

Integrating low-temperature renewables in district energy systems

Guidelines for policy makers

Bertelsen, Nis; Mathiesen, Brian Vad; Djørup, Søren Roth; Schneider, Noémi Cécile Adèle; Paardekooper, Susana; Sánchez García, Luis; Thellufsen, Jakob Zinck; Kapetanakis, John; Angelino, Luca; Kiruja, Jack

Publication date:
2021

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Bertelsen, N., Mathiesen, B. V., Djørup, S. R., Schneider, N. C. A., Paardekooper, S., Sánchez García, L., Thellufsen, J. Z., Kapetanakis, J., Angelino, L., & Kiruja, J. (2021). *Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers*. International Renewable Energy Agency.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

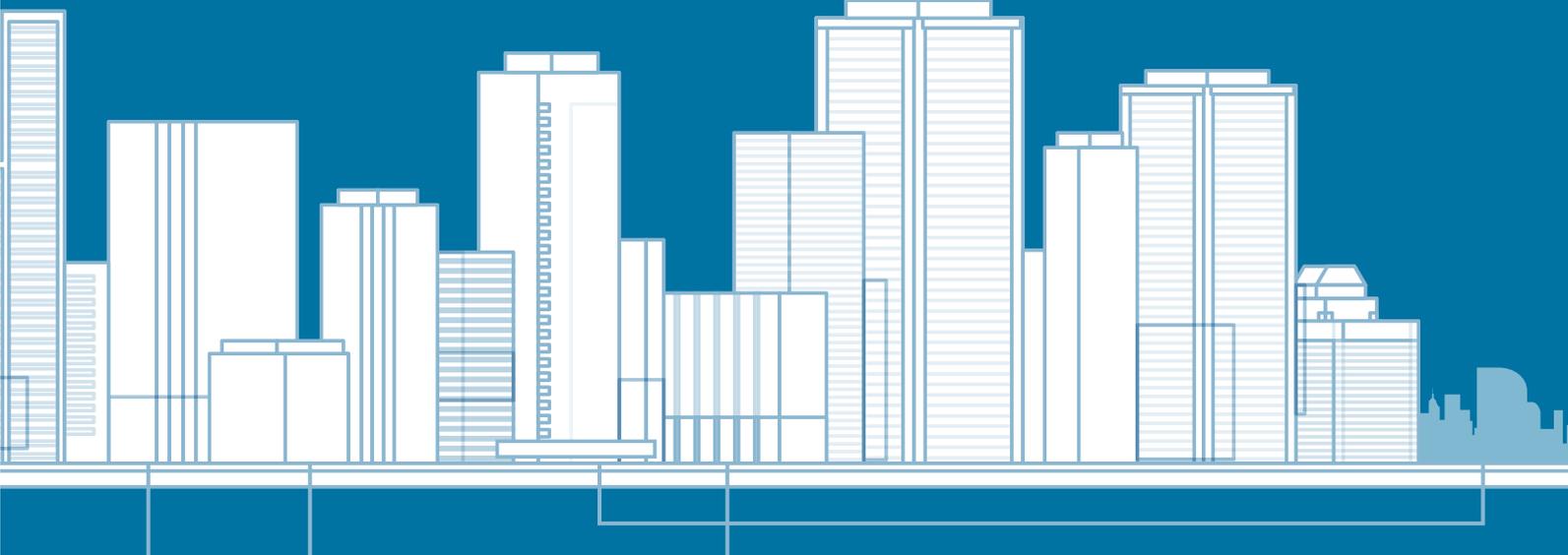
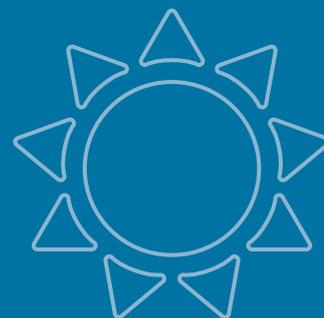
If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



AALBORG UNIVERSITY
ДАНИЯ



ИНТЕГРАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЫ РАЙОННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ



РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ЛИЦ, ОТВЕТСТВЕННЫХ
ЗА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИТИКИ



При поддержке:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

При отсутствии иных указаний настоящая публикация и материалы в ней являются собственностью Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) и защищены авторским правом IRENA. Материалы в настоящей публикации можно свободно использовать, распространять, копировать, воспроизводить, печатать и (или) хранить при условии, что все такие материалы должны быть чётко обозначены как собственность агентства IRENA и должны иметь отметку авторского права (© IRENA) с указанием года действия авторского права. Материалы, которые содержатся в настоящей публикации и принадлежат третьим лицам, могут быть защищены авторским правом третьих лиц и регулироваться отдельными условиями использования и ограничениями, включая ограничения в отношении любого коммерческого использования.

ISBN 978-92-9260-317-5

Цитирование: исследование IRENA и AAU (2021), «Интеграция низкотемпературных возобновляемых источников энергии в системы районного энергоснабжения: рекомендации для лиц, ответственных за формирование политики», Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Ольборгский университет, Абу-Даби, Копенгаген.

Данный документ является переводом исследования «Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers» ISBN: 978-92-9260-316-8 (2021). В случае расхождений между переводом и оригиналом на английском языке преимущественную силу имеет текст на английском языке.

Об агентстве IRENA

Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) – это межправительственная организация, которая помогает странам переходить на модель устойчивого энергетического будущего и является основной платформой для международного сотрудничества, примером для подражания и источником политики, технологий, ресурсов и финансовой информации в сфере возобновляемой энергии. Агентство IRENA продвигает активное внедрение и рациональное использование всех форм возобновляемых источников энергии, включая биоэнергетику, геотермальную энергетику, гидроэнергетику, океанскую, солнечную и ветряную энергетику, стремясь обеспечить устойчивое развитие, доступ к энергии, энергетическую безопасность и экономический рост и процветание с низким уровнем углеродных выбросов. www.irena.org

Общие сведения об Ольборгском университете

Ольборгский университет был основан в 1974 году. Департамент планирования в Ольборгском университете проводит различные исследования, в том числе в области планирования энергоснабжения. Исследовательская группа по устойчивому энергетическому планированию при Департаменте планирования Ольборгского университета уже более 25 лет применяет междисциплинарный подход к планированию устойчивых источников энергии, при котором комплексно рассматриваются технико-экономические, географические и социально-политические аспекты. www.en.plan.aau.dk/research+groups/SEP/

Благодарности

Агентство IRENA выражает благодарность членам специальной консультативной группы экспертов, сформированной IRENA и Ольборгским университетом из представителей Международного геотермального альянса (Global Geothermal Alliance, GGA) и других структур, задействованных в секторе районного тепло- и холодоснабжения, за их ценный вклад в исследование. Исходную информацию и обратную связь предоставили следующие эксперты: Эйрик Брасон (Eiríkur Bragason) (Arctic Green Energy), Леони Паоло (Leoni Paolo) и Ральф-Роман Шмидт (Ralf-Roman Schmidt) (Австрийский институт технологий – Центр по энергетике (Austrian Institute of Technology – Center for Energy)), Ван Вэйцюань (Wang Weiquan) (Китайская ассоциация отрасли возобновляемой энергетики (Chinese Renewable Energy Industries Association – CREIA)), Изабел Кабрита (Isabel Cabrita) и Мария Карла Лоуренсу (Maria Carla Lourenco) (Главное управление энергетики и геологии Португалии), Оливье Ракль (Olivier Racle) (Engie), Самра Арно (Samra Arnaut) (Епова – Босния), Элой Пиел (Eloi Piel) (Euroheat & Power), Боян Богданович (Bojan Bogdanovic) и Грег Джебраил (Greg Gebraill) (Европейский банк реконструкции и развития), Кэтрин Хиксон (Catherine Hickson) (Geothermal Canada), Кристиан Гишлер (Christiaan Gischler) (Межамериканский банк развития (Inter-American Development Bank – IDB)), Марит Броммер (Marit Brommer) (Международная геотермальная ассоциация (International Geothermal Association – IGA)), Юре Цизман (Jure Cizman) (Институт Йозефа Стефана (Jozef Stefan Institute) – Словения), Аннамария Надор (Annamaria Nador) (Горная и геологическая служба Венгрии), Поль Боннеблан (Paul Bonnetblanc) (Министерство комплексных экологических преобразований – Франция), Пол Рамсак (Paul Ramsak) (Агентство Нидерландов по работе с предприятиями (Netherlands Enterprise Agency – RVO)), Йон Эрн Йонссон (Jón Örn Jónsson) (Reykjavik Geothermal), Кристиан Холтер (Christian Holter) (SOLID solar thermal systems), Себастьян Даннеелс (Sebastien Danneels) (городской совет г. Сток-он-Трент – Великобритания), Селия Мартинес (Celia Martinez) и Чжолунь Чен (Zhuolun Chen) (Программа ООН по окружающей среде (UNEP)), Асту Сам Пративи (Astu Sam Pratiwi) и Марк Якса Розен (Marc Jaxa Rozen) (Университет Женеви), Элин Халлгримсдоттир (Elin Hallgrimsdottir) и Юри Фредерик де Вит (Jøri Frederik de Wit) (программа ESMAP (программа содействия управлению энергетическим сектором) Всемирного банка) и Эмин Селлахаттин Умду (Emin Selahattin Umdu) (Университет Яшар – Турция). Кроме того, ценную информацию предоставили коллеги из IRENA – Фабиан Баррера (Fabian Barrera), Йонг Чен (Yong Chen), Дзинлэй Фенг (Jinlei Feng), Имен Гербудж (Imen Gherboudj), Сын У Кан (Seungwoo Kang), Пол Комор (Paul Komor) и Тосимаса Масуяма (Toshimasa Masuyama). Участники мероприятия «Интеграция низкотемпературных возобновляемых источников энергии в системы районного тепло- и холодоснабжения», прошедшего в Сербии в декабре 2019 года, также представили ценные материалы, которые обогатили содержание данного доклада.

Представленные на семинаре презентации доступны на сайте IRENA:

<https://irena.org/events/2019/Dec/Energy-Solutions-for-Cities-of-the-Future>.

