

# ЦЕНТРАЛЬНОЕ ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

## ОБЗОР ОТРАСЛЕВОЙ ПРАКТИКИ

be  
think  
innovate

**GRUNDFOS** 

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Испокон веков люди искали доступную энергию, стремясь устроить качественный и здоровый быт для себя и потомков. Тепло и уют в доме — желанные атрибуты благосостояния с незапамятных времен.

Энергия играет незаменимо важную роль в жизни общества. Нам необходимы решения, позволяющие поддержать устойчивый экономический рост с минимумом последствий для экологии. Залог экологической эффективности — инфраструктура центрального отопления и холодоснабжения. Она наиболее эффективно сокращает выбросы углекислого газа в городской энергосистеме, позволяя в меру доступности возобновляемых источников энергии заменить ими ископаемые топлива, а также утилизировать излишки тепла, которые иначе были бы потеряны.

В обычных отопительных и охладительных системах впустую тратится более половины используемой энергии. Центральное теплоэнергоснабжение преследует простую цель: утилизировать или возвращать излишки энергии, которые иначе теряются без пользы.

По этой причине системы центрального теплоэнергоснабжения играют важную роль в сокращении выбросов CO<sub>2</sub> и повышении энергетической эффективности городов, жилых районов и комплексов административных зданий.

Экологические, экономические и социальные преимущества утилизации излишков тепла и получения энергии из местных возобновляемых источников повышают

актуальность центрального отопления и холодоснабжения как пути к компромиссу между экономическим развитием общества и минимизацией экологических последствий.

Продолжающаяся урбанизация вынуждает искать системы, способные легко и эффективно справиться с функциями отопления и охлаждения с учетом нужд будущих поколений. Системы центрального отопления и охлаждения помогают продвинуться в решении ряда актуальных проблем современного общества. С ростом населения мегаполисов повышается нагрузка на существующие энергетические системы.

Широкое освоение возобновляемых источников энергии порождает новые трудности, такие как флуктуации мощности в электросетях в периоды, когда выработка энергии превышает фактическое потребление. В этом случае центральные энергосистемы способны сгладить флуктуации за счет аккумуляирования энергии. Безусловно, все преимущества подобных систем нельзя описать единственным примером. Мы надеемся, что этот обзор пробудит у читателей интерес к более обстоятельному изучению данной темы. Со своей стороны, мы убеждены, что рассматриваемые решения оптимально отвечают потребностям общества на ближайшую и долгосрочную перспективу.

Андерс Нильсен,

*Руководитель  
направления прикладных  
решений Grundfos для  
коммерческих объектов*



Введение.....	4
Определение центрального теплоэнергоснабжения .....	6
Центральное отопление (ЦО) .....	6
Центральное холодоснабжение (ЦХС) .....	7
Взаимосвязь между отоплением и холодоснабжением .....	7
Краткая история центрального теплоэнергоснабжения .....	8
Центральное отопление .....	8
Центральное холодоснабжение .....	11
Оборудование потребителей .....	12
Система прямого теплоснабжения .....	12
Независимая система теплоснабжения .....	13
Соединение контуров через смеситель .....	16
Приготовление горячей воды .....	17
Теплосеть .....	20
Крупные потребители .....	20
Центральное холодоснабжение .....	21
Учёт и тарификация .....	21
Интеллектуальные счетчики .....	23
Глобальные профили нагрузки .....	24
Проектирование и эксплуатация сети .....	26
Двухтрубная распределительная система .....	26
Укладка труб в грунт .....	30
Диспетчерское управление и сбор данных — SCADA .....	30
Анализ сети и оптимизация температур .....	31
Производство тепла и холода .....	33
Потребность в отоплении и холодоснабжении .....	33
Энергосбережение, климатические и экологические последствия .....	34
Комбинированный цикл ТЭЦ .....	36
Другие доступные источники тепла .....	40
Комбинированная выработка холода, тепла и электроэнергии .....	42
Подготовка воды .....	44
Системы аккумулирования тепловой энергии .....	44
Дания как пример .....	50
Интеллектуальные города будущего .....	54
Заключение .....	55

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних лет потребление энергии в мире стремительно растет. В таких условиях сложно ручаться за доступность энергии в достаточных количествах по разумным ценам. Под угрозой оказывается и местная окружающая среда, особенно в окрестностях крупных городов, не говоря о последствиях для климата всей планеты. Необходимость более рационального использования энергии широко отмечается как гражданами, так и правительствами, и организациями разных стран. Основное внимание уделяется разработке новых технологий повышения энергоэффективности зданий, транспорта и промышленности, а также освоению экологически рациональных возобновляемых источников энергии, включая геотермальную, солнечную, ветровую и биологическую энергетику.

Системы центрального отопления и охлаждения несут в себе большой потенциал рационального использования энергии и задействования экологически устойчивых источников. Этот обзор предназначен для ознакомления с характеристиками и принципами работы современных систем центрального теплоэнергоснабжения, а также расскажет о значительном потенциале этой технологии для современных городов, от небольших до крупнейших.



*Теплотрасса системы центрального теплоэнергоснабжения*

В этом обзоре мы рассмотрим наиболее важные вопросы, связанные с системами центрального отопления и холодоснабжения. Главным образом они касаются рационального использования и экономии энергии, а также предотвращения загрязнения окружающей среды. Любая система центрального теплоэнергоснабжения изначально отражает специфику условий на местах: климата, культуры, градостроительства, архитектуры и доступных энергоресурсов. Другими словами, энергосистемы двух разных районов никогда не будут одинаковыми. В связи с этим в данном обзоре мы рассматриваем ряд факторов и аспектов, принимаемых во внимание при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации новых систем. Помимо прочего, это позволит наметить направления дальнейшего совершенствования энергетических решений.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОЭНЕРГО- СНАБЖЕНИЯ

К системам центрального теплоэнергоснабжения (ЦТЭС) относятся как системы центрального отопления, так и системы центрального холодоснабжения. Эти два вида систем коммунального хозяйства имеют схожую инфраструктуру и служат цели доставки тепла или холода в несколько зданий одновременно. В обоих случаях инфраструктура состоит из двухтрубной сети, соединяющей станцию системы теплоэнергоснабжения со всеми подключенными к ней потребителями. В крупном, плотно застроенном городе такая система может обслуживать целый район или несколько районов. Новые города и новые городские районы все чаще целиком снабжаются от ЦТЭС. Практика внедрения ЦТЭС в существующих городах обычно также позволяет рассчитывать на широкий охват (более 90 % потребителей).

### Центральное отопление (ЦО)

В системах ЦО горячая вода нагнетается через магистральную теплотрассу потребителям, проходит через их отопительные системы, где отдает тепло помещениям зданий, и возвращается на станцию для подогрева. В современных европейских системах типичные температуры отпускаемой и возвращаемой воды составляют приблизительно 75 °С и 35 °С, соответственно. Однако в последние годы рынок завоевывают низкотемпературные системы, в которых



*Прокладка теплотрассы системы ЦО через центр города.*



соответствующие температуры составляют 60/30 °C или даже 55/25 °C. В ряде старых систем ЦО используется пар вместо воды.

## Центральное холодоснабжение (ЦХС)

В системах ЦХС исходящая вода охлаждается ниже температуры окружающей среды, затем транспортируется потребителям, где отводит излишки теплоты из систем кондиционирования. Нагретая вода возвращается на станцию и охлаждается путем пропускания через холодильники различных видов. После этого избышек тепла рассеивается в окружающей среде или вновь используется в системе центрального отопления. В современных европейских системах ЦХС вода отпускается при температуре приблизительно 10 °C и возвращается при температуре порядка 20 °C. Более старые системы часто проектировались для температур 4/12 °C.

## Взаимосвязь между отоплением и холодоснабжением

Пиковые зимние и летние нагрузки на системы отопления и холодоснабжения зданий приблизительно одинаковы по величине. Отопительный сезон и сезон кондиционирования зависят от географии и редко имеют равную продолжительность. Например, в Северной Европе отопительный сезон дольше сезона кондиционирования. Однако растущая численность компьютеров, серверов и других электроприборов в современных офисных зданиях создает потребность в холодоснабжении в течение всего года. Кроме того, системы ЦО обычно не прекращают работать летом для обеспечения потребности в горячей водопроводной воде.

# КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОЭНЕРГО- СНАБЖЕНИЯ

## Центральное отопление

За исключением единичных примеров из Римской империи, где вода из горячих источников пропусклась под полами зданий для отопления комнат, центральное отопление в крупном масштабе было впервые реализовано в США в конце XIX века.

### *Первое поколение*

Системы первого поколения были рассчитаны на паровое отопление зданий. Отдавший тепло пар в виде конденсата сбрасывался в канализацию. Позднее появились системы с возвратными линиями конденсата. Переход на замкнутую циркуляцию с повторным подогревом конденсата позволил экономичнее расходовать воду и энергию.

### *Второе поколение*

Начало XX века было отмечено рождением второго поколения систем на основе перегретой воды (с температурой выше 120 °C). В крупных европейских городах внедрение ЦО часто шло в tandem с электрификацией: остаточное тепло от турбин или двигателей на местных электростанциях использовалось для отопления. Как правило, от центральных районов с большим числом общественных зданий такие системы постепенно расширялись, охватывая кварталы многоэтажной жилой застройки. Как и в системах первого поколения, высокие температуры и давления приводили



*В Дании центральному отопленню отводиться важная роль. Около 450 малых и крупных станций подают тепло в 1,6 млн домохозяйств, охватывая около 64 % жилого сектора. Потребителями также являются многочисленные учреждения и предприятия.*



к необходимости устройства промежуточных теплообменников для доставки тепла потребителям. Многочисленные системы ЦО подобного рода были построены в Западной и Центральной Европе, России и странах Азии.

#### *Третье поколение*

В системах третьего поколения используется горячая вода при температуре ниже 120 °С. Многочисленные системы подобного типа построены в Дании во второй половине XX века. Фактически именно такие системы обеспечивают теплом значительную часть жилищ и множество учреждений и промышленных объектов Дании. Подавляющее большинство таких систем ЦО соединяется с потребителями без теплообменников, т. е. вода от генерирующих мощностей проходит по трубопроводам непосредственно к радиаторам и другим элементам отопительной системы здания и возвращается обратно. Тем не менее в домах устанавливаются баки горячей воды или теплообменники горячего водоснабжения.

Как правило, эти системы эксплуатировались при температуре отпускаемой воды приблизительно 80 °С, и было возможно достичь значения температуры возвратной линии порядка 40 °С. Однако в городах с сильно холмистой местностью, на возвышенностях и в высотных зданиях сказывались значительные гидростатические давления. В таких случаях возникала необходимость в использовании теплообменников для разделения внутренних трубопроводов здания и распределительной сети. Сегодня такие системы обычно работают при пониженной температуре на протяжении большей части года.

