключить их от пиково-резервных котельных при ограничении пропускной способности существующих тепломагистралей.

Нужно принимать во внимание и такие факторы как надежность и качество энергоснабжения. Например, в условиях высоких и нестабильных цен на такие важные энергоресурсы как нефть и газ, а также учитывая глобальную политическую нестабильность, применение тепловых насосов может существенным образом повлиять на сложившуюся ситуацию в качестве альтернативного источника тепловой энергии.

И лишь приняв во внимание вышеописанные факторы, целесообразно переходить к оценке экономической эффективности.

Для установок и систем со значительным опытом применения и количеством реализованных проектов оценку технико-экономических показателей можно проводить, основываясь на информации анализа таких проектов, уточняя на основании каталогов и прайс-листов оборудования. Ограниченный опыт для систем с ТНУ и их разнообразии затрудняет такую оценку.

Для предварительного технико-экономического анализа стоимость системы с ТНУ можно представить состоящей из следующих компонентов:

- стоимость оборудования, входящего в инженерные системы здания – отопления, кондиционирования, ГВС;
- стоимость оборудования, обеспечивающего подачу низкопотенциального теплоносителя в системе с ТНУ, не входящего в комплект поставки ТНУ (очевидно, что здесь на начальной стадии реализации проекта могут рассма-

триваться варианты, принципиально отличающиеся схемными решениями и затратами);

- стоимость систем управления, в т.ч. при их включении в систему управления объектом;
- стоимость сервисного обслуживания, а также обеспечения резервирования систем в течение всего периода работы;
- эксплуатационные затраты, включая оплату электроэнергии;
- собственно стоимость ТНУ.

С учетом изложенного, сравнение вариантов для наиболее распространенной задачи «система теплоснабжения отдельно стоящего здания, вне зоны действия централизованных систем тепло- и газоснабжения» может быть организовано следующим образом:

1. Производится первоначальный отбор вариантов. Например, вследствие невозможности (по техническим или другим критериям) эксплуатировать систему на жидком или твердом топливе, возможные варианты сводятся к двум основным: электроотопление или ТНУ, с подвариантами по исполнению.

2. Формируется набор рассматриваемых вариантов. Он может выглядеть так.

Таблица 8

### Сравнение вариантов реализации проекта

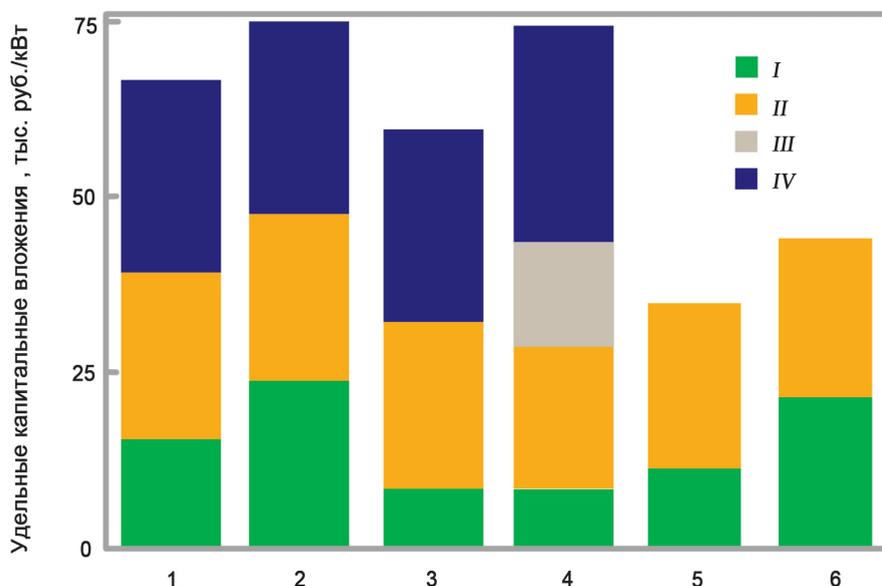
№	Характеристика	Основное оборудование	Характеристика системы обеспечения пиковых нагрузок, управления и резервирования	Оценка и сравнение затрат
1	Электроотопление, традиционная водяная или воздушная система	Обычные отопительные приборы, отдельные для помещений или электродотел, насос и трубы	Управление простое. Сервисное обслуживание минимальное. Надежность зависит от внешнего электроснабжения	Начальные затраты минимальные (1,0) Стоимость эксплуатации высокая (1,0)
2	Электроотопление, аккумуляторная система	Аккумуляционные отопительные приборы	Допускаются кратковременные перебои с электроснабжением	Начальные затраты выше (1,3), но стоимость эксплуатации ниже (0,8)
3	ТНУ воздушная система	Наружный блок и фанкойлы	Резервирование, например, электрокалориферами	Начальные затраты выше (1,5), но стоимость эксплуатации ниже (0,7)
4	ТНУ геотермальная система	ТНУ, отопительные приборы или фанкойлы, геозонды	Резервирование, например электродотлом или калориферами	Начальные затраты выше (1,7), но стоимость эксплуатации ниже (0,6)

Таким образом, задача выбора из многих вариантов сводится к пошаговой: определению экономических показателей для рассматриваемого объекта и расчетам.

Цифры в последнем столбце – ориентировочные, конкретика в проекте может быть существенно другой. Сложность предпроектной оценки затрат можно проиллюстрировать следующим сводным примером.

Если удельный теплосъем (без проведения замеров) – 20-50 Вт/м, а стоимость бурения и термозондов – 1800-3000 руб./м, в результате получаем, что даже для такого ограниченного числа оцениваемых показателей в величина удельных затрат на систему получения низкопотенциального тепла находится в диапазоне от  $1800/50=36$  тыс. руб./кВт до  $3000/20=150$  тыс руб./кВт.

В общем виде удельная стоимость различных систем иллюстрируется нижеприведенным рисунком. Очевидно, что в зависимости от принятых решений и декларируемых цен представленные соотношения могут принципиально измениться.



**Рис. 44.** Удельные капитальные вложения в рассматриваемые варианты теплоснабжения (для условий Москвы)

1 – ТНУ «воздух-вода», с дублирующим электродкотлом, 2 – ТНУ «воздух-вода» с системой «теплый пол» и пиковым электродкотлом, 3 – ТНУ «воздух-воздух» с пиковым конвектором, 4 – геотермальная ТНУ с пиковым конвектором, 5 – единственный электродкотел, 6 – единственный газовый котел. I – электродкотел, газовый котел, радиаторы, II – электроподстанция, ГРП, III – бурение, IV – ТНУ.

Удельная стоимость собственно ТНУ (часть IV на графике) в зависимости от мощности иллюстрируется графиком на следующем рисунке.

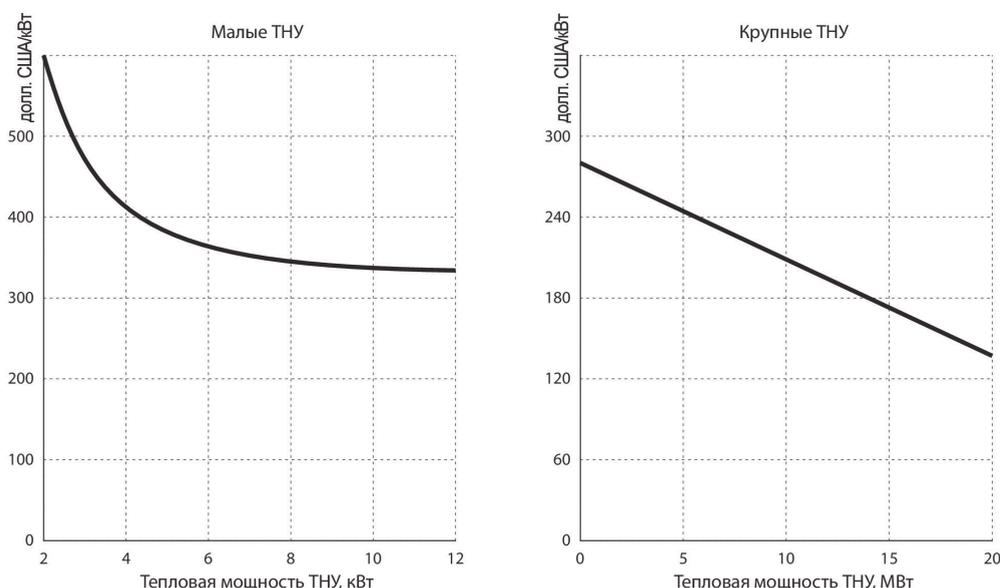


Рис. 45. Примерная зависимость удельных капвложений в малые и крупные ТНУ от их установленной тепловой мощности

Несмотря на неоднозначность оценок, четкий алгоритм действий и максимальный учет индивидуальных факторов проекта позволяют в результате достичь результата, приближенного к достоверному, и позволяющего оценить целесообразность проектного решения.

## 8.2. Роль государственного регулирования

Можно выделить два направления в применении ТНУ – первое развивается самостоятельно благодаря совершенствованию техники и повышению экономической, и требуется разве что объективное информирование потребителя. Это вариант принятия решения конечным потребителем.

Второе направление требует определенной поддержки, в т.ч. на государственном уровне. Для объектов, где государство является владельцем или потребителем речь может идти о требованиях к проектным и эксплуатирующим организациям

принимать энергоэффективные решения. Пример – принятие требований аналогично требованиям по теплозащите.

Пример в области регулируемых цен и тарифов – если для применения ТНУ в централизованной системе теплоснабжения с утвержденными тарифами нужно оформить распределение выгоды между теплоснабжающей организацией и потребителем. Без такого решения теплоснабжающая организация не получает нового потребителя (если он отказывается от реализации проекта или принимает решение об автономном теплоснабжении), а потребитель вынужденно имеет повышенные эксплуатационные расходы.

Производителям необходима помощь государства в создании рынка тепловых насосов за счет модернизации государственных объектов и использования ТН в новом строительстве, где это возможно, а также (требует обсуждения) утверждение выгодного тарифа на электроэнергию при установке ТН. Возможно, целесообразным окажется предоставление со стороны государства налоговых или иных льгот для компаний, установивших тепловые насосы.

При этом необходимо сделать процедуру получения этих льгот доступной и понятной. Также большим толчком будет предоставление кредитов с низкой процентной ставкой или выгодные условия лизинга. Именно о подобных стимулирующих мерах говорят установщики теплонасосного оборудования, а также о необходимости уделять большее внимание подготовке специалистов в рассматриваемой области.

Еще одно направление работы касается теплонасосной техники большой мощности. Для развития этого направления потребуются внесение изменений в нормативные документы, возможен пересмотр региональных программ энергосбережения, планы по замене дизельных и электрических котельных по регионам. На основе сводного плана регионов станет возможным формирование рынка для производителей ТН и тепловых аккумуляторов, а это означает развитие отечественных технологичных производств.

Следующее направление – сформировать справочники лучших практик, в т.ч. для представителей госструктур, где содержатся основные данные о применении ТНУ: процентное соотношение ТН в общей потребляемой мощности в тех или иных типовых проектах, данные расчетов по сокращению городских, муниципальных и затрат из прочих из бюджетов при массовом внедрении типовых решений.