Соавторы: Данный доклад был подготовлен под руководством г-на Гюрбюза Гёнюля и г-на Сальваторе Винчи (IRENA) следующими авторами: Лука Анджелино (Luca Angelino) и Джек Кируджа (Jack Kiruja) (IRENA), Нис Бертелсен (Nis Bertelsen), Сёрен Рот Дьёруп (Søren Roth Djørup), Луис Санчес-Гарсия (Luis Sánchez-García), Брайан Вад Маттисен (Brian Vad Mathiesen), Сузана Паардекоопер (Susana Paardekooper), Нозми Шнайдер (Noémi Schneider) и Якоб Зинк Теллуфсен (Jakob Zinck Thellufsen) (Ольборгский университет). Ценные советы были предоставлены Амджадом Абдуллою (Amjad Abdulla) (IRENA).

Поддержка ИКИ

Данный доклад является частью проекта «Решения в области энергетики для городов будущего», который реализуется при поддержке Международной климатической инициативы (ИКИ). Федеральное министерство окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов Германии (BMU) поддерживает данную инициативу, опираясь на решение, принятое Бундестагом Федеративной Республики Германия.

Для получения дополнительной информации или высказывания замечаний и пожеланий обращайтесь по адресу: publications@irena.org

Данный доклад можно скачать по ссылке: www.irena.org/publications и <https://vbn.aau.dk/>

Отказ от ответственности

Настоящая публикация и материалы в ней предоставляются «как есть», в информационных целях.

Агентство IRENA предприняло все разумные меры, чтобы обеспечить достоверность материалов, представленных в настоящей публикации. Агентство IRENA, её должностные лица, агенты, лицензиары, источники данных или другого стороннего содержимого не предоставляют никаких гарантий, в том числе гарантий точности, полноты и пригодности для конкретной цели или применения такого материала или гарантий нарушения прав третьих лиц и отказываются от какой-либо ответственности или обязательств в отношении использования публикации и содержащихся в ней материалов.

Материал, содержащийся в настоящей публикации, не обязательно отражает позицию членов IRENA и не является одобрением какого-либо проекта, продукта или поставщика услуг. Используемые обозначения и способ предоставления материалов в настоящей публикации не указывают на какие-либо суждения со стороны агентства IRENA в отношении юридического статуса каких-либо регионов, стран, территорий, городов или районов либо их властей, а также в отношении демаркации границ.

Интеграция низкотемпературных возобновляемых источников энергии в системы районного энергоснабжения

Рекомендации для лиц, ответственных за формирование политики



СОДЕРЖАНИЕ

РИСУНКИ	6
ТАБЛИЦЫ.....	7
ВСТАВКИ.....	8
ФОТОГРАФИИ	8
СОКРАЩЕНИЯ.....	9
КРАТКИЙ ОБЗОР.....	11
ВВЕДЕНИЕ.....	14

ЧАСТЬ А: ОБЗОР СЕКТОРА ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ **21**

A.1	ПЕРЕХОД К ДЕКАРБОНИЗИРОВАННОМУ СЕКТОРУ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ: РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ, РАЙОННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	22
A.1.1	Острая необходимость решения проблем тепло- и холодоснабжения.....	23
A.1.2	Будущие энергетические системы и устойчивое тепло- и холодоснабжение	26
A.2	ОБЗОР ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РТХС И КЛЮЧЕВЫХ ОПОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	31
A.2.1	Источники и технологии возобновляемой энергии (и сбросного тепла) для районного теплоснабжения .	31
A.2.2	Возобновляемые источники энергии для районного холодоснабжения	37
A.2.3	Ключевые опорные технологии	38

ЧАСТЬ В:

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ЛИЦ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИТИКИ КАСАТЕЛЬНО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ РАЙОННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

46

В.1	РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ТЕПЛО-И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ.....	47	В.4	ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СУЩЕСТВУЮЩИЕ ЗДАНИЯ И СЕТИ РАЙОННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	78
В.1.1	Необходимость взаимоусиливающих мер, предпринимаемых на национальном, региональном и местном уровнях	47	В.4.1	Оценка совместимости с существующим фондом зданий.....	78
В.1.2	Создание системы устойчивого энергоснабжения со стратегическим планированием тепло- и холодоснабжения.....	49	В.4.2	Оценка совместимости с существующей тепловой сетью	84
В.1.3	Определение области применения и назначения стратегического планирования тепло- и холодоснабжения	51	В.5	РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	87
В.2	ВОВЛЕЧЕНИЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН.....	55	В.5.1	Геотермальная энергия	87
В.2.1	Идентификация и координация заинтересованных сторон	55	В.5.2	Солнечная тепловая энергия.....	90
В.3	ОЦЕНКА И КАРТИРОВАНИЕ СПРОСА НА ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ, А ТАКЖЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ	62	В.5.3	Сбросное тепло.....	91
В.3.1	Картирование спроса на тепло- и холодоснабжение.....	63	В.5.4	Естественное охлаждение	91
В.3.2	Определение местных тепловых ресурсов	66	В.6	БЛАГОПРИЯТНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ УСЛОВИЯ, МОДЕЛИ ФИНАНСИРОВАНИЯ И БИЗНЕС-МОДЕЛИ.....	93
В.3.3	Количественное определение и оценка потенциала теплосбережения на фоне устойчивого снабжения	73	В.6.1	Структуры собственности.....	94
В.3.4	Создание сценариев теплоснабжения	75	В.6.2	Ценообразование для РТХС	97
			В.6.3	Регулирование	98
			В.6.4	Финансирование.....	102
	КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ.....	111			
	ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	112			

РИСУНКИ

Рисунок ES1. Схематическая концептуальная схема интеграции низкотемпературных источников энергии в районные энергетические системы.....	13
Рисунок 1. Районные энергетические системы, использующие возобновляемые источники энергии, способствуют достижению Целей устойчивого развития	15
Рисунок 2. Схема системы районного теплоснабжения, в которой задействованы множественные источники энергии	16
Рисунок 3. Развитие районных энергетических технологий, их рабочие температуры и примеры источников энергии.....	17
Рисунок 4. Структура руководства	20
Рисунок 5. Количество нормативных стимулов и мандатов по использованию возобновляемых источников энергии с классификацией по типу, за период 2014–2019 гг.....	23
Рисунок 6. Три важнейших подхода, определяющих роль зданий в будущих экономически-эффективных устойчивых энергетических системах.....	25
Рисунок 7. Расчётные доли отопительного оборудования в зданиях жилого и обслуживающего секторов в мире в 2019 году с разбивкой по используемой технологии, кроме традиционного использования биомассы	25
Рисунок 8. Структура общего конечного энергопотребления с разбивкой по энергоносителям в 2017 году и в Сценарии преобразования энергетической системы к 2050 году.....	27
Рисунок 9. Взаимодействие между секторами и технологиями в интеллектуальной энергетической системе.....	27
Рисунок 10. Траектория перехода от индивидуальных отопительных систем на основе ископаемого топлива к системам районного теплоснабжения четвёртого поколения.....	28
Рисунок 11. Синергические взаимосвязи между районным теплоснабжением и теплосбережением с учётом общих издержек энергосистем в 14 европейских странах, на которые приходится 90% спроса на тепло в ЕС	29
Рисунок 12. Заброшенные угольные шахты: проект районного теплоснабжения на основе каменноугольной шахты в Барредо (Мьерес), Астурия, Испания.....	32
Рисунок 13. Стоимость монтируемых на крыше и земле солнечных установок в Дании	34
Рисунок 14. Сети районного холодоснабжения в Париже (Франция)	38
Рисунок 15. Принцип работы компрессионного теплового насоса	39
Рисунок 16. Принцип работы абсорбционного теплового насоса	40
Рисунок 17. Конкуренция в сфере предложения между различными возобновляемыми и низкоуглеродными источниками тепла и потенциал сезонного аккумулирования для преодоления конкуренции.....	42
Рисунок 18. Концепции сезонного аккумулирования тепла.....	43
Рисунок 19. Затраты на сезонное аккумулирование тепла.....	44
Рисунок 20. Области применения районных энергетических сетей в различных городских условиях	50

Рисунок 21. Классификация сторон в зависимости от степени их влияния и интереса	55
Рисунок 22. Стоимость передачи тепла	62
Рисунок 23. Схема районной энергетической системы, в которой задействованы разные источники энергии	66
Рисунок 24. Пример ежедневной выработки тепловой энергии гибридной системой районного теплоснабжения с использованием аккумулированного тепла	67
Рисунок 25. Приложение «Карта солнечных панелей на крышах» для округа Лос-Анджелеса (США)	71
Рисунок 26. Подход к оценке экономически обоснованного уровня энергосбережения	73
Рисунок 27. Производственно-сбытовая цепочка создания энергоэффективности от момента получения первичной энергии до момента выработки полезной энергии	74
Рисунок 28. Схема систем прямого и опосредованного отопления помещений	79
Рисунок 29. Тепловая мощность, необходимая для плохо изолированной квартиры с различными отопительными графиками	81
Рисунок 30. Приготовление БГВ на уровне здания (слева) и на уровне квартиры (справа)	83
Рисунок 31. Схема смесительного клапана для интеграции низкотемпературной сети в стандартную сеть	85
Рисунок 32. Местное / стратегическое планирование теплоснабжения в контексте государственного и международного регулирования и согласование с множественными интересами и потребностями	93
Рисунок 33. Районная энергосеть: жизненно важная инфраструктура, соединяющая источники энергоснабжения и потребителей	94
Рисунок 34. Пример разработки районного теплоснабжения для районов с высокой и низкой ВНД	103
Рисунок 35. Связь между схемой снижения рисков и зрелостью геотермального рынка	105
Рисунок 36. Факторы, формирующие схему управления районным теплоснабжением	109

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Основные преимущества и роль возобновляемой энергии, источников сбросного тепла и опорных технологий в энергетической системе	45
Таблица 2. Модель матрицы государственной нормативно-правовой базы для планирования теплоснабжения	48
Таблица 3. Возможные заинтересованные стороны, их роль в СПТХС и стратегия вовлечения	56
Таблица 4. Сценарии развития районного теплоснабжения нового поколения и необходимые потенциальные изменения элементов системы	74
Таблица 5. Преимущества и недостатки независимых и зависимых тепловых подстанций	79
Таблица 6. Основные проблемы и возможные решения для использования низкотемпературных возобновляемых источников энергии или источников сбросного тепла в РТХС	92