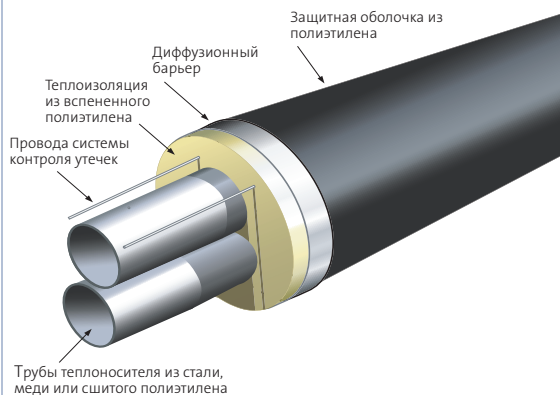
Использование достаточно низких температур в системах ЦО позволило отбирать пар из турбин теплоэлектроцентралей при низком давлении, что способствовало увеличению

полного КПД в результате относительного увеличения выработки электроэнергии по сравнению со станциями, спроектированными для высокотемпературных систем ЦО. Уменьшение рабочей температуры позволяет утилизировать остаточное тепло с промышленных объектов и использовать такие источники, как геотермальная и солнечная энергия.

#### *Четвертое поколение*

Развитием систем ЦО в направлении повышения КПД является распространяющееся сейчас четвертое поколение. Переход к нему происходит плавно через улучшение теплоизоляции зданий с уменьшением энергопотребления, развитие технологий производства трубопроводов, появление компактных теплообменников и квартирных водогрейных установок, регулирующих устройств и оптимизирующего программного обеспечения. Потенциал дальнейшего понижения и регулирования температуры отпускаемой воды с учетом сезонных и внутрисуточных изменений потребности уже продемонстрирован в ряде практических применений. Одновременно снижается и температура воды в возвратной линии.

Был представлен ряд демонстрационных систем с новыми двойными трубами, отличающимися малыми размерами для снижения теплотерь. Параллельно реализуется широкий спектр мероприятий в смежных областях, например применение интеллектуального оборудования в подготовке горячей воды для бытовых нужд. В Дании запущен крупный международный научно-исследовательский проект, посвященный системам ЦО четвертого поколения ([www.4dh.dk](http://www.4dh.dk)), основной задачей которого в ближайшей перспективе является изучение всех аспектов интеллектуальных систем ЦО.



*Двухтрубная тепломагистраль*

## Центральное холодоснабжение

Системы ЦХС получили известность с середины прошлого века. В основных чертах они схожи с системами ЦО с тем исключением, что предназначены для холодоснабжения зданий, т. е. отвода тепла. Нагрузка достигает максимума в летний период, но потребность в холодоснабжении остается высокой даже зимой.

Одним из первых известных примеров центрального холодоснабжения стала система в центре города Хартфорд (шт. Коннектикут, США), в которой обращалась холодная вода из реки. С тех пор разработано множество более совершенных и мощных систем, эксплуатируемых в Америке, Европе, на Ближнем Востоке и в Юго-Восточной Азии. Холодоснабжающие станции существенно отличаются от отопительных и в целом значительно сложнее. В них могут применяться как компрессорные холодильные установки с электроприводом, так и абсорбционные, работающие по принципу теплового насоса. В таких системах также применяется естественное охлаждение морской или прудовой водой в сочетании с традиционными холодильными машинами.

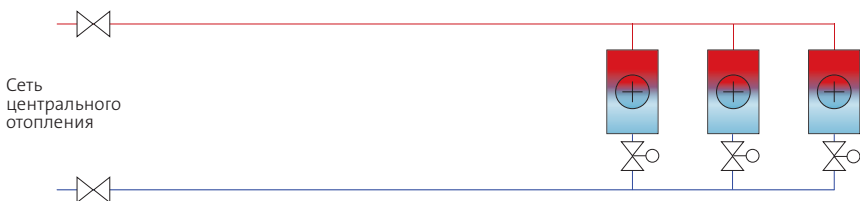
В основе систем ЦХС лежат те же принципы и экономические мотивы, что и в основе систем ЦО: эффект масштаба, более рациональное использование энергии и перенос обязанностей по обслуживанию с пользователя на специалистов центральной станции. Кроме того, при совместной эксплуатации систем ЦО и ЦХС удается использовать взаимосвязи между выработкой электроэнергии, тепла и холода с выгодой для всех производимых услуг с точки зрения удешевления и экономии энергии.

# ОБОРУДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

## Система прямого теплоснабжения

Соединение между распределительной сетью ЦО и отопительными контурами зданий может быть осуществлено по прямой или независимой схеме.

В системе прямого теплоснабжения вода для ЦО заводится непосредственно в систему труб внутри здания и циркулирует в радиаторах. В составе такой системы также предусматривается теплообменник или бак горячего водоснабжения для бытовых нужд. В таких системах максимальное давление обычно ограничивается значением в 6 бар. Непосредственный теплообмен — исключительно простой и дешевый способ подсоединения потребителей. Недостаток его состоит в том, что начальная температура определяется станцией ЦО, и потребитель лишен возможностей ее регулирования. Вместо этого сама станция должна регулировать температуру в диапазоне, приемлемом для потребителей. Достоинством же прямой системы является возможность работы при очень низких температурах отпуска и возврата, поскольку удается избежать падения температуры в теплообменнике.



*Прямое соединение между сетью центрального отопления и оборудованием потребителей*

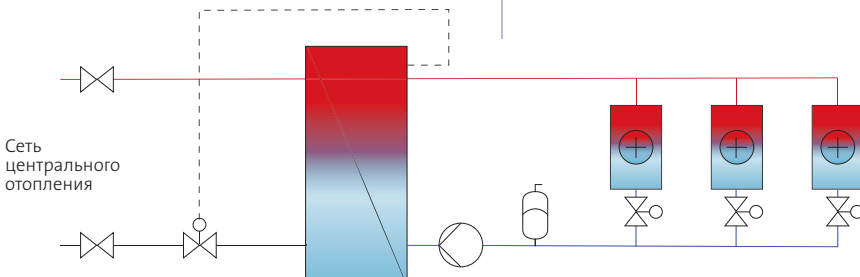
С другой стороны, максимальное давление в 6 бар возможно только в умеренно холмистых районах во избежание получения слишком большого гидростатического давления в системе. По этой же причине высота зданий также должна быть умеренной.

## Независимая система теплоснабжения

В системах, подключенных по независимой схеме, контур воды ЦО отделен от отопительной системы здания теплообменником. В этом случае давление в системе ЦО может отличаться от давления во внутренней системе здания.

Как правило, для такой системы ЦО температура отпуска должна быть приблизительно на 10 °С выше, чем при непосредственном подключении. Кроме того, в каждом здании будут необходимы циркуляционные насосы. Температура в возвратной линии также будет выше приблизительно на 10 °С.

Теплообменники применяются как для центрального отопления, так и для центрального холодоснабжения. Преимущество теплообменника состоит в том, что он позволяет гидравлически разделить вторичный и первичный контуры. Благодаря такому разделению, например, разрыв трубы во вторичном контуре не повлияет на



Независимая схема соединения между сетью центрального отопления и оборудованием потребителей

работу первичного. Потребитель же при этом отделается сравнительно небольшой утечкой.

Преимущества наличия теплообменника не исчерпываются гидравлическим разделением.

В большинстве случаев можно регулировать температуру подводимого теплоносителя, уменьшая ее (в системах отопления) или увеличивая (в системах холодоснабжения). Это позволяет снизить потери тепла на стороне потребителя. Опыт показывает, что подобное регулирование температуры экономит до 20 % энергии в отопительной системе.

Теплообменник позволяет потребителю самостоятельно управлять температурой теплоносителя во вторичном контуре с учетом своих потребностей. Обычно это достигается автоматическим регулированием вентиля на первичной стороне. Установленное значение положения вентиля задается блоком регулирования микроклимата, в отопительных системах также именуемым погодным компенсатором. При этом температура теплоносителя регулируется с учетом наружной температуры.

Необходимо учитывать взаимосвязь величин температуры и расхода в системах центрального отопления: чем выше температура подаваемого теплоносителя, тем больше разность с температурой возвращаемого теплоносителя и, как следствие, ниже расход и меньше затраты на перекачку. С другой стороны, малый расход и низкая температура в возвратной линии способствуют уменьшению потерь тепла в сети. Таким образом, важно подобрать баланс между стоимостью электроэнергии и отопления на месте эксплуатации системы. Подобная комплексная оптимизация выполняется современными программными средствами, описанными в главе «Анализ сети и оптимизация температур».

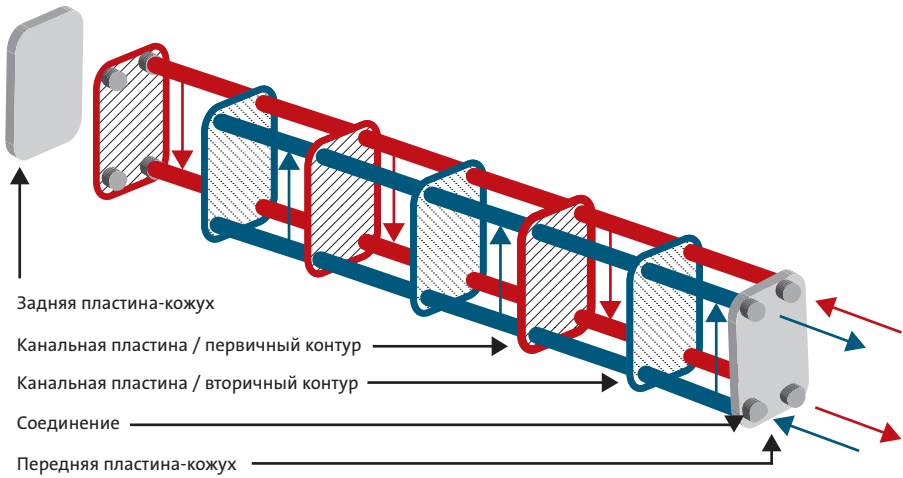


*Образец пластинчатого теплообменника (ПТО) компании Danfoss.*

*Паяные теплообменники: малый вес, компактность, конкурентоспособная цена. Единственный способ прочистки — промывка. Неремонтпригодны. Макс. мощность ~ 2 МВт.*

*Сборные теплообменники с уплотнениями: тяжеловесная конструкция, возможность вскрытия для очистки и ремонта. Макс. мощность — 30–50 МВт.*



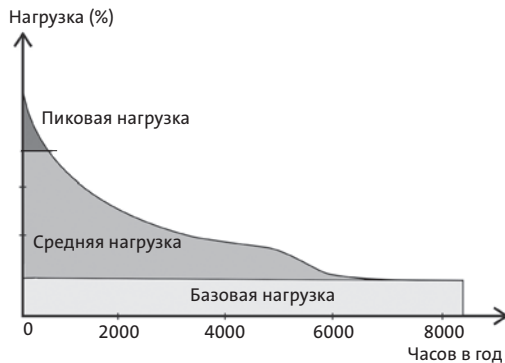


Основные принципы устройства пластинчатых теплообменников.