Также для формирования инициативных документов нужно определить и именовать регионы, где могут быть оптимально внедрены решения, использующие ТН большой мощности. Прежде всего, это регионы с большим уровнем привозного топлива и высокой стоимостью его доставки, регионы, в которых есть водные

объекты (крупные реки и озера, моря, большие объемы грунтовых вод), южные регионы, где логична замена электрического нагрева воды тепловыми насосами и охлаждение ими зданий. Есть также стратегическая позиция, согласно которой тепловые насосы большой мощности могут быть внедрены везде, где имеется потребление электрической энергии как таковое и автоматически сбрасывается в атмосферу тепловая энергия<sup>2</sup>.

Свой вклад призвана внести также работа по сертификации специалистов, разработке профессиональных стандартов, техническому регулированию и стандартизации оборудования.

### 8.3. Организационные аспекты проектирования систем с ТНУ

Серьезной преградой на пути широкого внедрения тепловых насосов в России является отсутствие нормативных и рекомендательных документов, регламентирующих процесс проектирования, согласования и установки данного типа оборудования. Законотворчество в разрезе возобновляемой энергетики направлено, в основном, на поддержку хорошо известных технологий, таких как солнечные фотоэлектрические батареи, гидроэлектростанции, ветроэлектростанции. Тепловые насосы остаются в тени.

Отсутствуют какие-либо федеральные, региональные или муниципальные программы по поддержке развития теплонасосного сегмента в России. В связи с этим процедура согласования проектов по установке тепловых насосов абсолютно непрозрачна, требует большого количества времени и усилий. При этом результат такого согласования зависит исключительно от субъективного мнения экспертов.

Как уже было показано, экономически обосновать применение теплонасосного оборудования для нужд тепло- и холодоснабжения зданий гораздо проще в тех случаях, когда на объекте отсутствуют привычные виды топлива типа природного газа, для обогрева в отопительный период используются электродоты, а о кондиционировании воздуха заказчик даже не позволяет себе мечтать, боясь дополнительных расходов.

Если добавить к этому стремление экономить на каждом этапе строительства, в том числе на эффективной тепловой защите зданий, в лучшем случае обеспечи-

---

<sup>2</sup> По материалам III-й Отраслевой научно-практической конференции по тепловым насосам «Тепловые насосы большой мощности: внедрение и эксплуатация», организованной и проведенной журналом С.О.К. в рамках выставки Aqua-Therm Moscow 2016. [http://www.c-o-k.ru/market\\_news/konferenciya-sok-po-teplovyim-nasosam](http://www.c-o-k.ru/market_news/konferenciya-sok-po-teplovyim-nasosam)

вая её нормативный уровень, а возросшие затраты по эксплуатации здания просто перекладывать на будущих собственников, картина только ухудшается. Кроме того, не стоит сбрасывать со счетов традиционную «нелюбовь» проектировщиков к низкотемпературным системам отопления, наиболее эффективным при использовании тепловых насосов.

Есть проблемы с технической литературой для проектирования систем с ТНУ: как правило, это переводные инструкции по проектированию и монтажу теплонасосных установок. Наибольшее распространение получили немецкие методические пособия, поскольку они наиболее подробно и доступно описывают весь процесс. Это действительно лучшие пособия, но есть нюанс, который не дает безусловно рекомендовать их в качестве практических инструкций по установке тепловых насосов в России: они ориентированы на климат Западной Европы. Практически нет технической литературы по теплонасосным установкам для российских условий, ориентированной на инженера-проектировщика и тем более – на монтажника.

Ключевые проблемы, которые необходимо оперативно решать – это отсутствие по многим позициям российских комплектующих, неполнота нормативной базы, отсутствие сервисной поддержки у многих производителей.

## 8.4. Оценка косвенных и системных эффектов применения ТНУ

Для «частного» пользователя ТНУ косвенные эффекты индивидуальны и оцифровать их гораздо сложнее. Но такой потребитель может принять решения и без формализации результатов. В то же время для потребителей в составе промышленности, и в особенности для объектов, где государство является владельцем или потребителем, определение дополнительных преимуществ может иметь решающее значение. Перечислим некоторые из таких эффектов:

- меньшая зависимость от поставок топлива в условиях дефицита и растущей стоимости, утилизация низкопотенциальной теплоты в промышленности создает предпосылки для снижения себестоимости выпускаемой продукции (примеры – объекты тепло- и водоснабжения);

- рациональное использование электроэнергии вместо различных электронагревателей и электродкотлов – это снижение расчетной нагрузки и платы за техприсоединение;

- оптимизация систем централизованного теплоснабжения (см. раздел 5 о присоединении новых потребителей к ТЭЦ в условиях ограниченной пропускной способности тепломагистралей);

– дополнительный эффект от ТНУ, работающих совместно с аккумуляторами теплоты и потребляющих электроэнергию в период ночного провала суточного графика электрической нагрузки в энергосистеме, когда достигается обоюдная экономическая выгода: для ТНУ – за счет понижающей платы за электроэнергию по ночному тарифу, а для энергосистемы – за счет снижения себестоимости производимой электроэнергии выравнивании и уплотнения графика электрической нагрузки;

– возможность выбора привода для ТНУ, как например детандер-генераторных установок, использующих избыточное давление природного газа в газоснабжающей системе; гидроэнергетических установок, в т.ч. использующих избыточное давление воды в системе городского водоснабжения и водоотведения; ветроэнергетических установок, двигателей внутреннего сгорания и паропоршневых установок;

– применение ТНУ в комбинации с такими нетрадиционными теплоисточниками, как солнечные коллекторы, биоэнергетические установки, установки по переработке и сжиганию твердых бытовых отходов.

В настоящее время нет общепризнанной методики экономических обоснований эффективности применения ТНУ, но очевидно, что для принятия долгосрочных технических решений нужны устойчивые долгосрочные критерии, которые бы в полной мере отражали технико-экономические преимущества предлагаемого варианта.

Эффекты могут быть тем разнообразнее, чем шире границы рассматриваемой и проектируемой системы. Так, на уровне государства вряд ли имеет смысл стимулировать массовую установку импортных тепловых насосов, в то время как одновременная поддержка отечественных производителей даст мультипликативные эффекты в части развития высокотехнологичных производств, новых рабочих мест, налоговых поступлений, кроме понятных эффектов оптимизации систем тепло- и холодоснабжения и повышения экологической и энергетической эффективности.

Пожалуй, основной проблемой является отсутствие четкой стратегии в отношении технологии ТНУ в России. Для ее появления необходимо определиться с потенциалом развития ТНУ по регионам в различных отраслях, оценить возможности разворачивания отечественных производств.

Очевидно, что простых решений и короткого пути преодоления этих проблем нет. Частично они решаются – как в части экономики (снижение стоимости установок и их техническое совершенствование, доступность кредитов), так в технических вопросах. Для применения ТНУ на уровне отдельных объектов, прежде всего

«проблемных» с точки зрения обеспечения традиционными источниками энергии, этого может быть достаточно.

Для масштабного применения, которое может дать определенный эффект в интересах общества (государства), этого недостаточно. Здесь вопрос не в частных бытовых установках, так как наиболее ощутимый эффект тепловые насосы приносят именно в промышленности и ЖКХ.

Сегодня в России речь идет о достижении экономического роста, потребности в освоении пространства с разными климатическими условиями, соответствующем строительстве больших объемов жилья и эффективных производственных мощностей. Рациональное применение ТНУ в этих случаях вполне может способствовать более эффективным решениям, приводящим к различным системным (мультипликативным) эффектам.

## 9. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Развитие ТНУ для России уже сегодня имеет ряд преимуществ самого разного плана: экономия топлива и выбросов в атмосферу, сокращение издержек на теплоснабжения, утилизация тепловых отходов и стоков.

### Экономия энергии, капитальных затрат на инфраструктуру:

- получение тепловой энергии непосредственно на месте установки оборудования;
- не требуется прокладки топливных (газовых) магистралей, организации складов топлива и систем дымоудаления или золоудаления;
- универсальность по отношению к виду первичной энергии (ТНУ используют различные источники низкопотенциальной энергии природного или техногенного происхождения);
- рациональная утилизация сбросного тепла энергетических и производственных процессов;
- высокая экологичность эксплуатации в расчетных режимах работы;

### Другие универсальные системные преимущества:

- преимущества при схемных решениях в рамках систем централизованного теплоснабжения, например, при присоединении новых потребителей;
- возможность обеспечить тепловой энергией объекты, не подключенные к централизованным системам теплоснабжения, а также удаленные регионы и объекты;
- возможность одним технологическим решением обеспечить климат-контроль разных объектов – как отопление в холодные сезоны, так и холодоснабжение в теплые;
- возможность загрузки электрогенерирующего оборудования в часы «ночного провала» как шаг в сторону «Умного города».

Это свидетельствует о том, что в процессе принятия решения о целесообразности использования ТНУ необходимо учитывать самые разные преимущества и положительные эффекты.

Вместе с тем при активном использовании ТНУ немало и ограничений (технических, экономических, организационных), также носящих междисциплинарный характер, что не позволяет выделить какие-то универсальные механизмы их снятия.

Таблица 9.  
Ключевые проблемы активного внедрения ТНУ и их взаимоувязка

Экономические	Технические	Организационные
<p>Высокая стоимость оборудования (преимущественно импортного), отсутствие каких-либо субсидий или льгот для владельцев, установивших тепловые насосы</p>	<p>Многообразие региональных климатических, тарифных, инфраструктурных и геологических условий, доступных источников теплоты и технических решений на базе разных типов ТНУ делает невозможным создание типовых проектов применения ТНУ. Необходимым является подготовка тщательного и дорогостоящего технико-экономического обоснования каждого проекта с ТНУ</p>	<p>Недостаточная нормативная база, технические регламенты, стандарты, дефицит эмпирических данных о российских проектах, альбомов лучших практик</p>
<p>Относительно низкая стоимость топлива (в особенности магистрального газа) при относительно высоких тарифах на электроэнергию отрицательно сказываются на экономике проектов с ТНУ</p>	<p>Ограничения по использованию ряда типов ТН по климатическим условиям в регионах средней полосы и севера России (более низкая рабочая температура требует дополнительных расчетов и обоснований, особенно при реконструкции работающих систем теплоснабжения)</p>	<p>Ограниченное отечественное производство и отсутствие российских комплектующих, (качественных компрессоров)</p>
<p>Высокие процентные ставки по кредитам на дорогое оборудование</p>	<p>Неоднородность потенциала ТНУ в региональном разрезе как в плане природных (водоемы, почва, геотермальное тепло), так и техногенных (стоки, вентвыбросы и др.) источников</p>	<p>Отсутствие сервисной поддержки у многих производителей</p>
<p>Низкая рентабельность проектов «ТН как есть», необходимость нестандартных технических решений (по аккумулярованию тепла, использованию низкопотенциального тепла)</p>	<p>Необходимость обеспечить высокую надежность теплоснабжения от ТНУ при возможных перебоях с электроснабжением может потребовать как независимого второго ввода электроэнергии так и установки дублирующего резервного оборудования на топливе, возможные ограничения по пропускной способности питающих центров и линий электропередач, особенно в сельской местности</p>	<p>Сложность и непрозрачность получения электрической мощности для работы ТНУ в энергосбытовых организациях</p>

Поэтому системно речь должна идти не столько о прямой финансовой поддержке проектов с ТНУ, сколько о сокращении препятствий к их применению. Если частник принимает решение об использовании тепловых насосов на свой страх и риск, то в проекты жилых многоквартирных домов и промышленных объектов путь тепловых насосов сложнее:

- Решение о применении ТНУ (или по крайней мере о рассмотрении такого варианта как альтернативы традиционному) должен принять заказчик проекта, но он может быть недостаточно информирован о преимуществах технологии.
- Экономический и экологический эффект обеспечивается при эксплуатации, но стоимость и сроки строительства могут быть выше. Если заказчик не задействован в последующей эксплуатации, он и не заинтересован в применении ТНУ (скорее, заинтересован в неприменении!).
- Проектная организация (в особенности генпроектная) также может быть недостаточно информирована о преимуществах технологии, более того – о необходимости учета особенностей в смежных разделах.
- Экспертиза при недостатке нормативной документации, а для рассмотрения смет – при отсутствии сборников цен и аналогов усложнена и непредсказуема.