ВСТАВКИ

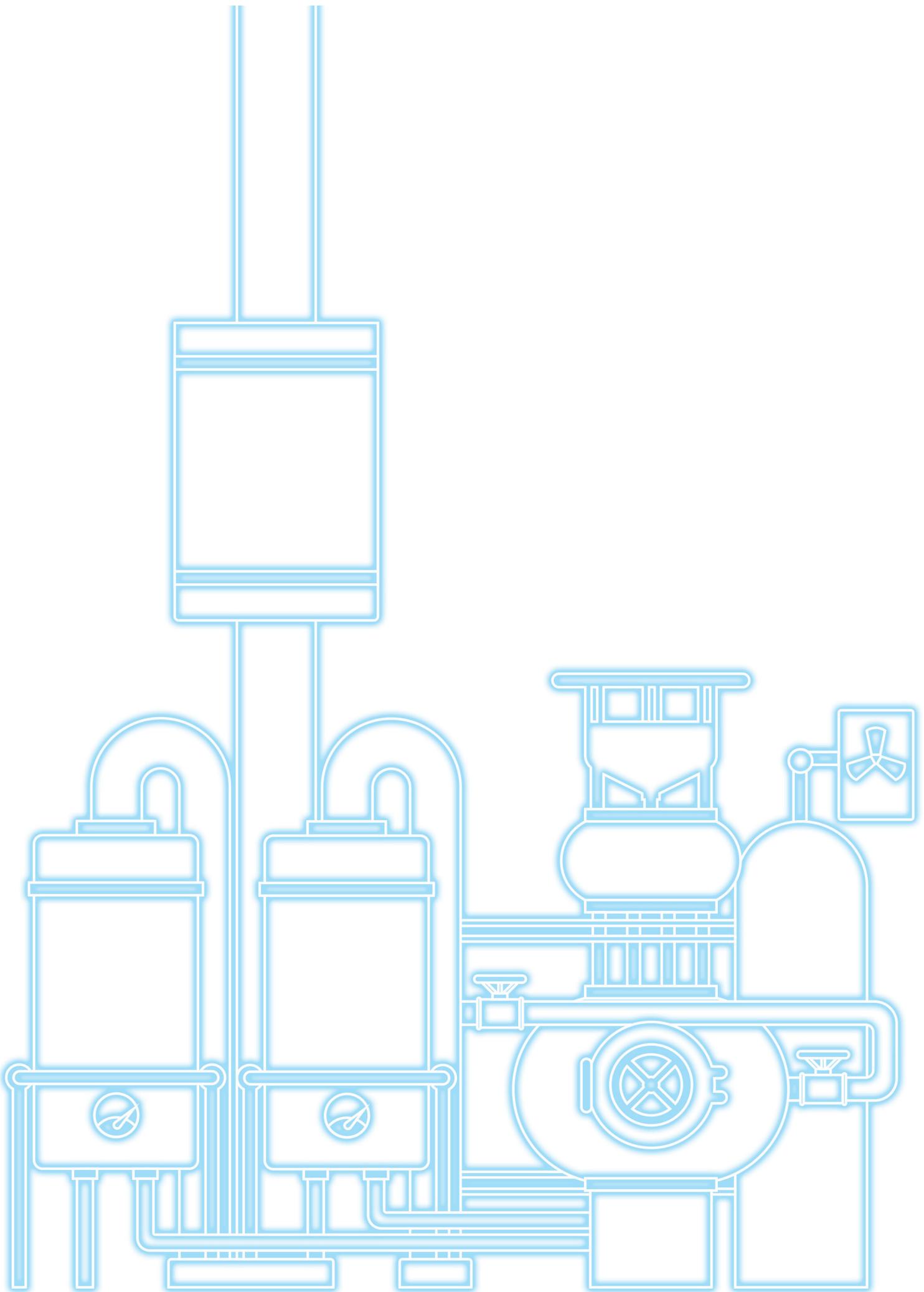
- Вставка 1.** Ольборг (Дания): концепция развития энергетического сектора в г. Ольборге к 2050 году **52**
- Вставка 2.** Чжэнчжоу (Китай): стратегическое планирование теплоснабжения в новом районе **53**
- Вставка 3.** Роль основной заинтересованной стороны **58**
- Вставка 4.** Грос-Герау (Германия): успешная стратегия вовлечения заинтересованных сторон... **60**
- Вставка 5.** Общедоступные данные для предварительных исследований: сценарий Швейцарии **64**
- Вставка 6.** Инструменты картирования спроса на тепло- и холодоснабжение **65**
- Вставка 7.** Инструменты для оценки потенциала использования геотермальных ресурсов **70**
- Вставка 8.** Инструменты для оценки потенциала использования солнечных тепловых ресурсов..... **71**
- Вставка 9.** Инструменты для оценки потенциала использования ресурсов сбросного тепла **72**
- Вставка 10.** Инструменты планирования районного тепло- и холодоснабжения **76**
- Вставка 11.** Каскадная структура: система районного теплоснабжения в Париже (Франция), использующая геотермальные источники различной температуры..... **89**
- Вставка 12.** Некоторые примеры моделей собственности **96**
- Вставка 13.** Нормативная база для районного теплоснабжения на основе геотермальных источников: основные рекомендации, составленные по результатам проекта GeoDH **100**
- Вставка 14.** Цзинань (Китай) **104**
- Вставка 15.** Программа ЕБРР по районной энергетике на основе возобновляемых источников на Западных Балканах **105**
- Вставка 16.** Схемы снижения геотермальных рисков **106**
- Вставка 17.** Разработка инвестиционно привлекательных проектов в сфере возобновляемой энергии: руководство Project Navigator от IRENA..... **108**

ФОТОГРАФИИ

- Фотография 1.** Загрязнение воздуха в Монголии...**22**
- Фотография 2.** Солнечные установки с плоскими коллекторами в Лёгумкlostере (Дания) (слева) и параболическая концентраторная солнечная электростанция в Брэннерслеве (Дания) (справа)**34**
- Фотография 3.** Компрессионный тепловой насос, подающий теплоноситель в систему районного теплоснабжения в Дании **40**
- Фотография 4.** Аккумулирование тепловой энергии (44 000 м³) в Avedøre Kraftværket в Копенгагене (Дания) **41**
- Фотография 5.** Газовые котлы в газовой бойлерной (слева) и подстанция в здании в Бельгии (справа) **79**
- Фотография 6.** Примеры резервуара для воды (слева) и пластинчатого теплообменника (справа) для приготовления БГВ..... **83**
- Фотография 7.** Установка солнечного районного холодоснабжения, г. Скотсдейл, Аризона (США) (слева) и часть парка коллекторов районной теплоцентрали в г. Граце (Австрия) (справа) **90**

СОКРАЩЕНИЯ

°C	градус Цельсия	ГДж	гигаджоуль
AAU	Ольборгский университет	ГИС	географическая информационная система
ATES	аккумулирование тепловой энергии в водоносных пластах	гм³	кубический гектометр
BTES	аккумулирование тепловой энергии в буровых скважинах	ГФУ	гидрофторуглерод
CO₂	углекислый газ	ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
EUR	евро	ЕС	Европейский союз
IRENA	Международное агентство по возобновляемым источникам энергии	кВт	киловатт
MTES	аккумулирование тепловой энергии в шахтах	км	километр
O&M	эксплуатация и техническое обслуживание	км²	квадратный километр
PETA	общеевропейский атлас тепловых ресурсов	КП	коэффициент производительности
PTES	аккумулирование тепловой энергии в водоёмах	КСЭ	Концентрированная солнечная энергия
ReDEWeB	районное энергоснабжение на основе возобновляемых источников энергии на Западных Балканах	м²	квадратный метр
REN21	Сеть по вопросам политики в области возобновляемых источников энергии в 21 веке	м³	кубический метр
SITG	Портал территориальной информационной системы (Женева)	МВт	Мегаватт
TES	аккумулирование тепловой энергии	МВт-ч	Мегаватт-час
THERMOS	система моделирования и оптимизации тепловых энергетических ресурсов	мм	миллиметр
ТВт-ч	Тераватт-час	МЭА	Международное энергетическое агентство
USD	Доллар США	ПГ	парниковый газ
БГВ	бытовая горячая вода	РТК	радиаторный термостатический клапан
ВНД	внутренняя норма доходности	РТХС	районное тепло- и холодоснабжение
ГВт-ч	Гигаватт-час	СПТХС	стратегическое планирование тепло- и холодоснабжения
		СЭП	стратегическое энергетическое планирование
		ТЭЦ	теплоэлектроцентраль
		ЧГП	частно-государственное партнёрство
		эДж	экаджоуль
		ЭСК	Энергосервисная компания



КРАТКИЙ ОБЗОР

Сокращение выбросов, генерируемых сектором тепло- и холодоснабжения, критически важно для смягчения последствий изменения климата и уменьшения загрязнения воздуха. В этом отношении системы районного тепло- и холодоснабжения могут содействовать более широкому использованию возобновляемых источников энергии, повышению энергоэффективности, сокращению потребления ископаемых видов топлива в секторе тепло- и холодоснабжения, а также улучшению качества воздуха городской среды.

Традиционно системы районного теплоснабжения проектировались для работы при высоких температурах, чтобы удовлетворять высокую потребность в тепле со стороны зданий с плохой теплоизоляцией. Для достижения требуемых высоких температур в большинстве случаев необходимо использовать ископаемые виды топлива. Однако технологические инновации, цифровизация и нынешние тенденции строительства более энергоэффективных зданий могут позволить более широкое применение таких технологий экологичной энергии, как низкотемпературная геотермальная энергия, солнечная тепловая энергия и энергия водоёмов, а также низкотемпературные источники сбросного тепла в районных энергетических системах нового поколения. Эти источники широко доступны на местном уровне во многих регионах. Тем не менее, они остаются в основном незадействованными, поскольку они не сразу совместимы с имеющейся районной энергетической инфраструктурой и существующим фондом зданий.

Использованию низкотемпературных возобновляемых источников энергии и экологически устойчивого сбросного тепла в районных энергетических системах часто препятствуют такие факторы, как:

- нехватка данных;
- недостаточные знания и осведомлённость о наилучших доступных технологиях;
- несогласованность со стратегическими планами ремонта зданий;
- несправедливая конкуренция с индивидуальными системами теплоснабжения на основе ископаемого топлива или электрическими системами охлаждения;
- высокие авансовые затраты;
- бюджетные ограничения на муниципальном уровне;
- ненадлежащее регулирование и длительные процедуры выдачи разрешений.