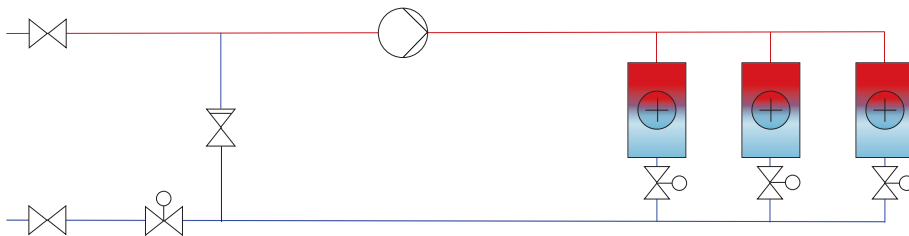
- Теплообменники изготовлены из прессованных пластин из нержавеющей стали, соединяемых каналами.
- Эффективная теплопередача достигается за счет высокой турбулентности и противотока.
- В общем виде паяный пластинчатый теплообменник представляет собой ряд тонких гофрированных листов из нержавеющей стали, спаянных с медными трубками.
- Каждый второй лист развернут на 180° для создания отдельных контуров циркуляции жидкости.

## Соединение контуров через смеситель

Соединение через смеситель позволяет потребителю подстраивать температуру подачи теплоносителя согласно фактической потребности посредством регулирующего клапана на стороне первичного контура. Когда клапан частично закрыт, определенное количество воды возвращается в первичный контур, в результате чего во вторичном контуре циркулирует смесь, температура которой определяется температурами линии подачи первичного контура и возвратной линии вторичного контура. Необходимость регулирования температуры обусловлена изменчивостью нагрузки на протяжении дня, например, из-за разного заполнения зданий людьми, нагрузок от вычислительной техники, освещения и т. п. Нагрузка также колеблется на протяжении года, отражая фактические погодные условия на месте.



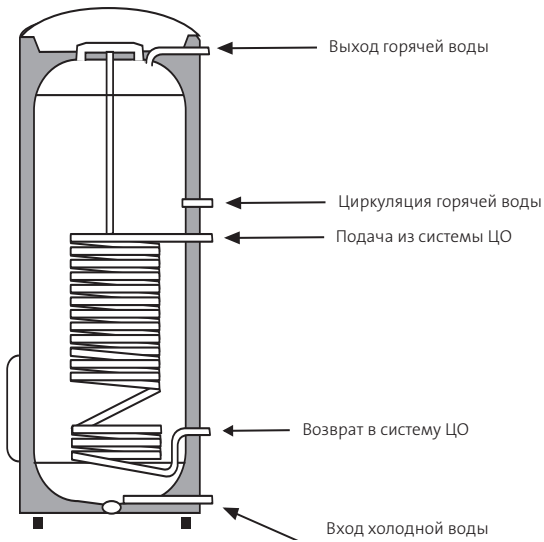
*Типичное распределение интенсивности нагрузок для центрального отопления*



*Соединение контуров через смеситель позволяет пользователю регулировать температуру потока с учетом фактической потребности*

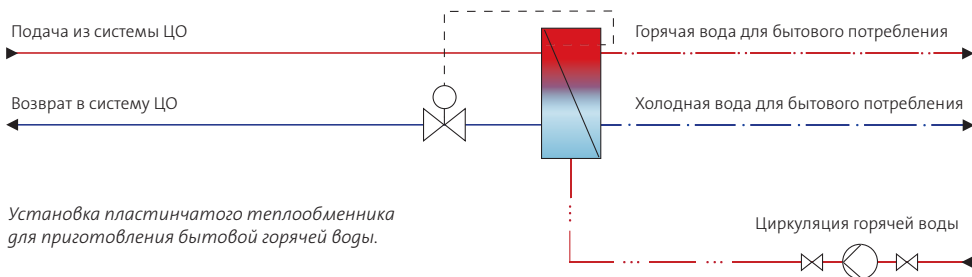
## ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

Приготовление горячей воды для бытового потребления может выполняться несколькими способами. В традиционном решении используется бак горячей воды с внутренним змеевиком, показанный ниже.



Бак горячей воды  
Источник: Viessmann

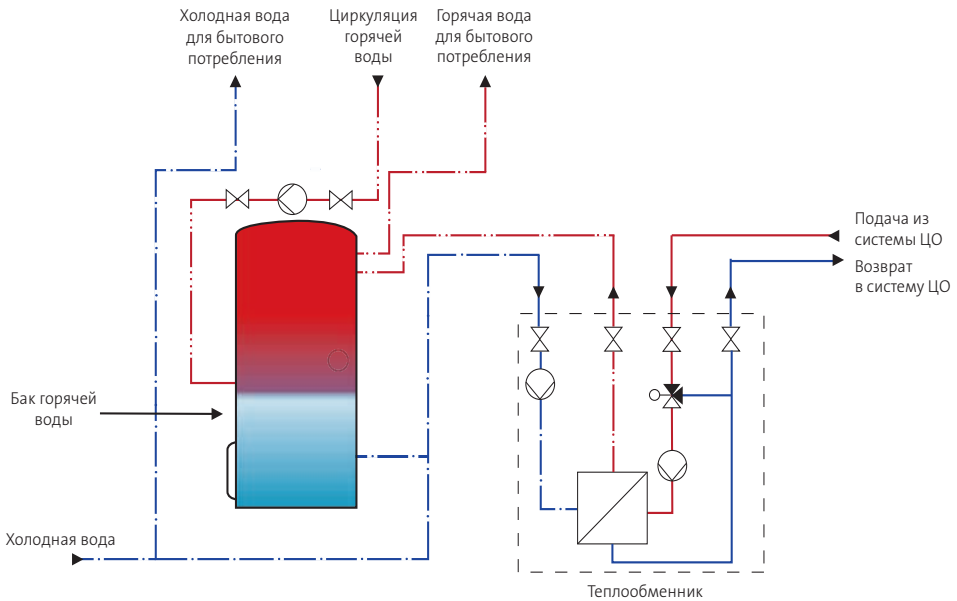
В последние годы использование теплообменников стало обычной практикой благодаря их компактности. Немаловажным преимуществом является и высокая эффективность этих устройств, позволяющая приготавливать горячую воду при относительно низкой температуре в первичном контуре. Пример сравнительно простой установки приведен ниже.



Решением для ситуаций, в которых пиковая потребность в горячей воде превосходит производительность системы центрального отопления, может стать установка теплообменника в сочетании с накопительным баком горячей воды. В этом случае можно накапливать воду в течение длительного периода, поддерживая достаточный запас горячей воды для удовлетворения пиковых нагрузок. Другое преимущество такой системы состоит в возможности возврата воды в сеть централизованного отопления при относительно низкой температуре.

Все способы приготовления горячей воды требуют особых санитарно-профилактических мер, например для предупреждения развития бактерий *Legionella*. Этот вопрос не рассматривается в настоящей брошюре, а вынесен в отдельное «Руководство по обеззараживанию».

Если пластинчатый теплообменник является частью системы горячего водоснабжения, необходимо принять меры для его защиты от накипи, ухудшающей характеристики системы. Характер проблем, связанных с отложением накипи, определяется источником грунтовых вод. До принятия каких-либо решений следует проконсультироваться с местными органами управления.



Система горячего водоснабжения с накопительным резервуаром

## ТЕПЛОСЕТЬ

В зависимости от планировки и размера городов может оказаться полезным сочетание систем, подключенных по прямой и независимой схемам. Например, крупная региональная система ЦО может состоять из общей распределительной теплосети до главных подстанций с подчиненными им системами ЦО местного масштаба, к которым напрямую подключаются потребители. Таким образом сохраняется возможность эксплуатировать районные системы при более низкой температуре, а также использовать в них местные источники тепла, например, солнечные коллекторы или отработавшее тепло предприятий.

Как комплекс для крупномасштабной транспортировки тепла на большие расстояния теплосеть во многом аналогична магистральным электросетям.

### Крупные потребители

В отличие от индивидуального жилья и небольших зданий с собственными подключениями к системе ЦО, многоквартирные жилые дома, крупные административные здания и другие пользователи, включая предприятия, обычно подключаются к системе ЦО через один отвод.

До сих пор в таких зданиях нормой была общая система приготовления горячей воды для бытовых нужд со снабжением из центрального бака, обычно размещаемого в подвале здания. Однако для уменьшения протяженности труб и повышения качества горячего водоснабжения в новых водопроводных системах для зданий подобного типа каждая квартира снабжается собственным теплообменником для горячей воды. Этот подход также облегчает учет потребления тепла в отдельных помещениях.





*Станция центрального холодоснабжения, обслуживающая несколько коммерческих объектов.*

## ЦЕНТРАЛЬНОЕ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

Потребителями ЦХС обычно являются владельцы крупных зданий: предприятия, гостиницы, институты и т. п. Как правило, система ЦХС проектируется с учетом специфики местных условий, при этом возникают определенные ограничения по устройству и эксплуатации потребителей, диктуемые соображениями комплексной оптимизации системы. Это обстоятельство не позволяет сформулировать в данном руководстве общие принципы проектирования таких систем потребителей.

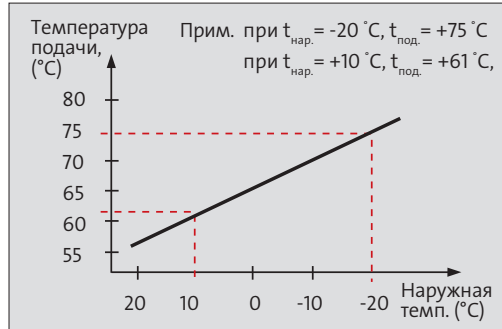
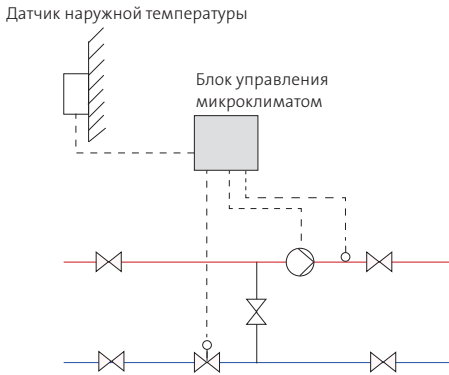
Тем не менее универсальным правилом для подобных систем является максимальное использование дешевых и легкодоступных источников холода, включая естественное охлаждение и другие дешевые варианты. Как следствие, распределительная система рассчитывается на работу при относительно высокой температуре. Такие условия ложатся в основу проектов современных систем кондиционирования воздуха, однако куда более важным требованием, по сравнению с системами ЦО, является оптимизация со стороны потребителя с учетом устройства стороны подачи.

## УЧЕТ И ТАРИФИКАЦИЯ

Как и в случае других коммунальных систем, включая электросеть и водопровод, необходимо выработать и закрепить в абонентских договорах правила учета и порядок тарификации потребления тепла и холода. Тарифы часто состоят из фиксированной и переменной части. С потребителя может также удерживаться плата за первоначальное подключение к системе.