При этом, подобные проекты могут оказаться незаменимыми для развития, например, Крымского полуострова, где проблемы энергетики могут иметь и стоимостную оценку – в плане повышения стоимости энергоносителей или мощности, которая определит преимущества ТНУ.

Основные предложения определены приведенными выше проблемами и включают:

- Целевое информирование структур, связанных с сооружением новых объектов и выпуском технической продукции, о новых технологиях с рекомендациями их реализации.
- Системное создание нормативной базы для проектирования систем с ТНУ.
- Формирование базы данных по реализованным проектам с ТНУ и их технико-экономическими показателями для информирования пользователей, в частности энергосервисных организаций.

В качестве стимулирующей меры внедрения ТНУ может выступить введение ограничений на прямое использование электроэнергии на обогрев (электрокотельных или электрокалориферов, начиная с определенной мощности) для компаний с государственным участием. Наличие госзаказа несомненно подстегнет и поддержит отечественного производителя ТНУ различной мощности. Нет сомнения, что у тепловых насосов в России есть большой потенциал и перспективы солидного роста в самое ближайшее время.

## 10. БИБЛИОГРАФИЯ

1. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715-р. «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 № 637 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам высокой энергетической эффективности в зависимости от применяемых технологий и технических решений и вне зависимости от характеристик объектов, осуществление инвестиций в создание которых является основанием для предоставления инвестиционного налогового кредита, и перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам высокой энергетической эффективности на основании соответствия объектов установленным значениям индикатора энергетической эффективности, осуществление инвестиций в создание которых является основанием для предоставления инвестиционного налогового кредита»
3. Постановление Правительства РФ от 17 июня 2015 г. № 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности»
4. Ведомственные строительные нормы ВСН 56-87 «Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. Нормы проектирования» (утв. приказом Госкомархитектуры СССР от 27 октября 1987 г. N 328).
5. ГОСТ Р 53905-2010 «Энергосбережение. Термины и определения».
6. ГОСТ Р 54671-2011 «Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для обогрева и охлаждения помещений. Термины и определения»
7. Распоряжение ОАО «РЖД» от 24.12.2012 №2674р. Об утверждении стандарта ОАО «РЖД». Система управления энергоэффективностью производственных процессов. Основные положения.
8. Стандарт ОАО «РЖД» «Политика управления топливно-энергетическими ресурсами» СТО РЖД 1.21.002-2008. Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.04.2010 г. №775р.
9. Рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения нетрадиционных солнечных и солнечно-теплонасосных систем теплоснабжения на гражданских и промышленных объектах. М., 1987 г., ЦНИИЭП инж. оборудования.
10. Абуев И. М., Системы теплоснабжения с применением тепловых насосов // Материалы Конференции «Малые и средние ТЭЦ. Экономика малой энергетики и проблемы инвестиций. Практический опыт». 12-14 сентября 2006 г. , [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=760](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=760)

11. Анциборов А.А., Сокульский Н.Н., Иваненко М.Г., Пузаков В.С., Сущенко В.В., Особенности теплоснабжения южных городов на примере Таганрога // журнал «Энергосовет» № 3 (40) 2015 г., [http://www.energosoвет.ru/bul\\_stat.php?id=534](http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?id=534)
12. Бабакин Б.С., Хладагенты: история появления, классификация, применение //, интернет-газета «Холодильщик.ру», [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_1\\_2005\\_Freon.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_1_2005_Freon.htm)
13. Беляев В.Е., Косой А.С., Соколов Ю.Н., Теплонасосные установки нового поколения и их использование в качестве высокоэффективной энергосберегающей и экологически чистой энерготехнологии для горячего водоснабжения // Журнал «Новости теплоснабжения» № 08 (72), 2006 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2386](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2386)
14. Бернев В. В., Козлов С. А., Митрофанов В. Е., Платонов А. С., Фотькин С. Б., Особенности национального теплоснабжения // журнал «С.О.К.» – 2005. – № № 5–7.
15. Богданов А. Б. Котельнизация России - беда национального масштаба (часть 1-3), портал РосТепло.ру, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=795](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=795)
16. Васильев Г.П., Крундышев Н.С., Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области // Журнал “АВОК” за №5, 2002 г.
17. Васильев Г.П., Абуев И.М., Горнов В.Ф., Автоматизированная теплонасосная установка, утилизирующая низкопотенциальное тепло сточных вод г. Зеленограда // журнал “АВОК” №5, 2004 г., [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?id=2531](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?id=2531)
18. Волгоградская область: энергосбережение с помощью ZUBADAN // Вестник «ЮНИДО в России» №3, [http://www.unido-russia.ru/archive/num3/art3\\_7/](http://www.unido-russia.ru/archive/num3/art3_7/)
19. Гершкович В.Ф., Исследование работы теплового насоса, использующего теплоту грунта и канализационных стоков, в системе горячего водоснабжения // Журнал «Новости теплоснабжения» №7 (83), 2007, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2465](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2465)
20. Гершкович В.Ф., Литовченко А.К., Оценка эффективности использования в тепловом насосе тепла из обратного трубопровода тепловой сети при теплоснабжении от ТЭЦ// «Новости теплоснабжения» №01 (125) 2011 г.
21. Гершкович В.Ф., От централизованного теплоснабжения - к тепловым насосам // Журнал «Новости теплоснабжения» №11 (123) 2010 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2811](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2811)
22. Говорин А.В. Воздушные ТН. Варианты применения и эксплуатации // Журнал«СОК» №10, 2014, <http://www.c-o-k.ru/articles/vozdushnye-tn-varianty-primeneniya-i-ekspluatacii>

23. Горнов В., К вопросу применения воздушных теплонасосных систем в России // Журнал «СОК» №6, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/k-voprosu-primeneniya-vozdushnyh-teplonasosnyh-sistem-v-rossii>
24. Горнов В.Ф., Теплонасосные системы теплохолодоснабжения – опыт проектирования // журнал “АВОК” №8, 2015 г., [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6270](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6270)
25. Давыдов А.Н., Иньшаков А.В., Повышение энергетической эффективности объектов ОАО «РЖД»// Журнал «Энергосбережение» 2016 №8 [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6552](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6552)
26. Девянин Д.Н. Пищиков С.И. Соколов Ю.Н., Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования тепловых насосных установок в энергетике // Журнал «Новости теплоснабжения», № 01, 2000 г., <http://www.energsovet.ru/stat146.html>
27. Дитин Н.Н., Заметки с III Отраслевой конференции по тепловым насосам большой мощности // Журнал «СОК» №5, 2016, <http://www.c-o-k.ru/articles/zametki-s-iii-otraslevoy-konferencii-po-teplovym-nasosam-bolshoy-moschnosti>
28. Дитин Н.Н., Теплонасосные технологии требуют внимания государства // ЖУРНАЛ «СОК» №6, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/teplonasosnye-tehnologii-trebuyut-vnimaniya-gosudarstva>
29. Дубровский С.В., Отопление удаленной канализационной насосной станции тепловым насосом // Журнал «Новости теплоснабжения» №02 (150) 2013 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3080](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3080)
30. Европейский рынок тепловых насосов // Журнал “АВОК” за №7/2016, [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6506](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6506)
31. Жариков В.А., Климатические системы пассажирских вагонов, // М.: ТРАНСИНФО, 2006. – 135 с. <http://wagon.uz/elektronnaya-biblioteka/564-жариков-в-а-климатические-системы-пассажирских-вагонов---м-трансинфо,-2006---135-с.html>
32. Жарков Т., Об эффективности и окупаемости тепловых насосов // Журнал «СОК» №5, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/ob-effektivnosti-i-okupaemosti-teplovyyh-nasosov>
33. Жидович И.С., Трутаев В.И., Системный подход к оценке эффективности тепловых насосов // Журнал «Новости теплоснабжения», № 4, 2002 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=189](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=189)
34. Закиров Д.Г., Будущее - за теплонасосными технологиями // Журнал «Новости теплоснабжения» № 08 (72), 2006 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2378](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2378)

35. Закиров Д.Г., Суханов В.С., Закиров Д.Д., Пути решения проблемы теплоснабжения в коммунальном хозяйстве с использованием тепловых насосов // Журнал «Новости теплоснабжения», № 4, 2002, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=190](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=190)
36. Иванов Б.И., Научкоёмкая техника на службе ресурсосбережения // <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2013-02a05>
37. Использование тепловых насосов для повышения энергоэффективности теплоснабжения потребителей // Журнал «Энергосовет» № 1 (6) за 2010 г., [http://www.energosoвет.ru/bul\\_stat.php?idd=38](http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=38)
38. Калинин М.И., Хахаев Б.Н., Особенности внедрения геотермальных технологий для малоэтажного строительства в России на примере Ярославской области // Журнал «Новости теплоснабжения» № 2(90), 2008, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2060](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2060)
39. Ковалёв О.А., Окупаемость промышленных тепловых насосов // Журнал «СОК» №3, 2016, <http://www.c-o-k.ru/articles/okupaemost-promyshlennyh-teplovyyh-nasosov>
40. Козлов С. А., Колубков А. Н., АБХМ: тепло и холод — без проблем! // журнал «МИР КЛИМАТА» №81 (2013)
41. Козлов С.А., Колубков А.Н., Фотькин С.Б., Инновационная концепция тепло- и холодоснабжения при централизованном теплоснабжении // журнал «АВОК» №7' 2013
42. Королев В.В., Система геотермического обогрева стрелочных переводов // Журнал «Современный научный вестник», [http://www.rusnauka.com/4\\_SND\\_2013/Tecnic/4\\_123757.doc.htm](http://www.rusnauka.com/4_SND_2013/Tecnic/4_123757.doc.htm)
43. Крахмалин И.Г., Люсин Е.Л., Тепловые насосы в системе теплоснабжения, Журнал «Новости теплоснабжения» №7 (83), 2007, <http://www.energosoвет.ru/stat664.html>
44. Ландквист П., Эволюция тепловых насосов // Журнал “Энергосбережение” за №5, 2011 г.
45. Лебедев Н., Как рассчитать и выбрать тепловой насос // журнал «Аква-Терм» №3, 2006 г.
46. Малкин В.А., Тепловые насосы большой мощности на юге России // Журнал «СОК» №5, 2016, <http://www.c-o-k.ru/articles/teplovyye-nasosy-bolshoy-moschnosti-na-yuge-rossii>
47. Мартынов А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения // Журнал «Новости теплоснабжения» №7 (71), 2006 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2390](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2390)

48. Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б., Остапчук В.Н., Богданович Л.С., Клепанда А.С., Альтернативная система теплоснабжения на базе теплового насоса с грунтовым теплообменником // Журнал «Новости теплоснабжения» №1 (101), 2009 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2645](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2645)
49. Милова Л., Геотермальные тепловые насосы. Обзор рынка // Журнал «СОК» №10 / 2012, <http://www.c-o-k.ru/articles/geothermal-nye-teplovye-nasosy-obzor-rynka>
50. Михайлов С.Л., Опыт Финляндии и препятствия внедрению тепловых насосов большой мощности в России // Журнал «СОК» №3, 2016 <http://www.c-o-k.ru/articles/opyt-finlyandii-i-prepyatstviya-vnedreniyu-teplovyyh-nasosov-bolshoy-moschnosti-v-rossii>
51. Науменко С.Н., Минаев Б.Н., Филиппов М.Д., Костин Перспективы Н.М., Исползования тепловых насосов на горочных комплексах железных дорог // Вестник ВНИИЖТ, 2012 №4, с.25-29
52. Обзор рынка тепловых насосов «воздух-вода» в 2015 году // Журнал «Мир климата» №99, [http://www.apic.ru/vozmozhnosti\\_apik/marketing/4411/](http://www.apic.ru/vozmozhnosti_apik/marketing/4411/)
53. Петин А. Ю., Тепловые насосы в теплоснабжении // журнал «Новости теплоснабжения», № 11 (15) ноябрь 2001, С. 42 – 43, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=183](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=183)
54. Петросян А.Л., Барсебян А.Б., Перспективы совместного применения тепловых насосов и низкотемпературных солнечных коллекторов // Журнал «Новости теплоснабжения» №01 (113) 2010 г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2744](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2744)
55. Попов А.А., Тепловые насосы в России: экономический аспект // Журнал «СОК» №7, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/teplovye-nasosy-v-rossii-ekonomicheskii-aspekt>
56. Попов А.В., Анализ эффективности различных типов тепловых насосов // Журнал «Проблемы энергосбережения» №1-2, август 2005г., <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/2/>
57. Проценко В.П., Горшков В.Г., Осипович С.В., Об опыте использования тепловых насосов в Чувашской Республике // «Новости теплоснабжения», №1, 2003г., [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=499](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=499)
58. Пруненко К.П., Установка тепловых насосов в России: практический опыт // Журнал «СОК» №11, 2013 <http://www.c-o-k.ru/articles/ustanovka-teplovyyh-nasosov-v-rossii-prakticheskii-opyt>
59. Пузаков В.С., «Облачные» технологии – энергоемкий потребитель или эффективный источник теплоснабжения? // Журнал «Новости теплоснабжения» № 2, 2017 г.

60. Райх В., Эволюция теплонасосного оборудования // Журнал«СОК» №3, 2012, <http://www.c-o-k.ru/articles/evolyuciya-teplonasosnogo-oborudovaniya>
61. Серегина Ю.С., Щукина Т.В., Ковалёв И.И., Влияние полифункциональности на энергоэффективность геотермальных тепловых насосов // Журнал «СОК» №9, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/vliyanie-polifunktionalnosti-na-energoeffektivnost-geotermalnyh-teplovyyh-nasosov>
62. Стимулирование рынка тепловых насосов «воздух — вода» в Китае (Журнал «Мир климата» №86) [http://www.apic.ru/vozmozhnosti\\_apik/marketing/stimulirovanie\\_rinka\\_tn/](http://www.apic.ru/vozmozhnosti_apik/marketing/stimulirovanie_rinka_tn/)
63. Султангузин И.А., Потапова А.А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения // Журнал «Новости теплоснабжения» №10 (122) октябрь 2010 г, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2363](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2363)
64. Султангузин И.А., Потапова А.А., Говорин А.В., Албул А.В., Тепловые насосы для российских городов // Журнал “Энергосбережение” за №12011, [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4833](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4833)
65. Султангузин И.А., Федюхин А.В., Шомов П.А., Тепловые насосы: кадры, стимулирование применения, теплоснабжение // Журнал «СОК» №6, 2015, <http://www.c-o-k.ru/articles/teplovye-nasosy-kadry-stimulirovanie-primeneniya-teplosnabzhenie>
66. Талцис Н., Церс А., Плискачев С., Дзелзитис Э., Турлайс Д., Опыт утилизации низкопотенциального тепла с использованием абсорбционного теплового насоса // Журнал «Новости теплоснабжения» №05 (129) 2011 г., <http://www.combienergy.ru/stat/1241-Opyt-utilizacii-nizkopotencialnogo-tepla-s-ispolzovaniem>
67. Технологии и системы использования низкотемпературных и возобновляемых источников теплоты // Журнал «Проблемы Энергосбережения», Выпуск 12, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=321](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=321)
68. Трубаев П.А., Гришко Б.М., Тепловые насосы: учеб. пособие // Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 143 с.
69. Трушевский С.Н. Термоскважины для теплонасосов: экологический аспект // Журнал«СОК» №1, 2014, <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt>
70. Трушевский С.Н. ТН и ТНУ: мифы и реалии // Журнал«СОК» №1, 2014, <http://www.c-o-k.ru/articles/tn-i-tnu-mify-i-realii>
71. Трушевский С.Н., Анализ низкотемпературных источников тепловой энергии средней полосы России для тепловых насосов // Журнал «Новости теплоснаб-

- жения» №07 (155) 2013 г. , [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3139](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3139)
72. Филиппов М.Д., Особенности и эффективность применения теплонасосных установок для отопления зданий сортировочных горок железнодорожного транспорта // «Вестник Международной академии холода», <http://vestnikmax.ifmo.ru/file/article/11877.pdf>
  73. Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С., Перспективы применения тепловых насосов в России // журнал «Энергосовет» № 5 (18) за 2011 г. [http://www.energosoвет.ru/bul\\_stat.php?id=215](http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?id=215)
  74. Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д., Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях // Журнал «Теплоэнергетика» № 11, 2012 г., [https://www.eriras.ru/files/filippov-tjeploenjergjetika\\_11\\_2012\\_vtnu.pdf](https://www.eriras.ru/files/filippov-tjeploenjergjetika_11_2012_vtnu.pdf)
  75. Фролов В. П., Щербаков С.Н., Фролов М.В., Шелгинский А.Я., Эффективность использования тепловых насосов в централизованных системах теплоснабжения // журнал «Новости теплоснабжения», № 07 (47), июль 2004, [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=1966](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1966)
  76. Фролов В.П., Фролов М.В., Шелгинский А.Я., Эффективность использования тепловых насосов в централизованных системах теплоснабжения// журнал «Новости теплоснабжения» №07, 2004 г.
  77. Чаховский В.М., Технические возможности и условия эффективности применения тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения в городских условиях // доклад на круглом столе «Геотермальные и воздушные тепловые насосы. Текущая ситуация и перспективы их использования в России» 5 февраля 2015 г.
  78. Шабанов В.Е., Применение кольцевых теплонасосных систем // Журнал "АВОК" №4, 2006 г.
  79. Шилкин Н.В., Системы отопления на базе теплонасосных установок. Подмосковный опыт // журнал "Сантехника" за №4, 2012
  80. Шпильрайн Э.Э., Проблемы и перспективы возобновляемой энергии в России // Материалы Пятого Международного Форума «Высокие технологии 21 века», [www.hitechno.ru](http://www.hitechno.ru)

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Расчет ТНУ с солнечной энергией в качестве НТИТ

В работе С.Н. Трушевского [71] предложен следующий расчет: в схеме на рисунке 1 испаритель 3 теплового насоса отбирает теплоту («холодный» источник) фотоэлектрического преобразователя 2, облучаемого лучистым потоком  $Q$  от концентратора 1 солнечного излучения. Электроэнергия  $W$  от ФЭП поступает на привод компрессора 4, где происходит повышение давления и температуры теплоносителя, который затем поступает в конденсатор 5, и его теплота, включающая  $W$ , через теплообменник 6 передаётся на тепловую нагрузку 7. Охлаждённый теплоноситель проходит через регулирующий вентиль (детандер) 8 в жидком виде вновь поступает в испаритель 3.

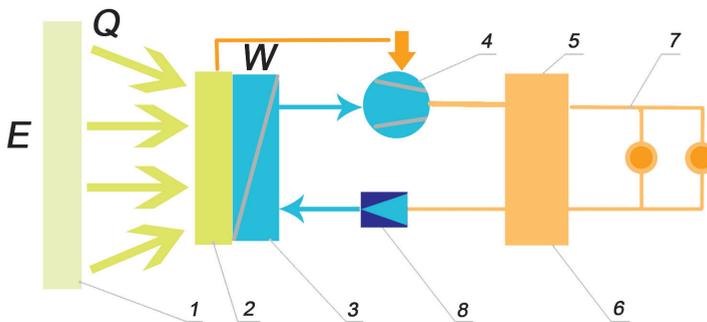


Рис. 1п. Схема системы тепло- и электроснабжения с концентратором, ФЭП и тепловым насосом: 1 - концентратор солнечного излучения; 2 - ФЭП; 3 - испаритель; 4 - компрессор; 5 - конденсатор; 6 - теплообменник; 7 - нагрузка; 8 - регулирующий вентиль

При концентрации солнечного излучения получаются высокие плотности теплового потока и, соответственно, температуры нагреваемого тела, чего не нужно для теплового насоса. Однако, если сконцентрированный поток падает на фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), КПД которого зависит от температуры, то есть искушение его охладить, получить больше электроэнергии, а на выходе ТН – нагретый теплоноситель. КПД ФЭП зависит от температуры:

$$\eta = \eta_0 [1 - k(T_f - T_0)] \quad (1)$$

где  $\eta_0$  – КПД ФЭП при стандартной температуре  $T_0 = 298 \text{ K}$ ,

$T_f$  – температура ФЭП, К;

$k$  – температурный коэффициент ( $k < 0,003$ ).

Рассмотрим такую систему тепло- и электроснабжения.

Электроэнергия  $W$  от ФЭП поступает на привод компрессора 4, где происходит повышение давления и температуры теплоносителя, который затем поступает в конденсатор 5 и его теплота, включающая  $W$ , через теплообменник 6 передаётся на тепловую нагрузку 7. Охлаждённый теплоноситель через регулирующий вентиль (детандер) 8 в жидком виде вновь поступает в испаритель 3.

Коэффициент преобразования теплового насоса обратного цикла Карно определяется как [1]:

$$\xi = T_f / (T_h - T_f), \quad (2)$$

где  $T_h$  – температура нагрева теплоносителя для потребителя (верхняя точка цикла Карно),  $K$ , а для реального процесса

$$\xi_p = v T_h / (T_h - T_f), \quad (3)$$

где  $v$  - степень термодинамического совершенства реального процесса.

Коэффициент использования первичной энергии системой ФЭП+ТН, начиная с приходящего от концентратора лучистого потока  $Q$  к ФЭП до конденсатора, определяется как произведение (1) на (2)

$$\Psi = \eta \cdot \xi_p \quad (4)$$

Результаты расчётов по (1), (2) и (4) коэффициентов полезного действия ФЭП, преобразования теплового насоса и использования первичной энергии системой для широкого диапазона температур ФЭП приведены в табл. 4. Для расчётов приняты следующие значения параметров:  $\eta_0=0,15$ ,  $k=0,0025$ ,  $T_f=0=322$  К.