С учётом этих предпосылок в данном руководстве даются рекомендации для лиц, ответственных за формирование политики, а также приводятся примеры доступных инструментов и решений, стимулирующих использование низкотемпературных возобновляемых источников тепла в новых и существующих районных энергетических системах. В докладе также представлен обзор способов применения районного тепло- и холодоснабжения и опорных технологий, использующих низкотемпературную возобновляемую энергию. В руководстве подробно освещены энергетические системы, использующие солнечную тепловую энергию, геотермальную энергию и энергию водоёмов, которая вырабатывается при низких температурах, а также системы на основе тепловых насосов. Биомасса, преобладающая среди источников возобновляемой энергии в системе районного теплоснабжения, не представляет серьёзных технических проблем при интеграции в существующую инфраструктуру, работающую при высоких температурах. Поэтому внедрение биомассы в систему районного теплоснабжения в данном докладе рассматриваться не будет.

Основные рекомендации:

Разрабатывайте стратегические планы тепло- и холодоснабжения, опираясь на ясные политические движущие факторы, а также определяйте основные заинтересованные стороны для вовлечения в процесс. Этот процесс могут возглавлять местные органы власти, но постановка амбициозных целей и создание благоприятных условий остаются ключевой задачей национального правительства.

- ➔ На государственном уровне обеспечивайте надлежащее руководство и нормативно-правовую базу, а также задавайте направление для реализации энергетической системы в целом и определяйте роль районной энергетики в снижении углеродных выбросов и устойчивом развитии.
- ➔ Обеспечивайте повышение необходимой квалификации рабочей силы, в том числе у тех сотрудников, которые работают в сфере индивидуальных технологий возобновляемой энергии, а на некоторых рынках – в сфере модернизации районной энергетической инфраструктуры.
- ➔ Разработайте планы тепло- и холодоснабжения на местном уровне и определите, какие заинтересованные стороны и на каких основаниях будут участвовать в этом процессе, а также способы их вовлечения в процесс.
- ➔ Содействуйте формированию положительного отношения со стороны общественности к переходу на низкоуглеродное тепло- и холодоснабжение, а также реализации районных энергетических проектов на основе возобновляемых источников энергии. Этого можно достичь путём привлечения граждан к процессу, соблюдения принципа прозрачности и повышения уровня осведомлённости о преимуществах районных энергетических систем и технологий использования возобновляемых источников энергии.

Выработайте технические сценарии, основанные на потребности в тепло- и холодоснабжении и картировании ресурсов.

- ➔ Оптимизируйте сбор данных о спросе на тепло- и холодоснабжение с помощью фактических измерений в отдельных зданиях или путём использования имеющихся инструментов для оценки спроса на основе моделей «сверху вниз» или «снизу вверх».
- ➔ Оцените доступные тепловые ресурсы для тепло- и холодоснабжения зданий, используя имеющиеся инструменты, например, географические информационные системы, или разрабатывая температурные атласы. Получаемую в результате этого информацию можно применять в качестве вспомогательного инструмента при планировании и инвестировании в районные энергетические системы.

- ➔ Следите за тем, чтобы сценарии, предложенные для развития системы тепло- и холодоснабжения, соответствовали долгосрочным целям.

Интегрируйте изменения в поставках, модернизацию сети и планы по ремонту зданий, чтобы обеспечить оптимальный уровень эффективности (как в техническом, так и в социально-экономическом отношении) и избежать эффектов укоренения бесперспективных технологий и рассмотрения вопросов по отдельности.

- ➔ Сочетайте развитие районной энергетики с повышением энергоэффективности зданий и создавайте механизмы взаимодействия между этими факторами. Например, проектируйте поквартальные схемы, в которых меры по обеспечению энергоэффективности реализуются одновременно на стороне спроса и на стороне предложения. Поощряйте использование более энергоэффективных методов, переходя на систему выставления счетов всем потребителям на основе фактического потребления.
- ➔ Принимайте меры для снижения рабочих температур как в уже действующих системах, так и в новых районных отопительных сетях в существующих кварталах. Это можно сделать i) на уровне здания путём внедрения систем управления, перепроектирования отопительного оборудования, оснащения зданий энергоэффективными ограждающими конструкциями, перепроектирования систем и подстанций приготовления горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и т.д.; и ii) на уровне сети путём теплоизоляции трубопроводов, внедрения технологий повышения температуры, принятия мер для уменьшения температуры обратного теплоносителя и предотвращения повышенных показателей расхода, способного повредить сеть, и т.д.

Продвигайте использование местных доступных возобновляемых источников энергии для тепло- и холодоснабжения путём решения объективных проблем.

- ➔ Нарращивайте потенциал для разработки обоснованных проектов в сфере возобновляемой энергии и решения технических задач по внедрению и эксплуатации низкотемпературных источников в новых или существующих районных энергетических системах.
- ➔ Обеспечьте использование передовых методов эксплуатации местных возобновляемых источников энергии. Такие передовые методики обеспечивают максимально экономичное и экологически устойчивое использование ресурсов, например, возврат воды в источник после извлечения геотермальной энергии или сезонное аккумулирование тепла для выработки солнечной тепловой энергии.

Обеспечьте наличие благоприятных условий в области регулирования, а также эффективных схем финансирования и бизнес-моделей.

- ➔ Рассматривайте районные энергосети как объект жизнеобеспечения населения и предоставьте им равные условия с помощью фискальных рычагов, законодательства и регулирования цен, при этом учитывая такие внешние факторы, как выбросы парниковых газов или загрязнители воздуха.
- ➔ Чтобы привлекать инвестиции, преодолевайте неопределённость, связанную со спросом на тепло- и холодоснабжение. Для этого сначала подключайте потребителей с высоким спросом, одновременно обеспечивая возможности для полного задействования потенциала.
- ➔ Помимо использования государственного финансирования, в том числе грантов, исследуйте возможности

вовлечения частного сектора и использования инновационных методов работы, таких как партнёрские отношения с энергосервисными компаниями (ЭСК) или программы краудфандинга.

- ➔ Разрабатывайте схемы по снижению рисков в системах, работающих на основе возобновляемых источников энергии. Для этого, например, продвигайте схемы поддержки геотермальной энергетики, адаптированные к степени зрелости рынка и уменьшающие риски инвесторов, связанные с бурением непродуктивных скважин и (или) снижением производительности скважины.
- ➔ Создайте комплексную и прозрачную схему управления путём определения формы собственности, регулирования и ценообразования, которые стимулируют развитие систем районного тепло- и холодоснабжения. Эти системы должны быть основаны на возобновляемых источниках энергии и источниках сбросного тепла, а также соответствовать общественным целям.

Рисунок ES1. Схематическая концептуальная схема интеграции низкотемпературных источников энергии в районные энергетические системы



ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение воздуха, энергетическая бедность, риски для здоровья, зависимость от издержек на изменчивых углеводородных рынках и изменение климата – это лишь некоторые из проблем, связанных с используемыми в настоящее время городскими энергетическими системами на основе ископаемого топлива, а быстрая урбанизация может ещё сильнее увеличить каждую из них.

Отопление является самой масштабной формой использования энергии во всём мире – на него приходится более половины конечного спроса на энергию. На отопление зданий и производство горячей воды для бытовых нужд приходится примерно половина всего произведённого тепла (МЭА, 2019а). Большая часть этой энергии производится в результате сжигания ископаемых видов топлива, в связи с чем сектор жилых и коммерческих зданий является важным источником, способствующим выбросу парниковых газов (ПГ), загрязнению воздуха и сопутствующему негативному воздействию на здоровье, что вызывает большую обеспокоенность во многих городах мира. С другой стороны, во всём мире быстро растёт спрос на холодоснабжение. Спрос на охлаждение помещений обычно высок в развивающихся странах с тёплым климатом, например, в Юго-Восточной Азии, Африке, Индии и Китае. Следовательно, тепло- и холодоснабжение являются секторами, требующими принятия срочных мер. Это особенно актуально для городов. Сегодня около половины (55%) людей в мире проживает в городской местности; прогнозируется, что к 2050 году эта тенденция вырастет до 68% (ООН, 2019).

Хорошая новость заключается в том, что этот сектор позволяет осуществить декарбонизацию. Здесь имеется высокий потенциал повышения энергоэффективности в зданиях и перехода к возобновляемым и устойчивым источникам энергии на уровне энергопоставок. В районных энергетических системах существует возможность расширить использование возобновляемых источников энергии, повысить энергоэффективность, предотвратить энергетическую бедность, уменьшить количество используемого ископаемого топлива и сократить выбросы CO₂ и гидрофторуглеродов (ГФУ) сектора тепло- и холодоснабжения. Такие меры будут способствовать тому, чтобы сектор тепло- и холодоснабжения соответствовал целям по снижению выбросов, установленным Парижским соглашением (ООН, 2015) и Кигалийской поправкой к Монреальскому протоколу (ООН, 2016) в секторе тепло- и холодоснабжения в густонаселённых (городских) районах.

Системы районного теплоснабжения уже способствовали высокой энергоэффективности в некоторых регионах. В скандинавских странах объединение тепловых нагрузок привело к прогрессивной оптимизации энергопоставок. Это достигается благодаря использованию теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и (или) промышленного сбросного тепла (Galindo Fernández *et al.*, 2016). Однако для снижения интенсивности углеродных выбросов из систем районного теплоснабжения требуются значительные усилия. Несмотря на то, что в некоторых регионах биоэнергетические и высоко- и среднетемпературные геотермальные ресурсы играют важную роль в тепло- и холодоснабжении, общая доля возобновляемой энергии в районном теплоснабжении на мировом уровне незначительна. В 2018 году доля возобновляемых источников энергии в общем объёме энергии, используемой для районного теплоснабжения, составляла менее 8% (МЭА, 2019b).

Расширение использования возобновляемой энергии или экологически устойчивых источников сбросного тепла в районном тепло- и холодоснабжении (РТХС) способно внести существенный вклад в достижение Целей устойчивого развития¹ (ООН, 2015), принятых Организацией Объединённых Наций (ООН) в 2015 году, в том числе, путём уменьшения загрязнения воздуха, расширения доступа к более экологичной и недорогой энерготехнологии, создания рабочих мест в регионе, а также развития экологически устойчивой инфраструктуры и сокращения выбросов парниковых газов (рисунок 1).