- Фиксированный платеж отражает постоянные ежегодные затраты на содержание распределительной системы и производящей станции. К ним главным образом относятся капитальные затраты, а также стоимость эксплуатации и технического обслуживания.
- Переменная составляющая отражает затраты на приобретение энергоносителей или электроэнергии для работы насосов либо на выкуп излишков энергии у промпредприятий и других источников.
- Плата за подключение отражает долю данного потребителя в общей мощности системы и часто рассчитывается исходя, например, из размеров снабжаемого здания.

Экономические отношения между потребителями и поставщиком услуг ЦТЭС часто подчинены ряду других факторов. Например, поставщик может быть заинтересован в том, чтобы абоненты возвращали воду в систему ЦО при как можно более низкой температуре для повышения производительности распределительной системы и минимизации производственных издержек. Для этого тарифная политика может предусматривать поощрение отдельных потребителей за низкую температуру возвращаемой воды или даже штраф за превышение нормированной температуры. Выстраивание отношений между абонентами и поставщиком ЦТЭС в части тарифов и правил регулируется местным и государственным законодательством, а в некоторых случаях — и обычаями. В некоторых странах услуги ЦТЭС — сфера деятельности свободно конкурирующих предприятий, в других странах они в той или иной мере регулируются государством.



*Функция управления микроклиматом: смеситель, впускающий воду во вторичный контур, поддерживает нужную температуру подачи в зависимости от температуры на улице.*

## Интеллектуальные счетчики

Современные индивидуальные приборы учета могут измерять как расход, так и температуру в подающей и возвратной линиях, вычисляя на их основе фактическое потребление энергии. Регистрация данных и вычисления в таких приборах выполняются через заданные интервалы времени. Сбор данных для дальнейшей обработки и выставления счетов компаниями ЦТЭС производится по проводным или беспроводным соединениям. Располагая показаниями температуры и расхода в местах соединения с системами зданий и объединив эти показания с аналогичными данными из центральной SCADA-системы, можно получить общую картину выработки, распределения и потребления энергии во всей системе по состоянию на произвольный момент времени.

## ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ НАГРУЗКИ

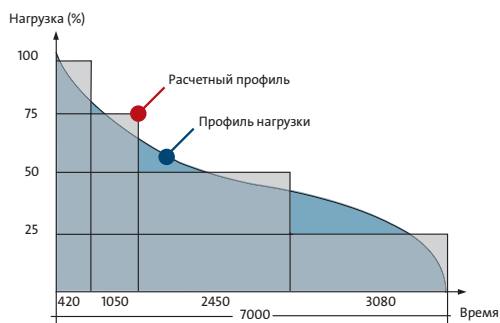
Регионы с тропическим и субтропическим климатом характеризуются самыми высокими средними температурами воздуха. В этих местах потребность в охлаждении превосходит потребность в отоплении. По мере удаления от экватора (приближения к северному или южному полюсу) климат становится холоднее и, таким образом, возрастает потребность в отоплении.

Одним из преимуществ регулирования температуры подачи является возможность увеличения  $\Delta t$  в системе.

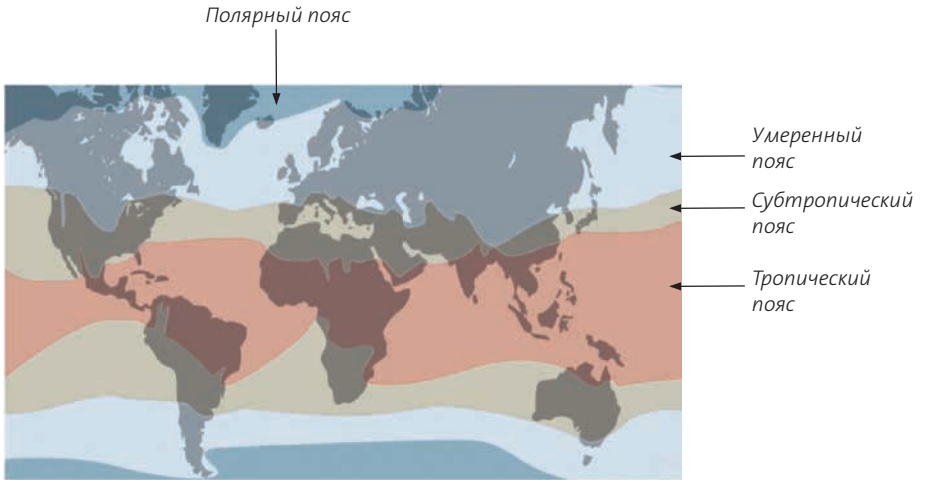
Даже незначительный прирост  $\Delta t$  оборачивается существенным снижением необходимого расхода и, как следствие, энергопотребления насосной системы.

	Распределение		Потребитель	
	$\Delta t$	Расход	$\Delta t$	Расход
Нагрузка	°C	м <sup>3</sup> /ч	°C	м <sup>3</sup> /ч
1	7,5	150	6	187
2	7,5	90	6	113
3	7,5	60	6	75
4	7,5	120	6	150
5	7,5	120	6	225
Всего		600		750

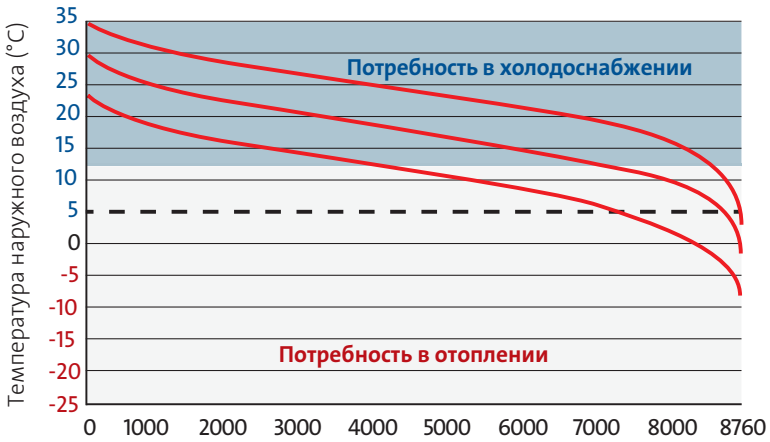
Увеличение  $\Delta t$  на 1,5 градуса позволяет уменьшить расход на 20 %



Профиль нагрузки и расчетный профиль



Карта климатических поясов мира



Профили нагрузки для различных климатических поясов.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕТИ

## Двухтрубная распределительная система

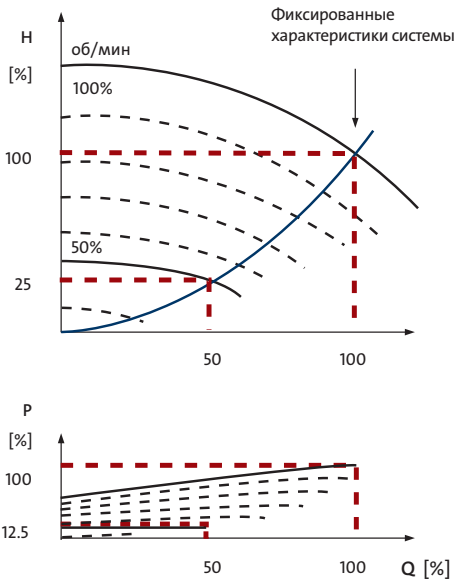
Подготовленная горячая или охлажденная вода распределяется потребителям через сеть теплоизолированных труб. Система центрального теплоснабжения состоит из подающей и возвратной линий. Обычно трубы укладываются в землю, но существуют и системы с надземными трубами. Поскольку системы проектируются на различные  $\Delta t$ , расход и, соответственно, диаметр труб также различаются. Температура в возвратной линии всегда должна быть как можно ниже для получения наибольшего  $\Delta t$ , при котором расход воды в трубах будет минимальным.

В европейских системах центрального холодоснабжения температура подачи часто задается в диапазоне от 4 °C до 10 °C, а температура в возвратной линии — приблизительно 10–20 °C, в зависимости от условий на месте. В системах центрального отопления разброс температур более значителен. В большинстве современных европейских низкотемпературных систем вода подается при 55 °C, но встречаются и системы с температурой 80–90 °C и более. Залог энергоэффективности теплоснабжающих предприятий — минимизация температуры в возвратной линии, из чего следует необходимость максимизации  $\Delta t$ . В целом заметна тенденция к относительно высоким температурам в холодоснабжении и низкотемпературному отоплению.



*Трубы центрального отопления, подготовленные к укладке.*





Регулируя подачу путем изменения скорости насоса, можно добиться экономии энергии. Например, при уменьшении скорости насоса на 50 % разность давлений (H) уменьшается до 25 %, а энергопотребление со 100 % снижается до 12,5 %.

Закон подобия показывает взаимосвязь между:

- частотой вращения
- подачей
- напором
- мощностью

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{ПОДАЧА > ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \text{НАПОР > ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ}$$

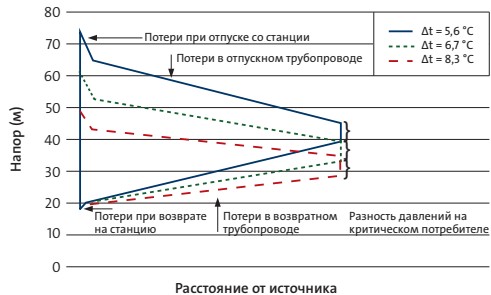
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad \text{МОЩНОСТЬ > ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ}$$

Эта тенденция обусловлена заинтересованностью в повышении рентабельности тепло- и холодоснабжения наряду с минимизацией потерь тепла в распределительной системе. В силу законов подобия  $\Delta t$  решающим образом влияет на стоимость перекачки.

За счет снижения скорости центробежного насоса достигается весьма значительная экономия энергии. Как показывает приведенный пример, уменьшение расхода на 50 % приведет к снижению энергопотребления на 88 % относительно первоначальной величины. В системах центрального холодоснабжения, где  $\Delta t$  намного ниже по сравнению с системами центрального отопления, особенно важно поддерживать  $\Delta t$  на приемлемом уровне. Далее показан профиль давлений, иллюстрирующий изменение требуемого перепада давления на главной насосной установке в зависимости от  $\Delta t$ .

Расчетные потери давления в сети существенно влияют на общее энергопотребление насосной системы. Рекомендуемый уровень удельных потерь давления на погонный метр — приблизительно 100 Па/м\*. Тем не менее наиболее целесообразным для выбора диаметра труб является проведение экономического анализа полной себестоимости, включая строительство и эксплуатацию.\*\* При определении расчетного расхода в системах распределения необходимо учитывать разброс требований потребителей, поскольку пиковая нагрузка у разных потребителей приходится на различное время.