Таблица 1п

**Зависимость КПД ФЭП  $\eta$ , преобразования теплового насоса  $\xi$  и использования первичной энергии системой  $\Psi$ , а также нагрева  $T_h - T_f$  от температуры ФЭП  $T_f$  при температуре нагрева  $T_h = 323$  К**

$T_f$	$\eta$	$\xi$	$\Psi$	$T_h - T_f$
0	0,284	1	0,28	323
100	0,239	1,45	0,35	223
200	0,194	2,63	0,51	123
250	0,172	4,42	0,76	73
273	0,161	6,46	1,04	50
293	0,152	10,77	1,64	30
298	0,15	12,92	1,96	25
310	0,145	24,85	3,59	13
313	0,143	32,3	4,63	10
320	0,14	107,67	15,08	3
322	0,139	323	44,96	1

Температура теплоносителя у потребителя принята, в качестве примера, равной  $T_n = 323 \text{ K}$  ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ), как наиболее распространённая в низкотемпературных отопительных системах с использованием ТН.

Как видно из таблицы, в приемлемом диапазоне рабочих температур ФЭП от 273 до 313 К значение коэффициента использования первичной энергии больше единицы (1,04 – 4,63). Однако с учётом того, что система генерирует энергию, поступающую только от ФЭП, в отличие от поступления энергии из неограниченной окружающей среды, коэффициент  $\Psi$  не может превышать единицу. Отметим также, что с уменьшением разности температур  $T_n - T_f$  существенно возрастает  $\xi$ , и разность не должна превышать 40–50 $^\circ\text{C}$ .

Оценим фактическое значение  $\Psi$  в реальной системе. Предположим, что на концентратор 1 с площадью 1 м<sup>2</sup> поступает суммарная солнечная радиация  $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$ , тогда на ФЭП поступит концентрированный лучистый поток  $Q \approx 750 \text{ Вт}$ , так как не используется диффузная радиация и имеются оптические потери концентратора (условно КПД концентратора  $\eta_k = 0,75$ ). На ФЭП 15%, т.е.  $W = 112,5 \text{ Вт}$ , превращается в электроэнергию, а не менее 25% (187,5 Вт) – в тепловые потери ФЭП как приёмника концентрированной лучистой энергии, т.е. тепловой КПД ФЭП  $\eta_{\text{ФЭП}} = 0,6$ . КПД компрессора примем: электрический  $\eta_{\text{эл}} = 0,95$ , индикаторный  $\eta_{\text{инд}} = 0,5$ . Следовательно, через теплообменник конденсатора в сеть потребителя поступит тепловой поток

$$E_{\text{потр}} = E \cdot \eta_k \cdot \eta_{\text{ФЭП}} \cdot \eta_{\text{инд}} + \eta_{\text{эл}} W \approx 332 \text{ Вт.}$$

Несостоятельность такой системы очевидна. КПД реальной системы составит 0,33, что ниже КПД солнечного коллектора. Как видно из полученных численных значений, мощность ФЭП приблизительно равна мощности, необходимой для привода компрессора.

Расчет процессов теплопереноса из грунта в теплообменник термоскважины

Термоскважина представляет собой теплообменник типа «труба в трубе», погруженный вертикально в грунт с геотермическим градиентом 3 °С/(100 м) и нейтральной глубиной 10 м. Циркулирующий в теплообменнике теплоноситель отбирает тепловую энергию из грунта и подаёт его в теплообменник испарителя теплового насоса. Охлаждённый теплоноситель вновь поступает в скважину [69].

На рисунке изображена расчётная схема термоскважины, где  $d_0$  – диаметр внешней трубы теплообменника,  $d_1$  – диаметр слоя грунта после первого месяца охлаждения (покрытия месячной нагрузки),  $d_2$  – после второго месяца и т.д., вплоть до 12-го месяца –  $d_{12}$ . Следующий за первым второй год эксплуатации начинается с диаметра предыдущего года  $d_{12'}$ , диаметр охлаждённого слоя первого месяца второго года обозначается  $d_{13}$  и т.д., диаметр после  $\tau$  лет эксплуатации  $d_{12\tau}$ .

Таблица 2п

Тепловые нагрузки жилого дома

Показатели, МВт·ч	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Отопительная нагрузка	2,3	2	1,8							1	1,5	2
Нагрузка горячего водоснабжения	0,85	0,77	0,85	0,82	0,85	0,82	0,85	0,85	0,82	0,85	0,82	0,85
Тепловая нагрузка здания	3,2	2,8	2,7	1,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	1,9	2,3	2,9

Расчёты проводились в предположении квазистационарного режима в течение каждого месяца. Массу каждого слоя определяли по формуле

$$m = Q / c_p (t_r - t_x), \tag{5}$$

где  $Q$  – месячная тепловая нагрузка из таблицы,  $c_p$  – удельная теплоёмкость грунта;  $t_r$  и  $t_x$  – средние температуры слоя на границах с неохлаждённым и охлаждённым слоями грунта. Тепловой поток от охлаждаемого слоя к теплообменнику определим как

$$q = \frac{t_r - t_x}{R} \tag{6}$$

где  $t_0$  - средняя температура на внешней оболочке теплообменника;  $R$  - термическое сопротивление от неохлаждённого слоя до теплообменника, например от  $d_{13}$  до  $d_0$ :

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda h} \ln \frac{d_i}{d_0} \quad (7)$$

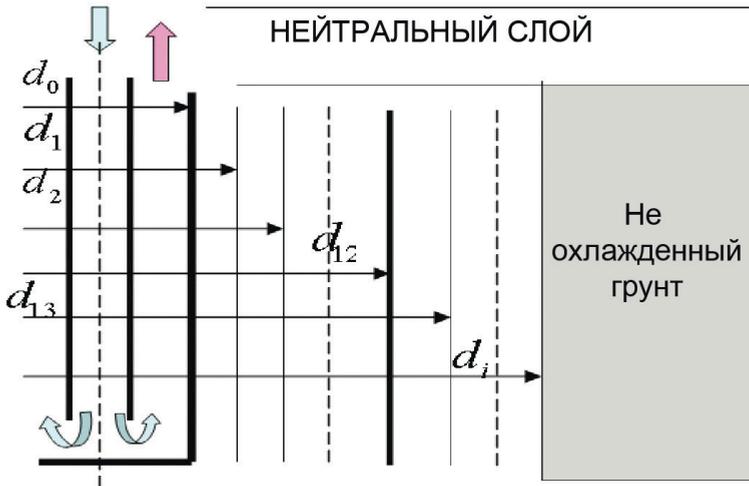


Рис. 2п. Расчётная схема термоскважины. Тепловой поток направлен в противоположном стрелкам направлении от грунта в скважину где  $d_i$  – диаметры  $d_1, d_2, \dots, d_{12r}$ ;  $h$  – высота полого цилиндра (очередного слоя грунта). В качестве грунта рассматривалась гомогенная глина с термическими коэффициентами:  $c_p = 0,838$  кДж/(кг $^{\circ}$ С),  $\gamma = 2000$  кг/м $^3$ ,  $\lambda = 0,928$  Вт/(м К) [12]; температура на входе в испаритель  $t_{вх} = 8^{\circ}$ С, на выходе  $t_{вых} = 1^{\circ}$ С. Масса охлаждаемого за год грунта составляет  $\approx 13\ 000$  тонн.

Расчёты начинались с октября, т.е. с начала отопительного сезона, в предположении полностью естественно прогретого грунта (первый год эксплуатации). В качестве расчётной принималась средняя температура  $t_r$  неохлаждённого грунта, определяемая как средняя по высоте скважины с учётом геотермического градиента  $3^{\circ}$ С/(100 м) и температуры нейтрального пласта земли  $t_n = +8^{\circ}$ С.

Температура внешней оболочки теплообменника  $t_x$  принималась как средняя между температурой  $t_{вых}$  на выходе теплообменника испарителя (низ внутренней трубы теплообменника термоскважины) и температурой нейтрального пласта земли  $t_n$ . Расчёты и графики производились с помощью компьютерной

программы Excel. Зависимость получаемой теплообменником мощности из грунта от глубины скважины для значений  $d_0=0,5$  м,  $t_x=4$ ,  $t_{вх}=8$  и  $t_{вых}=1^\circ\text{C}$  показана на рисунке.

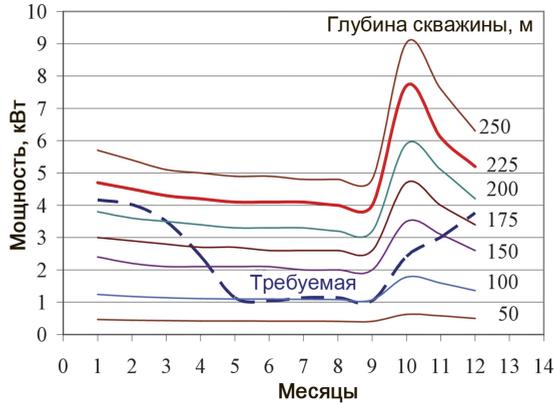


Рис. 3п. Зависимость мощности от глубины скважины в 1-й год эксплуатации

Полное покрытие тепловой нагрузки происходит при глубине скважины  $h \approx 225$  м. Однако на 2-й и каждые последующие годы эксплуатации отопительный период будет начинаться при всё более толстом охлаждённом слое грунта, т.е. при всё увеличивающемся термическом сопротивлении  $R$ . На рис. 4 показано уменьшение мощности скважины глубиной 225 м в течение 40 лет эксплуатации. Как следует из рисунка, на второй год не обеспечивается тепловая нагрузка в отопительный период (октябрь - апрель). На 4 – 5-й годы мощность скважины устанавливается на отметке  $\approx 2,5$  кВт и плавно уменьшается до 2,3 кВт за 40 лет эксплуатации.

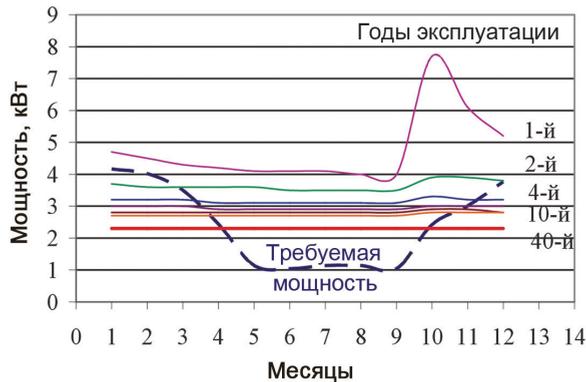


Рис. 4п. Зависимость мощности скважины 225 м от времени эксплуатации

При использовании тепловых насосов рекомендуется применение догревателей, но прежде нужно оценить, какой ценой досталась «бесплатная» теплота грунта. Приведём расход первичной энергии на изготовление трубы 500\*480 мм с длиной 225 м. Масса такой трубы 30 тонн, а удельный расход первичной энергии на прокат чёрных металлов 10,61 МВт·ч/т, т.е. первичные энергозатраты составят 318 МВт·ч, а выработка энергии термоскважиной за 10 лет равна 281 МВт·ч, что составляет только 88% от затрат. Если учесть остальные затраты энергии (бурение и обустройство скважины, сварка труб, изготовление теплообменника, теплового насоса, фильтра, циркуляционного насоса, системы автоматики, монтажные работы, транспорт и т.д.), то можно воспользоваться удельным расходом первичной энергии для переработки исходных материалов в изделие в машиностроительной промышленности:  $67,9 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{т} \times 30 \text{ т} + 318 \text{ МВт}\cdot\text{ч} = 2355 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ . За 40 лет выработка энергии составляет 970 МВт·ч. Тогда при средней генерации 24 МВт·ч/год срок окупаемости составит 98 лет.