Технологические инновации и текущие тенденции строительства более энергоэффективных зданий, а также разработка нового поколения районных энергетических сетей могут позволить более широкое применение таких низкотемпературных возобновляемых источников энергии, как геотермальная и солнечная тепловая энергия, а также сбросное тепло из промышленных или коммерческих источников. Эти источники более широко доступны на местном уровне во многих регионах, но остаются в основном незадействованными, так как они воспринимаются как ресурсы, не совместимые с районной инфраструктурой энергоснабжения и большей частью существующего фонда зданий.

¹ Принятые Организацией Объединённых Наций Цели устойчивого развития на период до 2030 года представляют собой 17 целей по достижению лучшего, более устойчивого и инклюзивного будущего путём решения глобальных проблем, связанных с бедностью, неравенством, изменением климата, ухудшением экологии, миром и правосудием.

Рисунок 1. Районные энергетические системы, использующие возобновляемые источники энергии, способствуют достижению Целей устойчивого развития



Переход к районным энергетическим системам на основе возобновляемых источников энергии и интеллектуальным энергетическим системам, интегрирующим интеллектуальные электрические, тепловые и газовые сети, требует благоприятных базовых условий, включая инновационные методы планирования и инструменты поддержки, чтобы разрабатывать рентабельные проекты, совместимые с декарбонизированной энергетической системой.

В связи с этим было разработано данное руководство, которое призвано углубить знания ответственных за разработку политики лиц о лучших методах и имеющихся возможностях для решения ключевых задач по внедрению возобновляемой энергии и устойчивых низкотемпературных источников сбросного тепла в системы РТХС. Данное исследование было проведено в рамках проекта «Решения в области энергетики для городов будущего» совместными усилиями Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) и Ольборгского университета (AAU) под эгидой Международного геотермального альянса (Global Geothermal Alliance)².

² www.globalgeothermalalliance.org/

«Энергоэффективные здания и новое поколение районных энергетических сетей могут использовать районное тепло, получаемое от низкотемпературных возобновляемых источников энергии.»

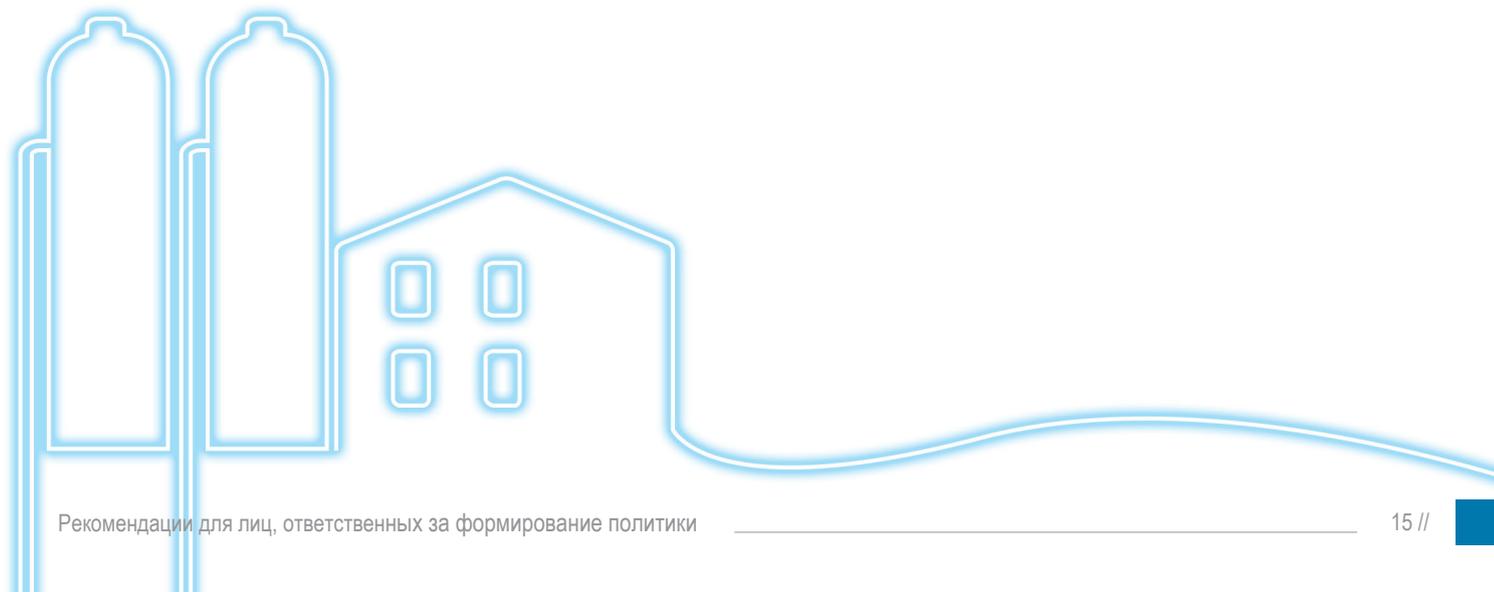


Рисунок 2. Схема системы районного теплоснабжения, в которой задействованы множественные источники энергии



Примечание. На данной схеме приведены лишь примеры возможных источников энергии для сети районного теплоснабжения.

Область применения и обоснование

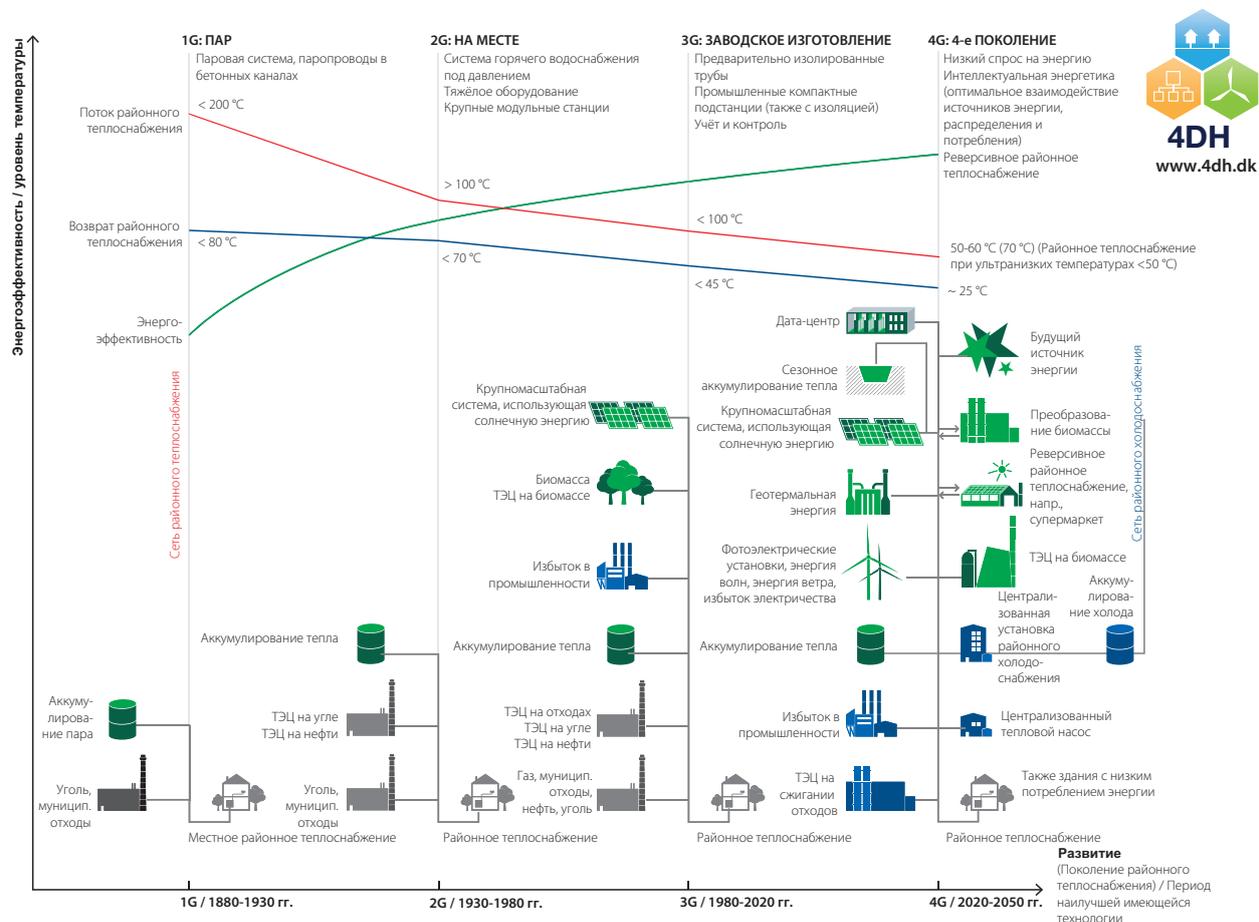
Районное теплоснабжение, или тепловые сети, представляет собой систему распределения тепла. Тепло генерируется в одном (или нескольких) центральном (или децентрализованных) пункте (пунктах) и передаётся по сети изолированных магистральных и распределительных трубопроводов и с помощью вспомогательного оборудования. Эта система отвечает требованиям к отоплению помещений и приготовлению бытовой горячей воды (БГВ) для жилых зданий и зданий в сфере обслуживания. На рисунке 2 представлен пример децентрализованной системы районного теплоснабжения, в которой задействованы множественные энергетические источники и технологии: солнечная тепловая энергия, среднетемпературные геотермальные ресурсы, сбросное тепло промышленных предприятий, энергия резервного котла и сезонный накопитель энергии. Также могут использоваться и другие технологии, например, комбинированное производство тепла и электроэнергии, тепловые насосы и сбросное тепло из обслуживающих предприятий.

Районное холодоснабжение может рассматриваться как тепловая сеть обратного (по отношению к сетям отопления) действия, которая работает в основном по тем же принципам, что и районное теплоснабжение. В системе районного холодоснабжения охлаждённая вода распределяется в жилые и коммерческие здания, офисы и на предприятия.

Основным преимуществом районных энергетических сетей является то, что в них используются источники тепла и холода, которые были бы непригодны для использования в автономных системах отопления. Районные энергетические сети могут получать энергию для отопления и охлаждения от котлов, ТЭЦ, тепловых насосов, сезонного накопителя тепловой энергии или возобновляемых источников энергии (например, геотермальной или солнечной тепловой энергии). Это ведёт к повышению КПД генерации энергии на уровне района и содействует использованию сбросного тепла из промышленного или обслуживающего секторов.