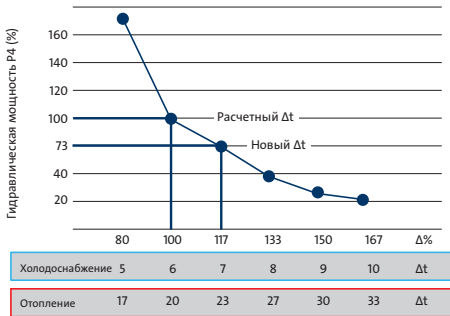
Таким образом, максимальная нагрузка, принимаемая при расчете теплопроизводительности станции и диаметра магистральных трубопроводов, должна быть несколько меньше суммы максимальных нагрузок отдельных потребителей. Соответствующий коэффициент разброса возможно уменьшить до 0,65, однако при его расчете нельзя упускать из внимания мощность и число нагрузок. Приведенный далее график иллюстрирует важность получения высоких значений  $\Delta t$ .



*Чем выше  $\Delta t$ , тем ниже требуемая разность давлений в системе. При увеличении  $\Delta t$  всего на 2,7 °C требуемая разность давлений уменьшается в 2,2 раза.*

\* Врфт 1988

\*\* Руководство ASHRAE (Амер. об-ва инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха), 2012 г.



*Взаимосвязь между  $\Delta t$  и  $P_4$  в системе.*

«Гидравлическая мощность  $P_4$  (%)» — это теоретическое расчетное значение, характеризующее отношение между  $\Delta t$  и необходимой мощностью для работы насоса. Это значение не учитывает КПД насоса, а лишь показывает взаимосвязь двух параметров.

На графике показано влияние изменения перепада температуры  $\Delta t$  всего на  $1^\circ\text{C}$  в системе холодоснабжения и на  $3^\circ\text{C}$  в системе отопления. На нем легко увидеть, что требуемую гидравлическую мощность можно уменьшить на 27%. Именно поэтому в любых условиях эксплуатации крайне важно уделять первоочередное внимание  $\Delta t$ .

Упомянутая гидравлическая мощность  $P_4$  представляет собой теоретическое расчетное значение, не учитывающее КПД насоса. Корреляция между  $\Delta t$  и мощностью, необходимой для работы насоса, определяется законами подобия. Столь высокое влияние этого параметра — следствие кубической зависимости расхода от мощности. Таким образом, даже незначительное увеличение  $\Delta t$  весьма существенно уменьшит требуемую мощность насоса, особенно в системах центрального холодоснабжения, поскольку расчетная величина  $\Delta t$  сравнительно низка.

## Укладка труб в грунт

Как можно видеть на фотографиях, трубы для центрального отопления обычно поставляются с заводской теплоизоляцией, уменьшающей потери тепла до сравнительно малого уровня. Трубы для центрального холодоснабжения в некоторых случаях не имеют теплоизоляции, поскольку температура охлажденной воды в трубах мало отличается от температуры прилегающего грунта. Безусловно, очень многое зависит от непосредственного географического положения. Например, на Ближнем Востоке, где температура воздуха высока, теплоизоляция может оказаться необходимой. Кроме того, даже неизолированные трубы должны иметь наружное покрытие, защищающее их от коррозии.

## Диспетчерское управление и сбор данных — SCADA

Принципиальным условием повышения эффективности системы центрального теплоэнергоснабжения является наделение диспетчерского состава средствами контроля и регулировки различных параметров системы. Эта задача решается комплексными SCADA-системами для эксплуатационного персонала. Например, контролируются такие параметры, как перепад давления в контурах потребителей и фактическая температура отпускаемого теплоносителя. Для оптимальной работы установки крайне важно контролировать температуру в возвратной линии от потребителей. В некоторых системах центрального холодоснабжения диспетчер наделен правом отключать потребителей, не соблюдающих согласованную температуру возврата теплоносителя.



Подземная теплотрасса в центре города.



Новые трубы готовы к укладке в промышленной зоне.

## АНАЛИЗ СЕТИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУР

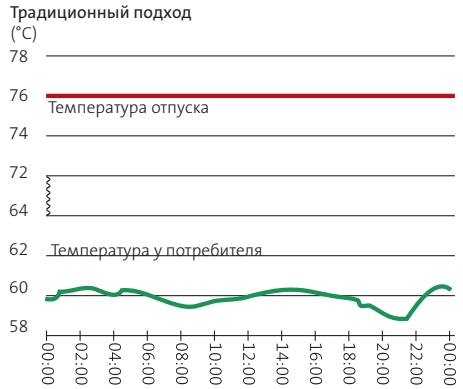
Большинство сетей ЦО претерпевают за свой срок службы различные изменения. Многие из существующих сетей ЦО естественным образом росли вместе с расширением городов. Другими словами, сети часто приобретали отличия от своего первоначального состояния как по масштабу, так и по характеру нагрузок. Нарастание систем ЦО обычно сопровождалось их усложнением: эксплуатация начинала требовать помощи компьютеров. Хотя многие сети ЦО изначально рассчитывались с использованием компьютерных моделей, с развитием вычислительной техники сегодня стал доступен куда более широкий арсенал средств компьютерного моделирования.

Помимо статических компьютерных моделей, распространившихся еще в конце 1980-х, начиная приблизительно с 2008 года стали применяться новые динамические модели, стыкуемые с другими системами, в т. ч. SCADA, синоптическими системами и системами телеметрии. Это сочетание открывает возможность более глубокой автоматизации, например, для регулирования температуры теплоносителя в контуре. Пример такой системы — программное обеспечение для управления центральным теплоэнергоснабжением TERMIS.

В частности, в системе TERMIS имеется модуль оптимизации температуры, который автоматически минимизирует потери тепла в сетях ЦО, обычно сберегая порядка 10 % тепла. В результате экономия затрат на тепло достигает 2 % при одновременном уменьшении выбросов CO<sub>2</sub>.

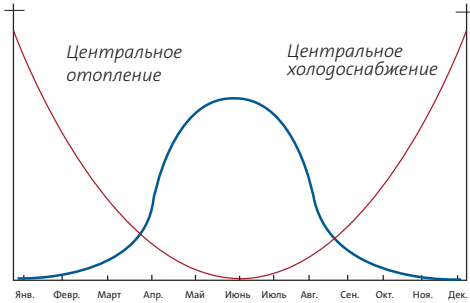
Температура на входе регулируется так, чтобы она оставалась минимально возможной с учетом количества тепла, доставляемого потребителям в сети. Модуль оптимизации температуры делает поправку на накопленную в сети энергию и влияние прогнозируемой температуры воздуха и скорости ветра. В перспективе можно ожидать еще более полной интеграции различных компьютерных систем, применяемых в современных сетях ЦО. Предметом основного внимания останется оптимизация потерь тепла, тем не менее она затронет также насосы и генерирующие мощности. Отдельного рассмотрения заслуживает оптимизация температуры возвратной линии — наиболее сложная, но и самая многообещающая в плане экономии задача.

В заключение можно отметить, что компьютерная оптимизация сетей ЦО сегодня делает лишь первые шаги. Можно ожидать дальнейшего роста вычислительной мощности и постоянного совершенствования таких программных средств моделирования, как система TERMIS. Такая система не утратит своей актуальности как незаменимый помощник оператора, предоставляющий ценные сведения для текущей эксплуатации и оказывающий поддержку в принятии зачастую непростых решений в тех ситуациях, когда на передний план выходит задача комплексной оптимизации системы ЦО.



*Иллюстрация традиционного и нового подхода к регулированию температуры с учетом потребности. Результат — снижение температуры отпускаемого теплоносителя.*





*Распределение нагрузок на отопление и холодоснабжение на протяжении года (в Северном полушарии)*

## ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛА И ХОЛОДА

### Потребность в отоплении и холодоснабжении

Потребность в отоплении или холодоснабжении прежде всего определяется местными климатическими условиями и спецификой потребителей. В полосе умеренного климата обычно требуются и отопление, и холодоснабжение.

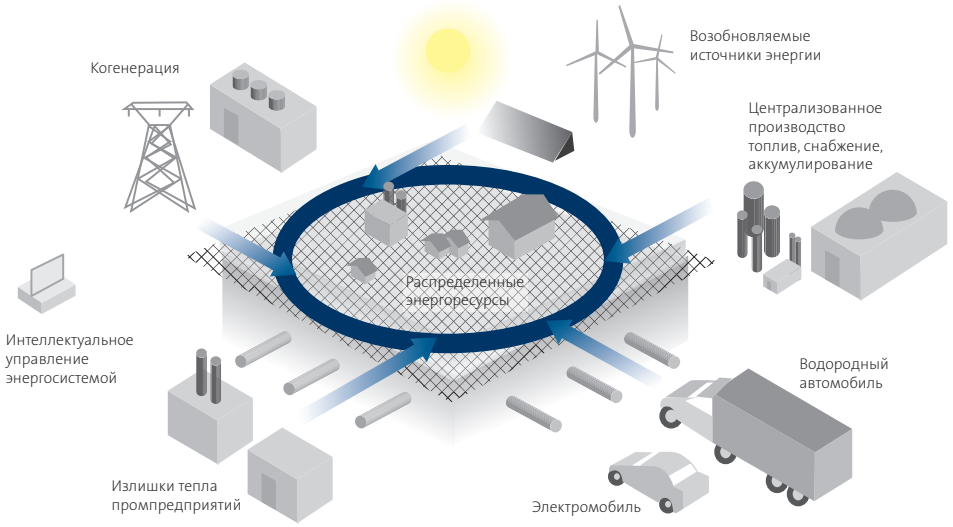
Принимая пиковые потребности в тепле и холоде количественно равными друг другу (это допущение часто соответствует действительности), продолжительность нагрузок можно описать показанным выше графиком. Кривая продолжительности нагрузки показывает изменение нагрузки на протяжении года (в данном случае — в странах Северной или Центральной Европы). Можно заметить, что отопительный сезон примерно втрое превосходит по продолжительности сезон холодоснабжения. С перемещением на юг соотношение между двумя потребностями изменится: меньше дней в году будет существовать потребность в отоплении, а холодоснабжение будет требоваться чаще.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Одним из главных преимуществ ЦТЭС является огромный потенциал снижения потребности в ископаемых топливах по сравнению с автономными системами. Это важно как для экономики, так и для экологии: широкое использование ископаемых видов топлива, таких как уголь, масло и природный газ, представляет собой одну из основных угроз климату, поскольку выбросы CO<sub>2</sub> усугубляют парниковый эффект во всем мире.

Типичными альтернативными источниками тепла, все чаще используемыми в системах ЦО, являются излишки тепла промпредприятий, теплота от сжигания городских отходов, биогаз и прочие виды биотоплива (например, солома фермерских хозяйств и древесина лесхозов в виде щепы или брикетированных опилок), геотермальная энергия, солнечная энергия и, в некоторой степени, ветряная энергия.