Эксергетический КПД произведённой теплоты 0,09, а первичной энергии 0,84. При расчёте сроков окупаемости учитывалась вся полученная от грунта теплота.

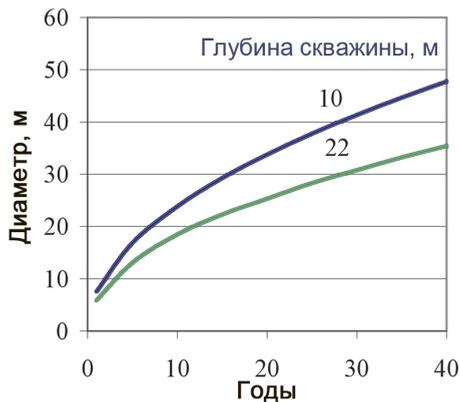


Рис. 5п. Увеличение диаметра охлажденного грунта термоскважины 225 м за годы эксплуатации

Предполагается, что такие системы теплоснабжения являются экологически чистыми. Мы не будем сравнивать количество вредных выбросов при изготовлении и «сэкономленных» при эксплуатации теплонасосной установкой, оно явно будет не в пользу «экономии». Рассмотрим лишь ущерб, наносимый природе в процессе эксплуатации. На рис. 11 показано увеличение диаметра охлаждённого грунта во время эксплуатации. На второй год эксплуатации диаметр составит 8 м, на 5-й – 13,

на 25-й – 28 м, что по площади более «шести соток», а на сороковой – 37 м, т.е. 1100 м<sup>2</sup>, что в 11 раз больше площади дома, а это, по существу, равносильно отчуждению земли. Кроме того, по окончании эксплуатации в земле останутся ржавые трубы с «начинкой».

Как долго будет сказываться влияние охлаждённого грунта на окружающую среду?

Задача о релаксации температуры охлаждённого грунта сводится к нестационарной задаче прогрева неограниченного сплошного цилиндра при заданном радиальном распределении температуры. В начальный момент времени поверхность цилиндра, контактирующая с неохлаждённым массивом грунта, принимает его температуру, которая остаётся постоянной на протяжении всего процесса нагрева.

Необходимо найти распределение температуры внутри цилиндра в любой момент времени. Конечной целью является определение полного времени релаксации, т.е. времени до достижения температуры на оси цилиндра, равной температуре неохлаждённого грунта. Температура  $T_c = 11,5^\circ\text{C}$  определена как средняя по высоте цилиндра 225 м с учётом геотермического градиента  $3^\circ\text{C}/(100\text{ м})$  и температуры нейтрального пласта земли  $+8^\circ\text{C}$ .

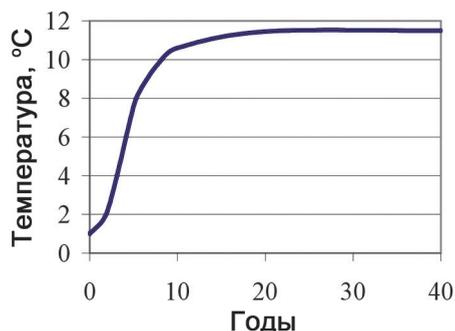


Рис. 6п. Температура на оси цилиндра (охлажденного грунта) при релаксации

Значения  $T(r, 0) = 1^\circ\text{C}$ , как и  $T_0 = 1^\circ\text{C}$ , приняты в предположении, что по окончании работы скважины после 40 лет температура грунта и заполненного теплоносителем теплообменника будут одинаковыми. В качестве грунта рассматривалась гомогенная глина.

Изменение температуры на оси цилиндра (прогреваемого грунта) во времени показано на рис. 12, из которого видно, что время релаксации (от 1 до  $11,5^\circ\text{C}$ ) равно времени охлаждения. В первый год эксплуатации скважины наблюдается

та же закономерность, поэтому если на летний период (май-сентябрь) полностью отключить отбор тепла из грунта, т.е. остаться без горячего водоснабжения, то к октябрю произойдёт практически полная релаксация.

Влияние охлаждённого грунта на нейтральный и корнеобитаемый слои. При проектировании теплонасосных установок следует учесть охлаждение нейтрального и корнеобитаемого слоёв земли над охлаждённым массивом грунта. В связи с тем, что при постановке задачи имеется много факторов, связанных с климатическими и теплообменными особенностями, корректное решение задачи на всё разнообразие краевых условий требует большого объёма вычислительных работ. Мы покажем на частном примере, что охлаждение нейтрального слоя происходит достаточно быстро, и это оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Принимая толщину нейтрального слоя 10 м и его температуру  $T_0=10^\circ\text{C}$ , получим распределение температуры в слое грунта, в частности, через 90 и 365 дней (рис. 7п). На рис. 7п видно, что охлаждение нейтрального слоя грунта происходит достаточно быстро по сравнению с временем эксплуатации скважины, что делает грунт непригодным для растениеводства, а также может оказывать негативное воздействие на экологическое равновесие.

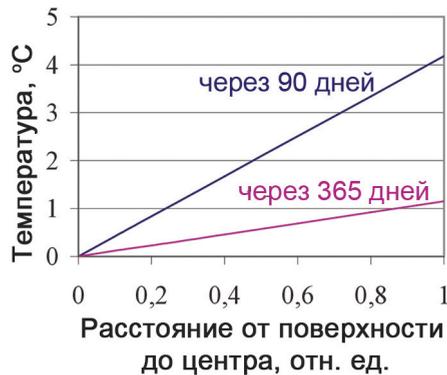


Рис. 7п. Температура нейтрального слоя грунта толщиной 10 м с начальной температурой  $10^\circ\text{C}$  через 90 и 365 дней охлаждения

Выводы. Энергозатраты на производство грунтового теплообменника и в целом теплонасосной установки значительно превышают «бесплатную» энергию, добываемую из грунта за нормативный срок окупаемости. Теоретический срок окупаемости – до 98 лет. Полученная в теплонасосной установке эксэргия на порядок ниже, чем у первичной энергии, затраченной на её изготовление.

Теплонасосные установки с грунтом в качестве низкотемпературного источника теплоты не являются экологически чистыми как при изготовлении, так и при эксплуатации, а также после её завершения. Время релаксации температуры грунта приблизительно равно времени охлаждения грунта, используемого как низкотемпературный источник энергии для теплонасосной установки.

В климатических условиях, аналогичных условиям средней полосы России, энергии солнечной и недр Земли недостаточно для прогрева охлаждённого «теплонесущего» грунта в разумные сроки – грунт останется охлаждённым или промёрзшим. Охлаждение нейтрального слоя земли над охлаждённым грунтом термоскважины происходит достаточно быстро по сравнению со временем эксплуатации теплонасосной установки, что приводит к отчуждению земли для растениеводства, нарушает экологическое равновесие.

## Приложение 3

**Пример расчета теплового насоса для индивидуального малоэтажного дома**

Исходные условия [45]: теплотребность коттеджа площадью 120–240 м<sup>2</sup> (в зависимости от теплоизоляции) – 12 кВт; температура воды в системе отопления должна быть 35 °С; минимальная температура теплоносителя – 0 °С.

Для обогрева здания выбран тепловой насос мощностью 14,5 кВт (ближайший больший типоразмер), затрачивающий на нагрев фреона 3,22 кВт. Теплосъем с поверхностного слоя грунта (сухая глина)  $q$  равняется 20 Вт/м. В соответствии с показанными выше формулами рассчитываем:

1) требуемую тепловую мощность коллектора  $Q_0 = 14,5 - 3,22 = 11,28$  кВт;

2) суммарную длину труб  $L = Q_0/q = 11,28/0,020 = 564$  м.

Для организации такого коллектора потребуется 6 контуров длиной по 100 м;

3) при шаге укладки 0,75 м необходимая площадь участка  $A = 600 \cdot x \cdot 0,75 = 450$  м<sup>2</sup>;

4) общий расход гликолевого раствора  $V_s = 11,28 \cdot 3600 / (1,05 \cdot 3,7 \cdot 3) = 3,484$  м<sup>3</sup>/ч, расход на один контур равен 0,58 м<sup>3</sup>/ч. Для устройства коллектора выбираем металлопластиковую трубу типоразмера 32 (например, РЕ32х2). Потери давления в ней составят 45 Па/м; сопротивление одного контура – примерно 7 кПа; скорость потока теплоносителя – 0,3 м/с.

**Расчет горизонтального коллектора теплового насоса**

Съем тепла с каждого метра трубы зависит от многих параметров: глубины укладки, наличия грунтовых вод, качества грунта и т.д. Ориентировочно можно считать, что для горизонтальных коллекторов он составляет 20 Вт/м. Более точно: сухой песок – 10, сухая глина – 20, влажная глина – 25, глина с большим содержанием воды – 35 Вт/м. Разницу температуры теплоносителя в прямой и обратной линии петли при расчетах принимают обычно равной 3 °С.

На участке над коллектором не следует возводить строений, чтобы тепловая энергия земли пополнялась за счет солнечной радиации. Минимальное расстояние между проложенными трубами должно быть 0,7–0,8 м. Длина одной траншеи составляет обычно от 30 до 120 м. В качестве теплоносителя первичного контура рекомендуется использовать 25%-й раствор гликоля. В расчетах следует учесть, что его теплоемкость при температуре 0 °С составляет 3,7 кДж/(кг·К), плотность – 1,05 г/см<sup>3</sup>.

При использовании антифриза потери давления в трубах в 1,5 раза больше, чем при циркуляции воды. Для расчета параметров первичного контура теплонасосной установки потребуется определить расход антифриза:

$$V_s = Q_0 \cdot 3600 / (1,05 \cdot 3,7 \cdot t),$$

где  $\Delta t$  – разность температур между подающей и возвратной линиями, которую часто принимают равной 3 К, а  $Q_0$  – тепловая мощность, получаемая от низкопотенциального источника (грунт).

Последняя величина рассчитывается как разница полной мощности теплового насоса  $Q_{wp}$  и электрической мощности, затрачиваемой на нагрев фреона  $P$ :

$$Q_0 = Q_{wp} - P, \text{ кВт.}$$

Суммарная длина труб коллектора  $L$  и общая площадь участка под него  $A$  рассчитываются по формулам:

$$L = Q_0 / q, \quad A = L \cdot d_a.$$

Здесь  $q$  – удельный (с 1 м трубы) теплосъем;  $d_a$  – расстояние между трубами (шаг укладки).

### Расчет зонда

При использовании вертикальных скважин глубиной от 20 до 100 м в них погружаются U-образные металлопластиковые или пластиковые (при диаметрах выше 32 мм) трубы. Как правило, в одну скважину вставляется две петли, после чего она заливается цементным раствором. В среднем удельный теплосъем такого зонда можно принять равным 50 Вт/м. Можно также ориентироваться на следующие данные по теплосъему:

- \* сухие осадочные породы – 20 Вт/м;
- \* каменистая почва и насыщенные водой осадочные породы – 50 Вт/м;
- \* каменные породы с высокой теплопроводностью – 70 Вт/м;
- \* подземные воды – 80 Вт/м.