С помощью интеллектуальных энергетических систем можно более эффективно разрабатывать системы, работающие на 100% на основе возобновляемых источников энергии. Основным принципом, лежащим в основе этих систем, является интеграция электрических, тепловых и газовых сетей для получения совместных преимуществ для этих секторов и использования экономичных решений для накопителей (H. Lund *et al.*, 2017). Чтобы создать интеллектуальные энергетические системы, все связанные с энергетикой отрасли, включая электроэнергию, теплоснабжение, промышленность и транспорт, рассматриваются как части единой энергосистемы и интегрируются для эффективного использования существующих между ними синергетических связей. Районные энергетические системы являются ключевым связующим элементом в таких интеллектуальных энергетических системах (Mathiesen *et al.*, 2019).

Рисунок 3. Развитие районных энергетических технологий, их рабочие температуры и примеры источников энергии



Примечание. 1G: районное теплоснабжение первого поколения; 2G: районное теплоснабжение второго поколения; 3G: районное теплоснабжение третьего поколения; 4G: районное теплоснабжение четвёртого поколения. ТЭЦ: комбинированная выработка тепла и электроэнергии.
Источник: Lund et. al (2018)

Как показано на рисунке 3, развитие последующих технологий РТХС привело к повышению КПД и подаче теплоносителя при более низкой температуре. В системах районного теплоснабжения первого поколения высокая температура достигалась благодаря пару, в системах второго поколения для этого использовалась горячая вода под давлением, а системы третьего и четвёртого поколений работают при всё более низких температурах распределения. Эти тенденции создают условия для более эффективного использования тепла из возобновляемых и рециркулируемых низкотемпературных источников. Например, в системе второго поколения можно было использовать только высокотемпературную геотермальную энергию, в то время как системы третьего поколения уже допускают использование низкотемпературной геотермальной энергии, а системы районного теплоснабжения четвёртого поколения – геотермальной энергии сверхнизкой температуры.

Технологии, применяемые в районных системах холодоснабжения, развивались следующим образом: в системах первого поколения в качестве распределяемой жидкости использовался хладагент, а начиная со второго поколения в качестве распределяемой жидкости

используется вода, что ведёт к потенциально более высоким температурам подачи и более доступным источникам энергии (Lund et al., 2018). Эта тенденция даже позволяет использовать одну и ту же распределительную сеть для районного тепло- и холодоснабжения в странах с отдельными сезонами отопления / охлаждения.

«Низкая температура» не относится к конкретному температурному диапазону в абсолютном выражении, а зависит от рассматриваемого источника энергии или диапазона температур, установленного в районной энергетической сети.

В определённом городе или районе различные доступные местные источники тепла не позволяют достигать одних и тех же рабочих температур в сетях районного теплоснабжения.

Топливо – ископаемое (как газ) или возобновляемое (как биоэнергия) – может достигать температуры в несколько сотен градусов и, следовательно, легко доводить теплоноситель до температуры в 100 °C (градусов Цельсия). Но таких температур сложнее достичь при использовании,

например, источников геотермальной энергии неглубокого залегания или нетрадиционного регенерируемого сбросного тепла (образующегося, например, при охлаждении центров обработки данных). Солнечная тепловая энергия, сбросное тепло с промышленных предприятий, крупномасштабные тепловые насосы и т.д. занимают многие промежуточные температурные диапазоны. Чем ниже рабочая температура сети, тем шире диапазон пригодных для использования источников энергии и тем больше возможностей для внедрения безуглеродных и экологических источников энергии.

Применительно к настоящему руководству термин «низкотемпературный / низкая температура» относится к температурному диапазону источников энергии. Источники энергии с температурой ниже 100 °С будут считаться низкотемпературными, так как они могут снабжать энергией районные энергетические системы третьего или четвертого поколения, которые являются центральной темой, рассматриваемой в настоящем руководстве.

Используемые системы РТХС существенно различаются в разных странах, регионах и городах. В некоторых городах районные энергетические системы были основаны в XIX веке, в то время как в других местах такие системы были построены недавно, и в них используются новейшие технологии. Высокие нормы освоения систем районного теплоснабжения можно наблюдать в большинстве городов некоторых регионов, например, в некоторых северных и восточных европейских странах, Российской Федерации, а также в северном Китае. Поэтому в мире существуют различные типы рынков районного теплоснабжения: новые и развивающиеся рынки (например, Великобритания и Нидерланды), традиционные рынки районного теплоснабжения с системами более ранних поколений (например, Восточная Европа, Китай), а также зрелые и расширяющиеся рынки. Что касается районного холодоснабжения, это большой и быстро растущий рынок, особенно в регионе Совета сотрудничества арабских государств Персидского залива.

Однако в глобальном масштабе лишь небольшая часть энергии для тепло- и холодоснабжения помещений поставляется через районные энергетические системы, а преобладающая доля поставляется автономными системами на уровне зданий (Werner, 2017). Кроме того, в существующих системах районного теплоснабжения в основном используются ископаемые виды топлива для производства тепла и холода, что приводит к высоким выбросам углеродов. К тому же в процессе горения таких ископаемых видов топлива образуется много твердых частиц, загрязняющих воздух и отрицательно влияющих на здоровье.

Для выполнения своей роли в будущих устойчивых энергетических системах (использующих возобновляемые источники энергии) системы РТХС должны:

- использовать низкотемпературные ресурсы для тепло- и холодоснабжения в существующих, новых и модернизированных зданиях;
- иметь низкие тепловые потери в распределительной сети;
- интегрировать возобновляемые источники тепла, например, источники солнечной тепловой и геотермальной энергии, а также низкотемпературного сбросного тепла;

- быть компонентами интеллектуальной энергетической системы, которая интегрирует переменные возобновляемые источники энергии и способствует энергоэффективности;
- разрабатываться с учётом местного энергопланирования, стратегических схем и системных издержек;
- способствовать разработке устойчивых энергетических систем будущего (Lund *et al.*, 2018).

Локальный и фрагментарный характер тепло- и холодоснабжения усложняет данный сектор, поэтому эффективное формирование государственной политики сопряжено с определёнными проблемами. Кроме того, специфичность сектора тепло- и холодоснабжения определяет ключевую роль местных органов власти. В их распоряжении имеются различные инструменты для развития районных энергетических систем: городское и энергетическое планирование, разработка надлежащих регулирующих мер, предоставление или гарантирование финансирования, обеспечение инфраструктуры и обслуживающих структур для районного энергоснабжения, а также содействие подключению общественных зданий к районной энергетической сети.

Несмотря на локальный характер районного энергетического планирования, его необходимо координировать, начиная с регионального и общегосударственного уровней, чтобы достичь более широких социальных целей. Поэтому в настоящем руководстве будут представлены лучшие методики и доступные инструменты и решения, которые могут применяться местными и общегосударственными органами власти в различных контекстах для интеграции низкотемпературных возобновляемых источников энергии в новые и существующие системы РТХС с учётом различных местных условий и государственных базовых структур.

Руководство создано для дополнения ранее представленных партнёрами докладов, например, доклада в рамках инициативы «Районная энергия в городах», координируемой Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП, 2015), а также других исследований, которые можно найти в разделе «Использованная литература». Кроме того, настоящее руководство предусматривает обмен знаниями и лучшими методами работы между развитыми и развивающимися рынками районного тепло- и холодоснабжения.

«Планирование районного энергоснабжения носит локальный характер, но требует координации на региональном и общегосударственном уровнях по более широким социальным целям.»

Методика

Данное исследование опирается на:

- обзор литературы, включая предыдущие исследования IRENA и AAU о районных энергетических системах и будущих энергетических системах;
- отдельные примеры из практики, описывающие районные энергетические проекты и системы в средних городах (с населением от 30 000 до 1 000 000 человек), которые находятся в центре внимания проекта «Решения в области энергетики для городов будущего»;
- процесс консультирования с консультативной группой экспертов из правительств, промышленного сектора, научного сообщества, межправительственных организаций и многосторонних банков развития.

Эти методы использовались для определения наиболее всестороннего и конкретного способа преодоления сложностей и формулирования возможных решений для интеграции низкотемпературной возобновляемой энергии в РТХС.

Разнообразие институциональных уровней в энергетическом секторе и различия в распределении полномочий между общегосударственным, региональным и местным уровнями власти в разных странах ограничивает уровень детализации, которого можно достичь в глобальных руководящих принципах, разработанных в рамках настоящего руководства. Тем не менее, можно определить некоторые общие проблемы, относящиеся к особенностям низкотемпературных возобновляемых источников энергии и технологий районного энергоснабжения. Они были сгруппированы и рассмотрены по ключевым темам.

Структура руководства представлена на рисунке 4.

Часть А руководства «Обзор сектора тепло- и холодоснабжения» состоит из двух разделов. В разделе 1 части А рассматриваются проблемы, стоящие перед сектором тепло- и холодоснабжения по всему миру, и объясняется, каким образом современные сети РТХС с низкотемпературными возобновляемыми и тепловыми сбросными источниками могут играть ключевую роль при переходе к системам, использующим возобновляемую энергию.

В разделе 2 части А представлен обзор сфер применения возобновляемой энергии для РТХС, а также опорных технологий.

Часть В «Руководящие принципы для лиц, ответственных за формирование политики, касательно низкотемпературных районных энергетических систем» состоит из шести разделов.

В разделе 1 части В предлагается модель стратегического подхода к планированию тепло- и холодоснабжения в качестве первого шага по увеличению доли возобновляемой энергии в системах РТХС.

В разделе 2 части В подробно рассматривается передовой опыт привлечения заинтересованных сторон к процессу стратегического планирования тепло- и холодоснабжения и к разработке проектов в сфере РТХС.