В системах центрального холодоснабжения подобные топлива могут приводить в действие адсорбционные холодильники, а в качестве естественного теплоотвода часто применяется холодная морская или озерная вода. Главным принципом большинства установок ЦТЭС является когенерация электроэнергии, тепла и холода. Имеются широкие возможности объединения этих видов генерации, например паровые турбины, способные работать на биомассе или городских отходах. Еще одной альтернативой являются газовые турбины и газовые двигатели, топливом для которых служит, например, биогаз. Такие



*Слагаемые экологически устойчивой энергосистемы — интеллектуальность, унификация, интеграция*

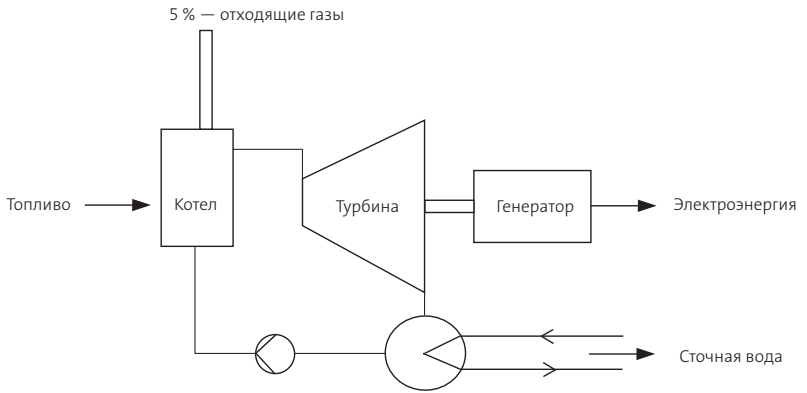
установки десятилетиями работали и нередко продолжают работать на угле, мазуте или природном газе.

Нельзя, однако, спорить с тем, что сегодня установки все чаще проектируются или переоснащаются для работы на возобновляемых источниках энергии. В этом заключается еще одно ключевое преимущество систем ЦТЭС: перевести одну крупную установку с ископаемых топлив на менее экологически вредные альтернативы проще, чем заменить тысячи отопительных котлов или электрических холодильных установок в крупном городе.

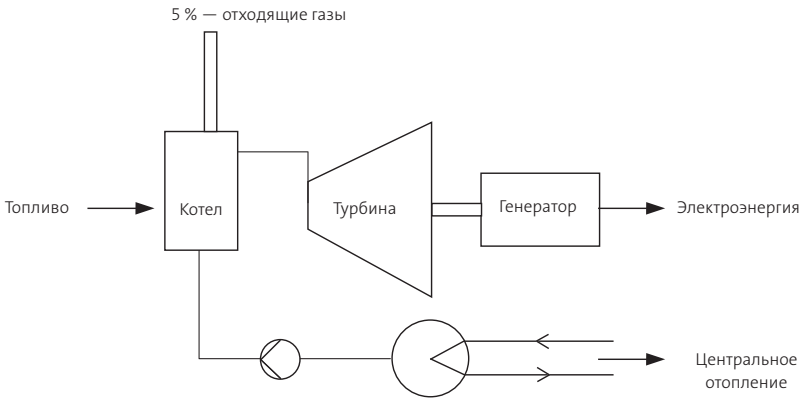
Кроме того, крупные системы центрального теплоэнергоснабжения обычно обладают и большим КПД из-за эффекта масштаба и благодаря тому, что требуемая мощность одной крупной системы, как правило, ниже суммарной мощности большого числа автономных установок. Сочетание низкой нагрузки у отдельных потребителей с высокой совокупной загруженностью мощностей крупномасштабной системы ЦТЭС выгодно всем потребителям. Следует также отметить, что, в отличие от индивидуальных установок, системы ЦТЭС эксплуатируются и обслуживаются специалистами, которые всегда обращают внимание на любые возможности оптимизации.

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ЦИКЛ ТЭЦ

Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) несет в себе значительный потенциал рационального использования энергии в городе с использованием существующих или прокладкой новых сетей ЦО. За счет



Принципиальная схема обычной тепловой электростанции



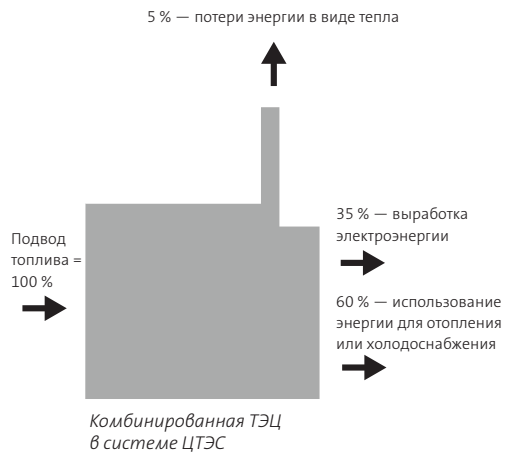
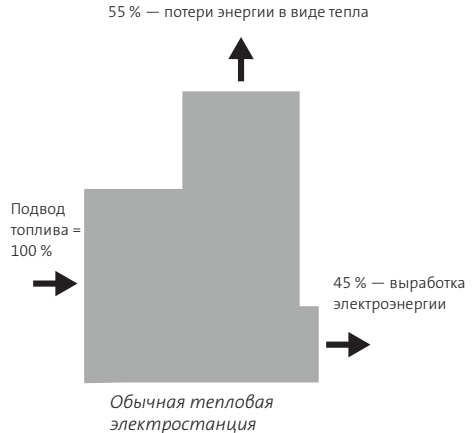
Принципиальная схема теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с комбинированной выработкой

комбинированной выработки можно повысить общую эффективность использования топлива. Обычная тепловая электростанция обладает КПД не выше 45 %: вместе с охлаждающей водой и (или) в градирне теряется 50 % энергии, а с отходящими продуктами сгорания — еще 5 %. За счет использования охлаждающей воды конденсатора при (повышенной) температуре, подходящей для системы ЦО, наряду с уменьшением КПД по выработке электроэнергии приблизительно до 35 %, можно использовать теплосодержание охлаждающей воды для отопления.

Благодаря этому максимальный полный КПД ТЭЦ может составлять 95 % (35 % — по электроэнергии, 60 % — по теплу).

Очевидно, что такая иллюстрация упрощает принцип работы электростанций, и приведенные значения лишь ориентировочно характеризуют потенциал утилизации тепла на ТЭЦ. При планировании переоснащения существующей электростанции в ТЭЦ или проектировании новой станции, безусловно, необходимо учесть снижение выработки электроэнергии — в данном случае с 45 % до 35 % теплотворной способности топлива, хотя дефицит энергии можно покрыть выработкой другой станции. В то же время ТЭЦ значительно уменьшает общий расход топлива: вырабатываемое ею тепло позволит отказаться от множества мелких, неэффективных котельных.

Традиционные котельные и индивидуальные мини-системы обычно используют ископаемые виды топлива, такие как уголь, мазут и газ, либо имеют в своей основе простой электронагреватель и весьма неэффективны. В отличие от них, система ЦО утилизирует тепло, вырабатываемое при производстве



электроэнергии. Это позволяет использовать отработавшую охлаждающую воду, которая в противном случае отдала бы тепло окружающей среде, для полезных нужд. Такая концепция городской энергосистемы несет в себе и экономию топлива, и снижение производственных издержек. Преимущества ощутимы и для потребителей электроэнергии, и для потребителей тепла. Для дальнейшего снижения потребления ископаемых видов топлива можно строить или переоснащать ТЭЦ для сжигания биомассы или городских отходов.

За последние десятилетия накоплен опыт модифицирования ряда электростанций в ТЭЦ, способные снабжать теплом окрестные города, в которых системы ЦО были построены ранее в расчете на работу от котельных. В других случаях строились новые ТЭЦ, к которым подводились существующие или вновь сооружаемые теплосети, покрывающие обширные части городов. Теплотрассами также соединялись и соседние города, что позволяло использовать преимущество эффекта масштаба.

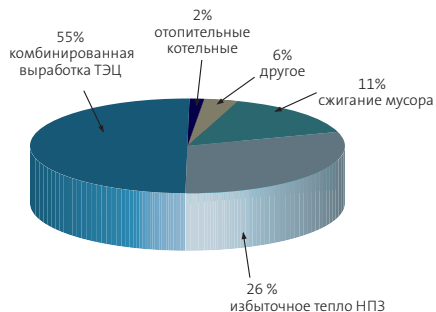
Зачастую ТЭЦ изначально проектируются на комбинированную выработку. Однако опыт также свидетельствует о возможности модернизации существующих конденсационных электростанций для одновременной выработки тепла и электроэнергии. Это достигается, например, путем отведения пара с турбины среднего давления для нагрева воды в системе ЦО.

## Другие доступные источники тепла

Система ЦО способна утилизировать любое отходящее тепло от местных источников в городе и его окрестностях. Например, можно использовать избыточное тепло горячих топочных газов цементных заводов, охлаждающей воды нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) или любого другого производственного процесса, выпускаемое в воздух через конденсаторы или градирни.

Очевидно, отбор тепла должен осуществляться в соответствии с температурой, которую требуется поддерживать в системе ЦО. Согласовать эти два параметра не всегда легко, но очень часто сотрудничество между поставщиком и компанией, заинтересованной для ЦО, в утилизации избыточного тепла для ЦО, способно привести к удовлетворительному результату. Одним из решений для теплоснабжающей компании может стать установка серии теплообменников на участках предприятия с различной температурой для ступенчатого нагрева. В других случаях будет целесообразен тепловой насос для повышения температуры. Кроме того, компания может регулировать собственные мощности таким образом, чтобы вклад промпредприятий использовался как минимум для начального подогрева воды для ЦО.

### ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ. Схема региональной системы ЦО на несколько городов



Состав источников тепла для системы центрального отопления



Система централизованного теплоснабжения компании TVIS. Красным цветом обозначены линии и подстанции магистральной распределительной системы. Желтым цветом обозначены соединенные с TVIS сети, принадлежащие местным теплоснабжающим организациям.



Система ЦО в центральной части Дании обслуживает 80 000 домов в нескольких городах: Вайле, Фредерисии, Мидельфарте и Кольдинге, эффективно реализуя значительные излишки генерируемого тепла потребителям. До основания региональной теплосетевой компании TVIS на рынке локального центрального отопления долгое время действовали восемь компаний. Теперь сети каждой из них соединены с региональной распределительной системой через 25 крупных подстанций. Теплораспределительная сеть общей протяженностью 140 км построена и эксплуатируется компанией TVIS, основанной четырьмя перечисленными муниципалитетами в 1982 году. В общей сложности к системе подключены 55 000 потребителей, включая частные и многоэтажные жилые дома, общественные здания, офисные комплексы и предприятия.

Главные поставщики тепла — НПЗ компании Shell во Фредерисии, крупная ТЭЦ Skærbæk во фьорде Кольдинг, а также мусоросжигательная тепловая электростанция TAS в Кольдинге, перерабатывающая бытовые отходы всех муниципалитетов.