Температура грунта на глубине более 15 м постоянна и составляет примерно +10 °С. Расстояние между скважинами должно быть больше 5 м. При наличии подземных течений, скважины должны располагаться на линии, перпендикулярной потоку. Подбор диаметров труб проводится исходя из потерь давления для требуемого расхода теплоносителя. Расчет расхода жидкости может проводиться для  $\Delta t = 5$  °С.

Пример расчета. Исходные данные – те же, что в приведенном выше расчете горизонтального коллектора. При удельном теплосъеме зонда 50 Вт/м и требуемой мощности 11,28 кВт длина зонда  $L$  должна составить 225 м. Для устройства коллектора необходимо пробурить три скважины глубиной по 75 м. В каждой из них размещаем по две петли из металлопластиковой трубы типоразмера 25 (PE25x2.0); всего – 6 контуров по 150 м.

Общий расход теплоносителя при  $\Delta t = 5$  °С составит 2,1 м<sup>3</sup>/ч; расход через один контур – 0,35 м<sup>3</sup>/ч. Контуров будут иметь следующие гидравлические характеристики: потери давления в трубе – 96 Па/м (теплоноситель – 25%-й раствор гликоля); сопротивление контура – 14,4 кПа; скорость потока – 0,3 м/с.

Некоторые производители грунтовых ТН<sup>3</sup>

Производитель	Модельный ряд	Теплопроизводительность при ВО/WS5, кВт	Коэффициент мощности при ВО/WS5	Электродоключение, В	Температура источника, °С	Хладагент	Накопительная емкость, л	Доп. электротЭН, кВт	Макс. температура нагрева контура отопления, °С	Возможность работать на охлаждение	Присоед. Размеры источник нагрева	Присоед. Размеры контура отопления	Габаритные размеры (Д*Ш*Г), мм	Вес, кг
BUDERUS (Германия)	Logatherm	22; 33; 43; 52; 60	до 4.4	400	от -5 °С до +20 °С	R407c	нет	нет	65	с дополнительным модулем охлаждения	Ø40 (22, 33); Ø50 (43, 52, 60)	Ø32(22, 33); Ø 40 (43, 52, 60)	700/950* x750x1620	330; 351; 495; 527; 553
		6; 7; 9; 11; 17	до 4.4	400	от -5 °С до +20 °С	R407c	163 (ГВС)	9 кВт	65	с дополнительным модулем охлаждения	Ø22 / Ø35 (14, 17)	Ø22 / Ø28 (14, 17)	600x600x1500	213; 217; 229; 263; 149; 153; 155; 164; 181; 197
HELLOTHERM (Германия)	Basic comfort	6.64; 7.99; 10.75; 12.96; 16.39	4, 4	230/400	-	R410a	-	-	60	-	-	-	-	-
		6.55; 7.75; 9.35; 12.30; 15.07; 19.65- 24.99; 33.57	5, 3-5, 4	400	—	R410a	•	-	60	опционально	-	-	1380*460/ 550x520/620	125
	Industrial	80.12	4, 2	400	-	R410a	-	-	60	-	-	-	1700x704x900	-

<sup>3</sup> Источник: <http://www.s-o-k.ru/articles/geothermal-nue-teplovye-nasosy-obzor-runka> [49]

Производитель	Модельный ряд	Теплопроизводительность при ВО/МЗС, кВт	Коэффициент мощности при ВО/МЗС W35	Электродополнение, В	Температура источника, °С	Хлад. агент	Накопительная емкость, л	Доп. электротЭЭН, кВт	Макс. температура нагрева контура отопления, °С	Возможность работать на охлаждение	Присоед. Размеры источника нагрева	Присоед. Размеры контура отопления	Габаритные размеры (Д*Ш*Г), мм	Вес, кг
NIBE (Швеция)	Fighter 1145	4.8;8.3;11.5	4.4-4.8	230	н.д.	R407c	нет	ступенчатый 7 кВт	65	с дополнительным модулем охлаждения	н.д.	н.д.	1030x600x625	170; 190; 200
		6.4;8.2; 10.0;11.6; 15.4; 16.8	4.5-5	400	н.д.	R407c	нет	ступенчатый 9 кВт	65	с дополнительным модулем охлаждения	н.д.	н.д.	1030x600x625	175; 195; 200; 208; 221; 229
	4.8; 8.3;11.5	4.6	230	н.д.	R407c	180	ступенчатый 7 кВт	65	с дополнительным модулем охлаждения	н.д.	н.д.	1745x600x625	280; 300; 310	
	6.4;8.2;10;11.6	4.8-5	400	н.д.	R407c	180	ступенчатый 9 кВт	65	с дополнительным модулем охлаждения	н.д.	н.д.	1745-600x625	285; 300; 305; 310	
REHAU (Германия)	Fighter 1345	23.2;31.3;40.0; 57.8	4.55-4.89	400	н.д.	R407c, R410a	нет	нет	65	с дополнительным модулем охлаждения	н.д.	н.д.	1625x600x628	315; 338; 356; 350
		17;19;22;26; 30;37	4.1-4.3	400	от -5°С до +25°С	R407c	нет	нет	55	пассивное охлаждение	1 1/4"; 1 1/2"	1 1/4"; 1 1/2"	1274x755x 555/705	159; 168; 280; 300; 310; 300
	17;19;22;26; 30;37	4.1-4.3	400	от -5°С до +25°С	R407c	нет	нет	55	активное охлаждение	1 1/4"; 1 1/2"	1 1/4"; 1 1/2"	1274x755 x 555/705	159; 168; 280; 300; 310; 300	
	5;7;8;10;12; 15	4.1-4.3	400	от -5°С до +25°С	R407c	нет	нет	55	пассивное охлаждение	1"	1"	1274x755x 555	132; 134; 147; 149; 151; 158	
Stiebel Eltron (Германия)	Geo CC	5;7;8;10;12;15	4.1-4.3	400	от -5°С до +20°С	R407c	нет	нет	55	активное охлаждение	1"	1"	1274x755x555	132; 134; 147; 149; 151; 158
		5.9;7.4;10.0; 12.8	4.4-4.5	400	от -5°С до +20°С	R410a	200	нет	60	есть	Ø22	Ø28	2100x600x650	275; 285; 295; 305
	5.8;7.8;9.9	4.4-4.5	230	от -5°С до +20°С	R410a	200	6.2	60	есть	Ø22	Ø28	2100x600x650	275; 285; 295	

Производитель	Модельный ряд	Теплопроизводительность при ВО/МЗS, кВт	Коэффициент мощности при ВО/МЗS	Электродополнение, В	Температура источника, °С	Хлад. агент	Накопительная емкость, л	Доп. электротЭН, кВт	Макс. температура нагрева контура отопления, °С	Возможность работать на охлаждение	Присоед. Размеры источника нагрева	Присоед. Размеры контура отопления	Габаритные размеры (Д*Ш*Г), мм	Вес, кг
	WPC... cool	5.8; 7.8; 9.9; 13.4	4.4-4.5	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	200	8.8	60	есть	Ø22	Ø28	2100x600x650	275; 285; 295
	WPF...E	5.9; 7.4; 10.0; 12.8; 16.9	4.4-4.6	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	8.8	60	есть	Ø28	Ø22; Ø28	1319x598x658	152; 157; 169; 171; 181
	WPF... cool	5.9; 7.4; 10.0; 12.8; 16.9	4.3-4.5	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	8.8	60	есть	Ø28	Ø22; Ø28	1319x598x658	160; 165; 177 182; 192
	WPF...S	5.8; 7.8; 9.9	4.2-4.4	230	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	6.2	60	есть	1 1/4"	1 1/4"	960x510x680	107.5; 113.5; 120.5; 120.5
	WPF... basic	5.9; 7.4; 10.0; 12.8; 16.9	4.4-4.5	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	не»	8.8	60	есть	1 1/4"	1 1/4"	960x510x680	107.5; 113.5; 120.5; 128.5; 131
	WPF...M(S)	7.8; 9.9; 13.4; 16.3	4.4-4.7	230; 400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	нет?	60	есть	1 1/4"	1 1/4"	971x510x640	107; 112; 120; 125
	WPF... Se(S)	15.6; 17.7; 19.8; 23.3; 26.8; 29.7; 32.6	4.4-4.7	230; 400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	нет	60	есть	1 1/4"	1 1/4"	970x1240x640	205; 215; 224; 232; 240; 245; 250
	WPF...G	21.9; 29.7; 45.7; 55.8; 69	4.8-4.9	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	нет	60	есть	2"	2"	1154x1242x860	345; 367; 415; 539; 655
	WPF...HT	27.4	4.9	400	от -5 °С до +20 °С	R410a	нет	нет	75	есть	2»	2»	1154x1242x860	367

Производитель	Модельный ряд	Теплопроизводительность при ВО/МЗС, кВт	Коэффициент мощности при ВО/МЗС	Электродополнение, В	Температура источника, °С	Хлад. агент	Накопительная емкость, л	Доп. электротЭН, кВт	Макс. температура нагрева контура отопления, °С	Возможность работать на охлаждение	Присоед. Размеры источника нагрева	Присоед. Размеры контура отопления	Габаритные размеры (Д*Ш*Г), мм	Вес, кг
VAILLANT (Германия)	geOTHERM	5,9; 8; 10,4; 13,8; 17,3	4,4	400	от -10°С до +20°С	R407с	нет	6	62	Ив!	1 1/4"; Ø28	1200х600х650	141; 148; 152; 172; 179	
	geOTHERM plus	5,9; 8; 10,4	4,4	400	от -10°С до +20°С	R407с	175	6	62	нет	1 1/4"; Ø28	1200х600х650	141; 148; 152	
	geOTHERM plus (cooling)	5,9; 8; 12	4,4	400	от -10°С до +20°С	R407с	нет	6	62	есть	1 1/4"; Ø28	1200х600х650	141; 148; 152	
	geOTHERM pro VWS	22; 28; 38; 44	4,4	400	от -10°С до +20°С	R407с	нет	2/4/6	62	нет	1 1/2"	1200х760х1100	326; 340; 364; 387	
VISSMANN (Германия)	Vitocal 200-G	рассолно- водяное исполнение 6.1; 7.7 ;9.7; водородное исполнение 7.5; 9.7; 12.8	до 4.5	230	от +2°С до +24°С	R410a	нет	9	60	есть	шткер DN 20	844х600х1155	120; 130; 135	
	Vitocal 222-G	5,9; 7,7; 10	4,2-4,3	400	от +2°С до +24°С	R410a	170	нет	60	есть	шткер DN 20	680х600х1829	250; 250; 256	
	Vitocal 300-G	рассолно- водяное 5,9-856. водородное 79-117,8	до 4,8	400	от +2°С до +24°С	R407с	нет	-	60	есть	1 1/4"; 1»	от 844/1085х х601/780х х1155/1287	138; 143; 152; 158; 165; 168	
WOLF (Германия)	BWS...K	5,8-9,1; 11,9; 13,9	4,7	400	от -5°С до +25°С	R407с	нет	6; 9	65	нет	н.д.	1920х695х600	195; 198; 204; 207	
	BWS...Z	5,8-8,6; 10,3	4,6-4,7	400	от -5°С до +25°С	R407с	200	6	65	нет	н.д.	1920х695х600	290; 295; 298	