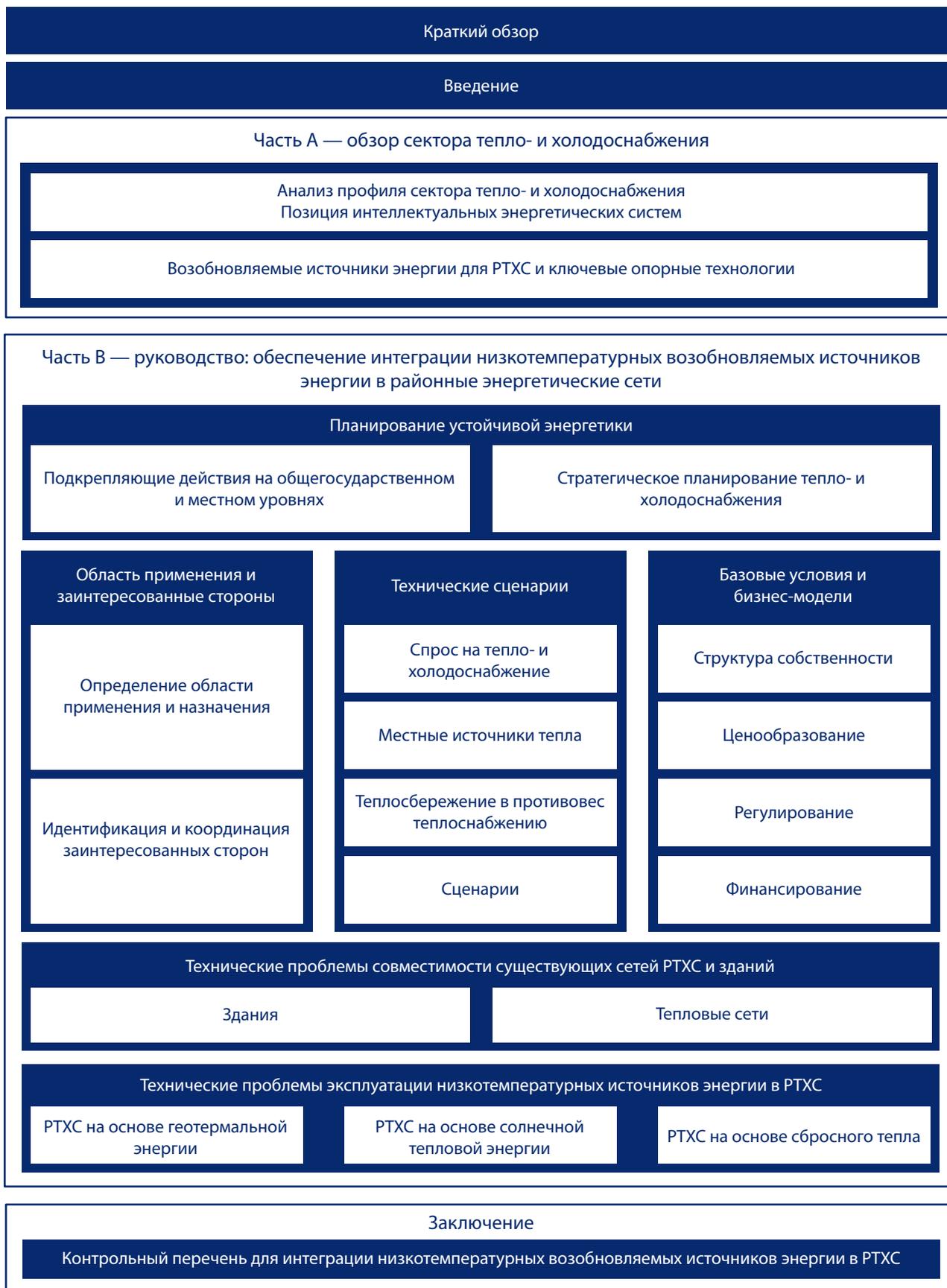
В разделе 3 части В описаны проблемы, варианты и инструменты, доступные на общегосударственном, региональном и местном уровнях, для оценки спроса на тепло- и холодоснабжение, картирования и количественного определения энергетических ресурсов, а также разработки технических сценариев для устойчивого теплоснабжения, включая низкотемпературные источники энергии в РТХС.

В разделе 4 части В описаны основные технические проблемы, возникающие при интеграции низкотемпературных поставок в существующие здания и районные сети.

В разделе 5 части В освещены варианты решения некоторых основных проблем, связанных с интеграцией и эксплуатацией геотермальной и солнечной тепловой энергии, а также сбросного тепла в РТХС.

И, наконец, в разделе 6 части В исследуются различные варианты регулирования и ценообразования, а также финансирования и бизнес-моделей для систем РТХС.

Рисунок 4. Структура руководства



ЧАСТЬ А:

ОБЗОР СЕКТОРА ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

В этой части представлен обзор состояния сектора тепло- и холодоснабжения, который в основном работает на ископаемых видах топлива, что приводит к загрязнению воздуха и выбросам парниковых газов. Здесь обсуждаются факторы, влияющие на переход существующих энергетических систем к экологически устойчивым моделям, и рассматривается концепция развития энергетических систем будущего. Такая трансформация энергетических систем будет подкрепляться использованием доступных местных источников возобновляемой энергии (и сбросного тепла) наряду с уже существующими технологиями.

А.1 Переход к декарбонизированному сектору тепло- и холодоснабжения: раскрытие потенциала энергоэффективности, районных энергетических систем и возобновляемых источников энергии

Как указано во введении, тепло- и холодоснабжение играет важную роль и зависит от ископаемых видов топлива. Однако имеется большой потенциал для декарбонизации данного сектора. Возможны различные способы декарбонизации систем тепло- и холодоснабжения. Они включают в себя комплекс мер, применяемых не только на стороне спроса (например, путём уменьшения спроса в зданиях благодаря модернизации и оптимизации их технических систем), но и на стороне предложения.

Одним из способов является переход от автономных систем тепло- и холодоснабжения, использующих ископаемые виды топлива или неэффективные электронагреватели и блоки кондиционирования воздуха, к системам РТХС в городских районах. Благодаря этому повышаются энергоэффективность и масштабы использования возобновляемых источников энергии или сбросного тепла и одновременно сокращается потребление ископаемого топлива в секторе тепло- и холодоснабжения.

Фотография 1. Загрязнение воздуха в Монголии



Источник: Shutterstock

Роль местных органов власти в управлении преобразованием энергетических систем со временем растёт. Согласно прогнозу ООН, ожидается, что к 2050 году урбанизация охватит около двух третей всего населения Земли (ООН, 2019). Такой уровень урбанизации критичен, поскольку в 2018 году на города приходилось 60-80% мирового спроса на энергию и 70% выбросов углерода антропогенного характера (ООН-Хабитат, 2019). Кроме того, производство энергии для поставок БГВ, а также отопления и охлаждения помещений с помощью районных и автономных энергетических систем с использованием ископаемого топлива способствует сильному локальному загрязнению в периоды высокого спроса на отопление, как это происходит, например, в Улан-Баторе в Монголии (см. фотографию 1) (Всемирная организация здравоохранения, 2019).

Поскольку так много энергии потребляется на уровне города или района, местные лица, ответственные за разработку политики, могут использовать свои полномочия, чтобы добиться невероятных результатов. Например, они могут поощрять освоение возобновляемых источников энергии в застроенных районах и внедрять эффективные централизованные районные системы, способные использовать возобновляемую энергию и аккумулировать тепло для последующего использования (IRENA, 2019b).

Для обеспечения лучшего понимания роли систем РТХС на основе возобновляемых источников энергии в декарбонизации энергетической системы в этой части руководства даётся обзор современных знаний о секторе тепло- и холодоснабжения по всему миру. Затем рассматриваются возможности повышения энергоэффективности путём улучшения энергоэффективности на стороне пользователя и перепроектирования системы снабжения с помощью потенциала развития систем РТХС нового поколения, в которых применяются низкотемпературные источники энергии.

A.1.1 Острая необходимость решения проблем тепло- и холодоснабжения

Вследствие локального и временного характера тепловых потребностей и ресурсов анализ тепло- и холодоснабжения сопряжен с трудностями. Кроме того, стандартный энергетический баланс, а также имеющаяся статистика и данные по конечному спросу на энергию не дают подробной информации о конечном потреблении, например, в сфере тепло- и холодоснабжения. Нехватка данных и методов для пространственного и временного анализа создают неблагоприятные условия для разработки технологии РТХС по сравнению с другими системами. Как следствие, в планах декарбонизации такие технологии остаются в основном незадействованными и незамеченными.

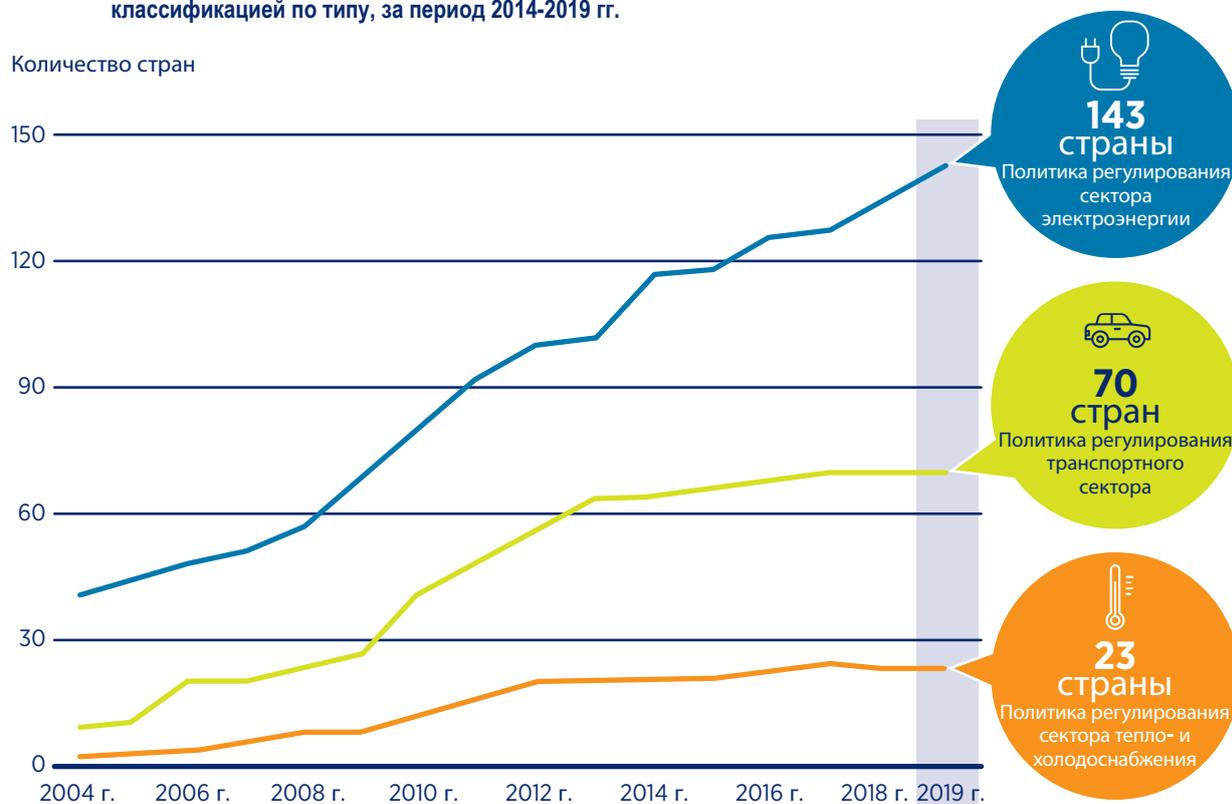
На это также указывает тот факт, что среди целей в области возобновляемой энергетики большинство определяемых на национальном уровне вкладов сфокусировано лишь на производстве электроэнергии, как показано на рисунке 5. В последние годы отсутствие политики, стимулирующей освоение возобновляемой энергии для тепло- и холодоснабжения зданий и промышленных предприятий, привело к тому, что количество стран, применяющих нормативно-правовые стимулы или предписывающих использование возобновляемых источников энергии для тепло- и холодоснабжения, меньше, чем число стран, проводящих политику регулирования электроэнергетики (REN21, 2020).