### **Эффективное использование энергии**

Невозможно отрицать, что единая система, соединяющая все местные предприятия ЦО друг с другом, позволяет эффективно использовать избыточное тепло, которое иначе было бы потеряно безо всякой пользы. Отказ от автономной эксплуатации котлов на мазуте или газе в бывших районных котельных позволил свести непосредственное потребление ископаемых видов топлива для центрального отопления практически до нуля. Решение обойдется дешевле потребителям услуг ЦО и улучшит экологическую ситуацию для всех жителей региона. Несомненно, это пойдет на пользу и для климата нашей планеты благодаря сокращению выброса парниковых газов.

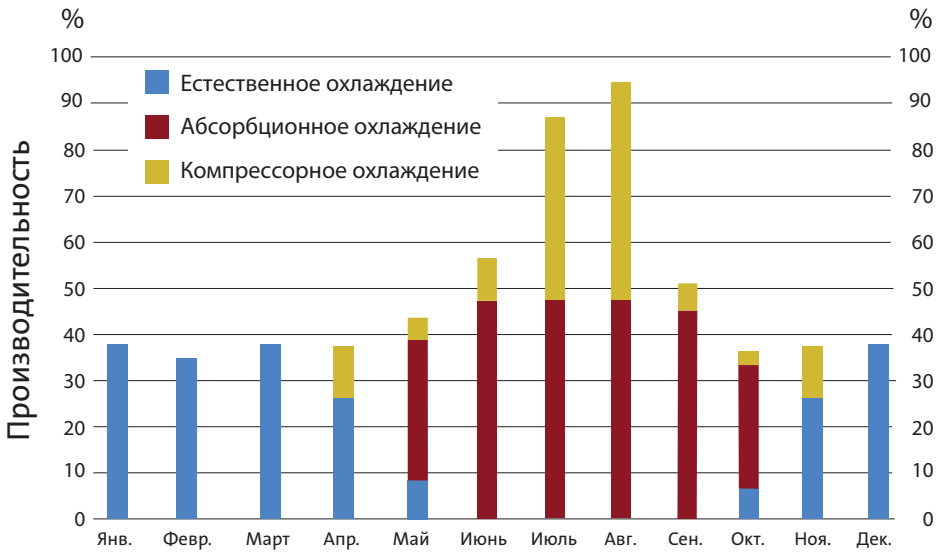
25-летний опыт эксплуатации доказал надежность теплоснабжающих предприятий и распределительной сети. В совокупной годовой выработке тепла доля ТЭЦ составляет около 55 %, НПЗ — 26 %, сжигание мусора — 11 %, 6 % приходится на другие источники и лишь 2 % приходится на отопительные котельные, запускаемые на очень короткое время в периоды сильных морозов.

## Комбинированная выработка холода, тепла и электроэнергии

Приготовление холодной воды для распределения потребителям производится на станциях ЦХС. Так же, как и в системах ЦО, применяется комбинированная генерация с использованием альтернативных видов топлива или возобновляемых источников энергии и различных видов холодильников (компрессорных, абсорбционных, с естественным охлаждением).

При планировании таких систем необходимо всегда учитывать существующее и прогнозируемое потребление. Также необходимо рассмотреть наличие и возможность использования местных ресурсов естественного охлаждения и потенциальных источников сбросового тепла или биомассы для работы абсорбционных холодильников. Наконец, компрессоры с механическим или электрическим приводом могут быть использованы на станции тригенерации, вырабатывающей тепло, холод и электричество.

Самый очевидный источник — естественное охлаждение. Даже если его недостаточно для обеспечения полной потребности, с помощью морской или озерной воды возможно покрыть существенную часть базовой нагрузки.



Распределение источников холодоснабжения на протяжении года

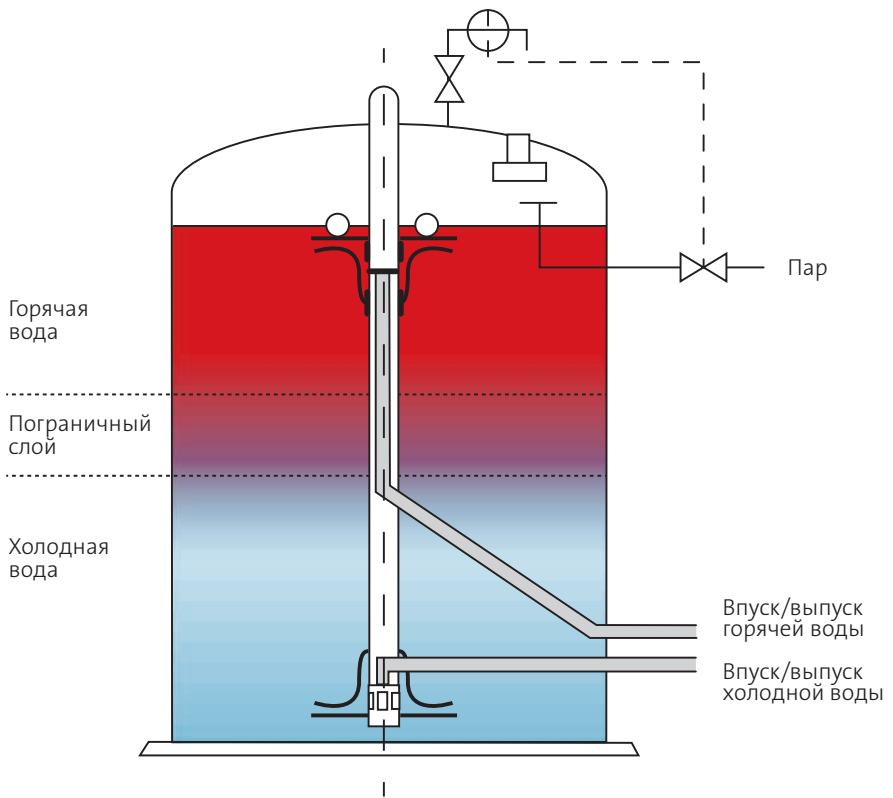
## ПОДГОТОВКА ВОДЫ

В сфере ЦТЭС большую важность имеет профилактика коррозии, от которой зависят герметичность и долговечность системы. Решающее значение имеет подходящее качество воды. Эта проблема носит весьма многосторонний характер, и мы хотим лишь подчеркнуть, что опыт диктует строгие требования к ряду параметров оборотной воды: теплопроводности, кислотности, некарбонатной жесткости, содержанию кислорода и хлора.

## СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Для уменьшения взаимозависимости между выработкой и потреблением тепла, холода и электроэнергии можно аккумулировать тепло или холод. Такие способы аккумулирования, как резервуары, колодцы и водоносные горизонты, применяются уже много лет. Они повышают гибкость эксплуатационного управления станцией и помогают экономить топливо.

Теплоаккумулирующий резервуар стал характерным атрибутом многих ТЭЦ. Резервуар заполняется водой системы ЦО и работает под подушкой из азота или водяного пара, компенсирующей расширение и предотвращающей попадание кислорода из атмосферы. В основании и непосредственно под поверхностью, установлены два кольцевых диффузора, уменьшающих возмущения воды за счет плавного растекания поступающей и отбираемой воды в радиальном направлении внутри резервуара.



Принцип работы теплоаккумулирующего резервуара

При этом в резервуаре образуются слои воды различной температуры: горячая вода, отбираемая через выпускную линию, сосредотачивается вверху резервуара, а более холодная вода из возвратной линии собирается внизу.

Во время зарядки сверху в резервуар будет поступать горячая проточная вода от ТЭЦ, а холодная возвратная вода будет отбираться снизу и подаваться в ТЭЦ для подогрева. Пограничный слой, характеризуемый высоким температурным градиентом между горячей и холодной водой, будет постепенно опускаться ко дну. Во время разрядки, например при остановке работы ТЭЦ на ночь, процесс будет обращен: горячая вода сверху начнет перекачиваться в сеть ЦО, а холодная возвратная вода будет закачиваться в резервуар снизу. В результате пограничный слой будет подниматься до исчерпания запаса тепла в резервуаре. Такие резервуары могут устанавливаться для обеспечения работы ТЭЦ на полной мощности в моменты пиковых утренних и вечерних нагрузок. В других случаях их установка обоснована возможностью остановки работы ТЭЦ на ночь или выходные без ущерба для теплоснабжения.

Станции ЦО малого и среднего масштаба все чаще оснащаются площадками солнечных коллекторов средней мощности для использования этого возобновляемого источника тепла. Солнечная энергия доступна преимущественно в летний период, когда потребность в тепле составляет лишь порядка 25 % пиковой зимней нагрузки. В настоящее время применяются так называемые теплоаккумулирующие колодцы, позволяющие более полноценно утилизировать солнечную энергию, покрывая до 50 % годовой потребности в тепле.

Теплоаккумулирующий колодец представляет собой крупную прямоугольную выемку в грунте. Извлеченный материал насыпается



*ТЭЦ в Студструпе (пригород г. Орхус, Дания) рассчитана на электрическую мощность до 350 МВт и тепловую мощность до 455 МВт (3,43 млн Гкал в год). Крайнее строение справа — резервуар ТЭЦ объемом 33 000 м<sup>3</sup>.*

по периметру колодца в виде вала, а дно и стены изолируются водонепроницаемой пленкой.

Колодец заполняется водой и накрывается сверху плавающей теплоизолированной крышкой. В этом случае вода точно так же разделяется на верхний горячий слой и нижний холодный. Схожие решения могут использоваться для аккумулирования холода в системах ЦХС. Дополнительным источником естественного охлаждения в них может стать собираемый зимой снег или лед.

Водоносный горизонт — еще один способ создания запасов тепла или холода на зиму или на лето. Как правило, для устройства таких систем необходимо наличие водоносного горизонта вблизи потенциальной станции ЦО или ЦХС. Такая система введена в эксплуатацию компанией Grundfos совместно с оператором системы ЦО г. Бьеррингбро в 2013 году.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ. Тесное сотрудничество между Grundfos и оператором системы центрального отопления города Бьеррингбро.

В 2013 году компания Grundfos совместно с теплоснабжающей компанией города Бьеррингбро ввела в эксплуатацию систему центрального отопления, утилизирующую образующееся в процессе работы холодильного оборудования предприятия тепло.

Работа компрессоров — дорогостоящий и энергоемкий процесс, избыточное тепло от которого выбрасывается в воздух через градирни.

В основе новой станции лежат три составляющие: утилизация излишков тепла холодильной системы предприятия, аккумулирование тепла в водоносном горизонте и дополнительный подогрев отбираемой пластовой воды тепловым насосом с целью ее использования в центральном отоплении.





На протяжении лета выработанное холодильной системой предприятия Grundfos тепло не используется, поэтому оно отводится через трубопровод для хранения в водоносном горизонте на расстоянии 750 м. Осенью, когда возникает потребность в подводе тепла для системы ЦО, остается доступно порядка 80 % запасенного летом тепла. Чтобы довести температуру до необходимой в сети ЦО, компания-оператор ЦО в городе Бьеррингбро применяет тепловой насос. Зимой оператор ЦО расходует аккумулированное тепло, а также получает излишки тепла от компрессоров напрямую.