Приложение 5

Обзор лидирующих моделей ТН

Таблица 4п

Лидеры рейтинга «Вода-вода»<sup>4</sup>

№	1	2	3
Фото			
Бренд	Waterkotte	Heliotherm	Knv
Модель	DS5017.5 Ai A	HP12S16W-WEB	TopLine 1255-6
СОР по EN14511 W10/W35, ΔT=5K	7,0	6,5	6,5
Хладагент	R410A	R410A	R407C
Уровень шума, dB	48	47	39
Габариты, мм	700 x 1.300 x 500	460 x 1.380 x 520	600 x 1.800 x 620
Вес, кг	167	155	245

<sup>4</sup> По состоянию на декабрь 2016 года, [http://www.topprodukte.at/de/Products-Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/551/topprodukte\\_sort\\_listing/x/topprodukte\\_sort\\_direction/x/topprodukte\\_how\\_many\\_ds/1.html](http://www.topprodukte.at/de/Products-Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/551/topprodukte_sort_listing/x/topprodukte_sort_direction/x/topprodukte_how_many_ds/1.html)

Технические характеристики теплового насоса DS5017.5 Ai A<sup>5</sup>

## Источник тепла: грунтовые воды

Мощность потребляемая/отдаваемая W10/W35	кВт	2,6/18,0
Коэффициент производительности (COP)		6,96
Расход воды в системе отопления	м /ч ( $\Delta t=5K$ )	3,1
Расход грунтовой воды	м /ч ( $\Delta t=3K$ )	4,3
Расход грунтовой воды, не менее	м /ч	2,1

## Источник тепла: почва (земляной зонд или абсорбер)

Мощность потребляемая/отдаваемая B0/W35	м /ч	2,6/13,3
Коэффициент производительности (COP)		5,0
Расход воды в системе отопления	м /ч ( $\Delta t=5K$ )	2,3
Расход источника тепла	м /ч ( $\Delta t=3K$ )	3,4

<sup>5</sup> <http://waterkotte.com.ru/teplovye-nasossy/geotermalnye/ds-5027-ai.html>

Таблица 6п

Лидеры рейтинга «Рассол-вода»<sup>6</sup>

	1	2	3
Фото			
Бренд	Vaillant	Vaillant	Waterkotte
Модель	flexoCOMPACT exclusive	flexoTHERM exclusive	Ai1 Geo 5010.5
COP по EN14511 A2/W35, ΔT=5K	5,1	5,1	5,1
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Уровень шума, dB	42	40	45
Габариты, мм	595 x 1.868 x 720	595 x 1.183 x 600	600 x 1.993 x 633
Вес, кг	212	145	223

<sup>6</sup> По состоянию на декабрь 2016 года, [http://www.topprodukte.at/de/Products-Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/272/topprodukte\\_sort\\_listing/x/topprodukte\\_sort\\_direction/x/topprodukte\\_how\\_many\\_ds/1.html](http://www.topprodukte.at/de/Products-Lists/topproductscat1/115/topproductscat2/198/topproductscat3/272/topprodukte_sort_listing/x/topprodukte_sort_direction/x/topprodukte_how_many_ds/1.html)

Технические характеристики flexoCOMPACT exclusive VWF 58/4 -118/4<sup>7</sup>

Технические характеристики		VWF 58/4	VWF 88/4	VWF 118/4
Тепловая мощность (B0 / W35 дел.Т5К согл. EN 14511)	кВт	5,3	8,9	11,2
Потребление электроэнергии	кВт	1,3	2,0	2,5
Коэффициент преобразования COP		4,7	5,1	5,0
Уровень звуковой мощности при B0 / W35 EN 12102 / EN 14511 в режиме отопления	дБ (А)	41,8	42,7	42,6
Тепловая мощность (B0 / W55 дел.Т8К согл. EN 14511)	кВт	5,4	9,0	11,4
Потребление электроэнергии	кВт	2,0	2,9	3,8
Коэффициент преобразования COP		3,0	3,3	3,2
Уровень звуковой мощности при B0 / W55 EN 12102 / EN 14511 в режиме отопления	дБ (А)	43,4	46,6	46,0
Электроснабжение блока управления	В / Гц	230 / 50	230 / 50	230 / 50
Электроснабжение компрессора	В / Гц	400 / 50	400 / 50	400 / 50
Электроснабжение дополнительного нагревателя	В / Гц	400 / 50	400 / 50	400 / 50
Пусковой ток с ограничителем	А	≤ 15	≤ 19	≤ 22
Объемный расход в контуре отопления	л / ч	920	1530	1920
Остаточный напор цирк. насоса отопления, дел.Т=5К	мбар	650	450	350
Объемный расход в контуре источника тепла (рассол)	л / ч	1290	2320	3000
Остаточный напор цирк. насоса отопления, дел.Т=3К	мбар	620	390	510
Температура подачи контура отопления (мин. / макс.)	°С	25 / 65	25 / 65	25 / 65
Допустимая температура рассола (мин. / макс.)				
- в режиме отопления	°С	-10 / 20	-10 / 20	-10 / 20
- в режиме охлаждения	°С	0 / 30	0 / 30	0 / 30
Размеры гидравлических присоединений	"	G 11 / 2"	G 11 / 2"	G 11 / 2"
Масса (без упаковки)	кг	212	227	234

<sup>7</sup> [https://www.vaillant.ru/oborudovanie-vaillant/products/2016-flexocompact-exclusive-vwf-58-4-118-4-23680.ru\\_ru.html](https://www.vaillant.ru/oborudovanie-vaillant/products/2016-flexocompact-exclusive-vwf-58-4-118-4-23680.ru_ru.html)

## Приложение 6

## Обзор российских производителей тепловых насосов большой мощности

## ЗАО «Энергия»

ЗАО «Энергия» существует на российском рынке с 1990 года. Запустило в эксплуатацию в России 126 машин различной мощности; крупные теплонасосные установки (мощностью от 0,1 до 6 МВт)<sup>8</sup>.

## 1. Тепловой насос НТ-110

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 150...230кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 50...55кВт;
- Исполнение моноблочное;
- Габаритные размеры (Д\*Ш\*В) 3900\*2100\*1495мм;
- Масса 4500 кг.

## 2. Тепловой насос НТ-300

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 300...460кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 100...120кВт;
- Исполнение моноблочное;
- Габаритные размеры (Д\*Ш\*В) 4500\*2100\*2100мм;
- Масса 4500 кг.

## 3. Тепловой насос НТ-280

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 320...490кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 110...130кВт;
- Исполнение раздельное;
- Габаритные размеры агрегатов:
- компрессорного (Д\*Ш\*В) 2825\*1060\*2200мм;
- испарительно-конденсаторного (Д\*Ш\*В) 2825\*1060\*2200мм;
- Масса общая 8930 кг.

## 4. Тепловой насос НТ-500

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 450...680кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 150...170кВт;
- Исполнение моноблочное;
- Габаритные размеры (Д\*Ш\*В) 4100\*2300\*2400мм;
- Масса общая 9700 кг.

<sup>8</sup> Источник: сайт ЗАО «Энергия», <http://teplo.in/>

5. Тепловой насос НТ-360

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 550...850кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 180...200кВт;
- Исполнение раздельное;
- Габаритные размеры агрегатов:  
компрессорного (Д\*Ш\*В) 3640\*1660\*2260мм;
- испарительно-конденсаторного (Д\*Ш\*В) 3590\*1150\*1570мм;
- Масса общая 8300 кг.

6. Тепловой насос НТ-1000

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 900...1350кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 290...320кВт;
- Исполнение раздельное;
- Габаритные размеры агрегатов:  
компрессорного (Д\*Ш\*В) 4100\*1740\*2290мм;
- испарительно-конденсаторного (Д\*Ш\*В) 3800\*1500\*2600мм;
- Масса общая 13000 кг.

7. Тепловой насос НТ-3000

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C — 1800...2800кВт;
- Потребляемая электрическая мощность 590...630кВт;
- Исполнение раздельное;
- Габаритные размеры агрегатов:  
компрессорного (Д\*Ш\*В) 5200\*1900\*3000мм;
- испарительно-конденсаторного (Д\*Ш\*В) 5550\*1885\*2930мм;
- Масса общая 24000 кг.

8. Возможно создание теплового насоса НТ-6000

- Теплопроизводительность на воде 8-30°C -3600...5600 кВт.

**«ОКБ Теплосибмаш»,**

Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы ТЕПЛОСИБМАШ

АБТН являются высокоэффективным энергосберегающим оборудованием для теплоснабжения различных объектов и предназначены для нагрева воды до 50 - 90 о С , с использованием в качестве источника энергии теплоты греющего пара с давлением до 0,75 МПа или топлива - природного газа, а также низкопотенциальной сбросной или природной теплоты от различных источников с температурой 20-40 о С.

Таблица 8п

Номинальные параметры и характеристики<sup>9</sup>

Тепловые насосы	Тепловая мощность / утилизируемая теплота, кВт	Расход тепла: пара, кг/ч; природного газа, м <sup>3</sup> /ч	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч : нагреваемой/охлаждаемой	Расход электроэнергии, кВт	Габариты: дл., шир., выс, м	Масса сухая, т
Тепловые насосы с паровым обогревом						
АБТН-600П	1725/660	1540	45/115	4,5	5,1-1,55-2,9	8
АБТН-1000П	3300/1260	2900	87/217	8	6,5-2,0-3,0	12
АБТН-1500П	5000/1860	4300	128/320	12	7,5-2,3-3,2	18
АБТН-3000П	8300/3200	7400	225/550	14	7,5-2,8-3,75	29
АБТН-4000П	11000/4260	9900	300/610	16	9,5-2,8-3,75	37
Тепловые насосы с газовым обогревом						
АБТН-600Т	1745/660	140	50/115	7,2	4,86-2,72-2,9	11
АБТН-1000Т	3300/1260	200	87/217	11	6,5-2,7-2,9	13
АБТН-1500Т	5000/1860	295	126/320	17,5	7,5-3,2-3,0	20
АБТН-3000Т	8300/3200	510	300/610	23,5	7,5-3,8-3,3	21

Номинальные параметры теплоносителей:

- температуры, вход/выход: охлаждаемая вода – 30/25 о С;
- нагреваемая вода – 40/70 о С;
- давление греющего пара – 0,5 МПа абс;
- теплотворная способность природного газа – 35,8 МДж/нм<sup>3</sup>.

<sup>9</sup> Источник: Сайт ОКБ «Теплосибмаш», <http://www.teplosibmash.ru/catalog/id/7/>

### Авторы и составители

1. Гашо Е.Г., к.т.н., разделы 4, 5, 9
2. Козлов С.А., к.т.н., разделы 2, 3, 4, 5
3. Пузаков В.С., к.т.н., раздел 5
4. Разорёнов Р.Н., разделы 1, 3, 6, 7
5. Свешников Н.И., разделы 1, 2, 3, 4
6. Степанова М. В., к.э.н., разделы 6, 8, 9

Издание подготовлено по заказу ООО «АВЕНТИН»

# ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Информационно – методическое издание

Издательство «Перо»

109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, офис 105

Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 70×100/16.

Бумага \_\_\_\_\_. Усл. печ. л. 12,75. Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»