Компания Grundfos экономит до 90 % энергии, прежде утилизировавшей в градирнях, а оператор ЦО сможет снизить потребление газа на своей ТЭЦ. Партнеры в сумме вложили в этот проект 4,7 млн евро, распределив доли в пропорции 50/50. Ежегодная экономия на энергоносителях составит порядка 0,4 млн евро. Это соответствует сроку окупаемости 12–13 лет. Такой срок устраивает оператора ЦО, но для производственных компаний зачастую оказывается слишком долгим. Вместе с тем, одновременное снижение выбросов CO<sub>2</sub> на 3700 т согласуется с политикой Grundfos в части экономии энергии и экологической устойчивости, что делает достигнутый результат всецело удовлетворительным.

## ДАНИЯ КАК ПРИМЕР

Практически в течение века Дания пользуется преимуществами сетей ЦО, уверенно развивавшимися на протяжении этого времени. В 2010 году этим способом отапливалось почти 64 % всех домохозяйств Дании. К сетям ЦО также подключены многочисленные общественные и офисные здания. Многие датские города охвачены сетями ЦО приблизительно на 95 %. В последнее десятилетие в центральных районах Копенгагена начала также действовать система центрального холодоснабжения.

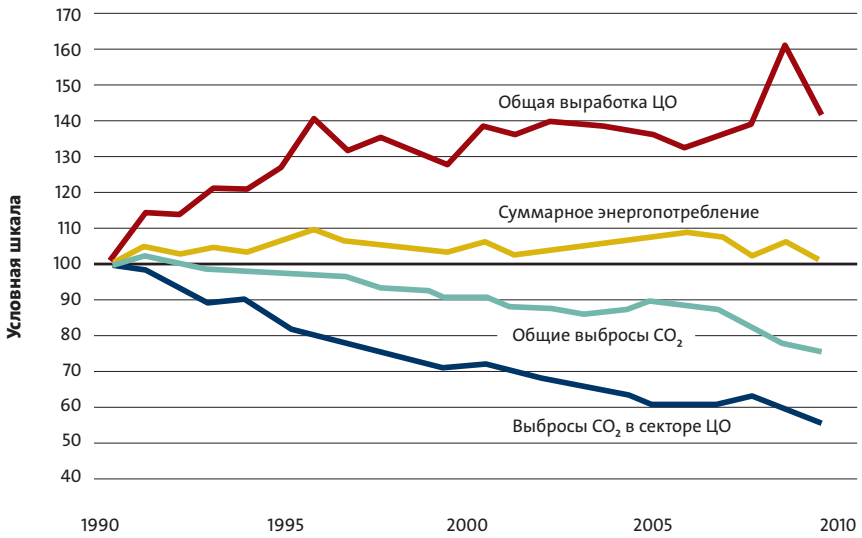
Во время как 35 лет назад системы ЦО работали главным образом на мазуте, доля угля и газа долгое время росла. Однако одновременно ширилось использование биотоплива, сбросового тепла и возобновляемых источников энергии. Теперь на долю этих источников приходится 52 % подводимой теплоты в 400 системах ЦО, обслуживающих почти все малые и большие города страны. В ближайшем будущем можно ожидать еще более широкого использования биомассы, в особенности на ТЭЦ и крупных котельных.

В долгосрочной перспективе центральное отопление будет более плотно интегрировано с получением энергии из возобновляемых источников. Потребление тепла зданиями постепенно снизится благодаря изысканию новых подходов в строительстве и расширению работы по модернизации существующих зданий.

В результате смены источников энергии за последние десять лет выбросы CO<sub>2</sub> в датском тепловом хозяйстве уменьшились до порядка 60 % от уровней 1990 года, что внесло наиболее существенный вклад в общее снижение выбросов CO<sub>2</sub> в стране до примерно 85 % от уровней 1990 года.



*В Дании центральному отоплению отводится важная роль. Около 450 малых и крупных станций подают тепло в 1,6 млн домохозяйств, охватывая около 64 % жилого сектора. Потребителями также являются многочисленные учреждения и предприятия.*

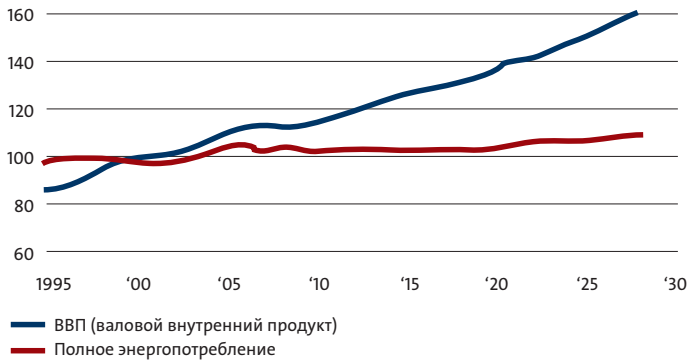


Общее влияние датского теплового хозяйства на изменение климата.

Источник: Energistatistik 2012, расчеты COWI A/S.

Немаловажной деталью является широкое распространение ТЭЦ, принцип работы которых позволяет использовать любое топливо с более высоким КПД, чем в случае раздельной выработки электрической и тепловой энергии. Около 60 % всей электроэнергии в Дании теперь вырабатывается в комплексе с ЦО, а 80 % нужд ЦО, в свою очередь, покрывается ТЭЦ.

Условная шкала (2000 г. = 100)



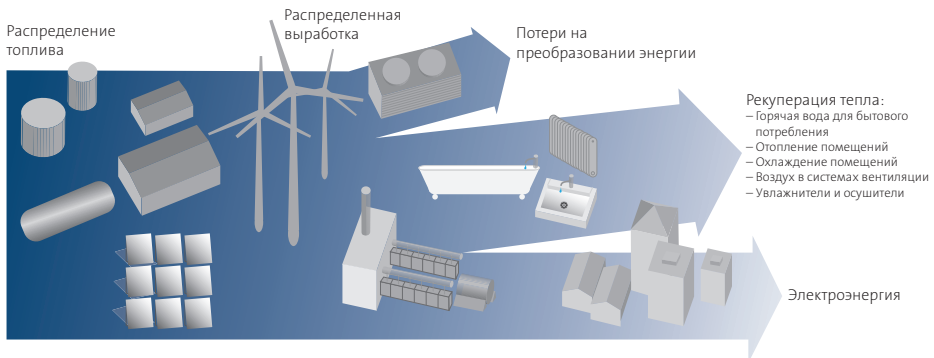
ВВП и полное энергопотребление (с поправкой на климат).  
Показатели прошлых лет и прогноз.

Источник: Агентство по энергетике Дании

За последние сто лет в центральном отоплении сменилось несколько источников энергии: антрацит, бурый уголь, мазут, снова уголь, природный газ. Теперь же пришло время возобновляемых источников. Надвигающийся дефицит заставит в ближайшие годы отказаться и от биомассы. Продолжится развитие технологий, позволяющих использовать солнечную, ветровую и геотермальную энергию, а также другие перспективные источники.

За последние 25 лет миллиарду жителей Земли удалось покончить с бедностью и стать представителями среднего класса. Это обстоятельство еще больше увеличило потребность в энергии. Ожидается, что в ближайшие 25 лет к среднему классу присоединятся еще 3 миллиона человек. Это обещает стать колоссальным испытанием для энергетики. Рациональное использование ископаемых видов топлива станет обязательным. Весьма желательно стремиться к тому, чтобы основная часть завтрашних энергетических потребностей покрывалась возобновляемыми источниками.

Подробнее о центральном отоплении в Дании можно узнать на сайте [www.dbdh.dk](http://www.dbdh.dk).



Принципы организации комбинированной теплоэнергосистемы

## Интеллектуальные города будущего

Концепция «интеллектуальных городов» предполагает интеллектуальное управление и интеграцию множества систем и служб, включая электроэнергетику, центральное отопление и холодоснабжение, водопровод, канализацию и утилизацию отходов. В контексте общего стремления к энергоэффективности она также затронет городской общественный и личный транспорт.

Накопленные знания наглядно показывают доступность и экономическую целесообразность еще большего энергосбережения наряду с заботой об окружающей среде, таким образом делая первый шаг в сторону меньшего воздействия на наш климат.

Уже сегодня системы ЦО массивно утилизируют избыточное тепло во многих городах мира, помогая снизить затраты на энергию в местном масштабе. Системы центрального отопления прозваны системами «утилизации энергетических отходов» за их возможность использовать избыточное тепло электростанций, холодильных установок, промпредприятий и мусоросжигательных заводов. Кроме того, с ними все шире используются доступные возобновляемые источники энергии: геотермальной, солнечной и ветряной.

Тепловые насосы могут стать необходимым звеном для повышения температуры источника тепла с учетом потребностей системы ЦО. Вместе с тем в системах ЦО заметна тенденция к снижению температуры отпускаемого и возвращаемого теплоносителя. Схожая картина наблюдается и в современных системах местного и центрального холодоснабжения, работающих при более высокой температуре, чем прежде. Эти меры помогают снизить

неизбежные потери тепла в системах ЦТЭС. Работа систем ЦО при более низких температурах (а систем ЦХС — при более высоких температурах) также повышает общий КПД генерирующих мощностей.

Хорошо известно, что при равном расходе топлива на ТЭЦ выработка энергии увеличивается при меньшей температуре охлаждающей воды (которая на ТЭЦ также используется в системе ЦО). Кроме того, при низких температурах возможно эффективнее использовать тепло из возобновляемых источников, равно как и излишки тепла предприятий или сбросовое тепло.

Уменьшение рабочей температуры систем ЦО также открывает возможность использования маломощных и локальных источников энергии, например отходящего тепла серверных помещений или трансформаторной станции в любой части города. Перспективными «печками» для будущих систем ЦО могут стать даже теплые стоки душевых и отходящее тепло кухонь.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянный рост мировой потребности в энергии, особенно электрической, стал неоспоримым фактом. В этом отношении разумно сделать инфраструктуру ЦТЭС обязательной частью градостроительной практики и объединять все службы, необходимые городу, в компактные и энергоэффективные системы.

Централизованное теплоэнергоснабжение является одной из таких служб и успело доказать свою практическую ценность в ряде городов. Имеется значительный потенциал дальнейшей интеграции и развития с повышением энергоэффективности, освоением новых ниш и появлением интеллектуальных решений в будущем.

be think innovate

---

ООО «ГРУНДФОС»  
ул. Школьная, д. 39-41, стр. 1,  
Москва, 109544  
Тел.: +7 495 737-30-00  
Факс: +7 495 564-88-11  
[www.grundfos.ru](http://www.grundfos.ru)

**GRUNDFOS** 

Название Grundfos, логотип Grundfos и Be-Think-слово являются зарегистрированными торговыми марками, принадлежащими Grundfos Management AS или Grundfos AS, Дания. Все права защищены.

7024780/1017