Однако для достижения желаемого сокращения выбросов углерода необходимо значительно уменьшить выбросы углекислого газа (CO₂), образующиеся при тепло- и холодоснабжении жилых и промышленных зданий (IRENA, 2017c). Согласно оценке IRENA (2017b), для достижения целей Парижского соглашения выбросы CO₂ должны быть снижены на 73% по сравнению со стандартным коммерческим сценарием.

Опираясь на представленный в 2018 году доклад «Политика в области возобновляемой энергетики во время энергетического перехода» (IRENA, МЭА и REN21, 2018), IRENA, Международное энергетическое агентство (МЭА) и Сеть по вопросам политики в области возобновляемых источников энергии в 21 веке (REN21) совместно подготовили второе издание публикации «Политика в области возобновляемой энергетики во время энергетического перехода: тепло- и холодоснабжение» (IRENA, МЭА и REN21, 2020). Данное исследование призвано оказать поддержку лицам, ответственным за разработку политики, в осуществлении мер по переводу систем тепло- и холодоснабжения на использование возобновляемых источников энергии и обеспечить максимальные социально-экономические выгоды.

В данном исследовании изучается опыт и лучшие методы разных стран, а также предлагается комплексная рамочная концепция для преодоления основных проблем, возникающих при внедрении тепло- и холодоснабжения на основе возобновляемой энергии, чтобы помочь странам ускорить декарбонизацию и устойчивое развитие такого конечного использования.

Рисунок 5. Количество нормативных стимулов и мандатов по использованию возобновляемых источников энергии с классификацией по типу, за период 2014-2019 гг.



Источник: REN21 (2020)

Кроме того, лицам, ответственным за разработку политики, даётся несколько ключевых рекомендаций о том, как снизить до минимума интенсивность углеродных выбросов в секторе тепло- и холодоснабжения, в том числе:

- Сочетание электрификации сферы тепло- и холодоснабжения с развёртыванием производства электроэнергии на основе возобновляемых источников ведёт к созданию конкурентоспособных по цене возобновляемых источников энергии. Тепловые насосы и другие эффективные электрические устройства могут повысить гибкость и способствовать более масштабной интеграции переменной возобновляемой энергетики при соблюдении минимальных стандартов эффективности и политики обеспечения качества. Для этого необходимы реформы рынка электроэнергии, пересмотр тарифов и обновление инфраструктуры.
- Уменьшение риска разведки геотермальных ресурсов для ускорения непосредственного использования геотермального тепла. Политика поддержки включает в себя платформу обмена данными о геотермальных ресурсах, страхование разведочных рисков и кредитные гарантии или субсидии на бурение скважин.
- Повышение энергоэффективности распределительных сетей для обеспечения возможности интеграции низкотемпературных солнечных тепловых, геотермальных и других возобновляемых источников тепла в существующие сети.

Предыдущие исследования – Connolly *et al.* (2012, 2015), Connolly *et al.* (2013a), Xiong *et al.* (2015), Paardekooper *et al.* (2018, 2020) – показали, что рассмотрение потенциала энергоэффективности сектора тепло- и холодоснабжения не только с точки зрения энергосбережения и отдельных эффективных технологий по использованию возобновляемой энергии, но и сквозь призму более масштабного развёртывания систем РТХС обеспечивает возможность более быстрой и экономически эффективной декарбонизации энергетической системы.

Следовательно, необходимо более тщательно проанализировать «чёрный ящик» спроса и предложения в сфере тепло- и холодоснабжения жилых и промышленных зданий, а также разработать методики, позволяющие смоделировать термические потребности таких секторов для количественного определения возможной роли районной энергетики в преобразовании энергетической системы.

Спрос на термическую энергию и энергоэффективность в зданиях

Используемая зданиями энергия составляет существенную часть энергопотребления в большинстве стран. В процессе преобразования национальных энергетических систем в устойчивые энергетические системы будущего, а также сокращения выбросов CO₂, образующихся при сжигании ископаемых видов топлива, ключевую роль играет строительство энергоэффективных зданий.

Наблюдаемые с 2000 года улучшения тепловой энергоэффективности зданий, отражающиеся на конечном спросе на энергию на один квадратный метр (м²), указывают на то, что новые здания становятся более энергоэффективными, а старые проходят процесс модернизации. Однако с 2010 года общее потребление тепловой энергии не снижается. Отсутствие тенденции к снижению объясняется ростом доступа развивающихся стран к энергии, а также почти 3-процентным ежегодным ростом общей площади помещений в зданиях разных стран мира (Всемирный альянс по вопросам строительства зданий и сооружений (Global Alliance for Buildings and Construction), МЭА и ЮНЕП, 2018).

Напротив, в последние два десятилетия в секторе охлаждения наблюдался устойчивый рост. С 2000 года спрос на охлаждение помещений вырос в два раза, и в периоды пикового спроса в жилищном секторе на холодоснабжение тратится минимум половина электроэнергии. Данная тенденция наблюдалась в Пекине летом 2017 года, когда в связи с волной жаркой погоды ежедневный спрос на охлаждение достигал своего пика (МЭА, 2018). Несмотря на такой значительный рост, на сектор холодоснабжения в среднем всё ещё приходится менее 6% энергии, используемой в зданиях по всему миру, даже при существенном колебании данного показателя от одного региона к другому. Однако имеются факторы, благодаря которым холодоснабжение в целом и охлаждение помещений в частности заслуживают рассмотрения с точки зрения повышения их энергоэффективности. Экономический рост стран с более тёплым климатом может обеспечить населению доступ к более комфортным тепловым условиям путём охлаждения помещений. Кроме того, потепление климата и эффект локального перегрева в городских районах увеличивают потребность в охлаждении помещений. Под влиянием этих факторов в ближайшие годы будет наблюдаться рост спроса на холодоснабжение – согласно прогнозам, он увеличится более чем в два раза в период с 2015 по 2050 гг. (МЭА, 2018), в результате чего энергоэффективность систем охлаждения становится крайне важной темой обсуждения. Кроме того, эффективные и чистые альтернативные системы охлаждения являются ключевым фактором для постепенного сокращения выбросов ГФУ согласно требованиям Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу (ООН, 2016). Системы районного холодоснабжения, в которых применяются хладагенты с низким потенциалом глобального потепления, играют важнейшую роль в достижении такой цели.

В глобальном масштабе важно рассматривать фонд зданий как долгосрочную инвестицию и инфраструктуру, так как это материалоемкий сегмент, обладающий потенциалом определять спрос на энергию в ближайшие десятилетия. В быстро развивающихся экономиках крайне важно выполнять оценку конструктивных характеристик и качества строительства новых зданий. По состоянию на 2018 год в 73 странах существовали рекомендательные или обязательные нормы энергетической эффективности новых зданий (Всемирный альянс по вопросам строительства зданий и сооружений (Global Alliance for Buildings and Construction), МЭА и ЮНЕП, 2019). Такая мера, однако, не полностью решает проблему жилищного фонда. Две трети стран не имеют энергетических стандартов, и именно в этих регионах прогнозируется самый

значительный рост строительства. Кроме того, лишь путём экономии и низкого энергопотребления в новых зданиях спрос на энергию нельзя снизить до уровня, достаточного для преобразования энергетической системы. Это происходит потому, что из-за фокусирования внимания на новых зданиях в стороне остаётся важность энергосбережения и смены технологий энергоснабжения в существующих зданиях.

Для достижения устойчивой энергетической системы в секторе зданий требуются три элемента (рисунок 6) (Mathiesen *et al.*, 2016). Во-первых, для создания гибкой системы на основе возобновляемых источников энергии необходимо повысить энергоэффективность всего строительного фонда, особенно существующих зданий. Во-вторых, чтобы со временем сократить спрос на тепло и электроэнергию, необходимо оптимизировать эксплуатацию зданий и поведение пользователей. В-третьих, следует рассмотреть имеющиеся на стороне предложения возможности для интеграции возобновляемой энергии в систему. Для реализации потенциального вклада зданий в возобновляемую энергетику будущего необходимо использовать целостный подход к этим трём тесно взаимосвязанным элементам (Mathiesen *et al.*, 2016).

Кроме того, крайне важно осмыслить технологии на стороне предложения, чтобы принять эффективные решения по энергопотреблению в зданиях. Районная энергетика выполняет важную функцию в данной области. Поскольку такие технологические инфраструктуры способны поставлять энергию как в существующие, так и в новые здания, они могут соединить секторы тепла и электроэнергетики, которые лежат в основе интеллектуальной энергетической системы (см. раздел 1.2 части А) и обеспечивают гибкость системы.

Рисунок 6. Три важнейших подхода, определяющих роль зданий в будущих экономически-эффективных устойчивых энергетических системах



Источник: Mathiesen *et al.* (2016)

Сектор, в котором преобладают индивидуальные системы тепло- и холодоснабжения на основе ископаемых видов топлива на уровне зданий

Рекомендации по энергосбережению и стимулированию изменений в поведении при эксплуатации зданий неразрывно связаны с рекомендациями в отношении снабжения. Наряду с биоэнергетикой такие технологии, как, например, крупномасштабные тепловые насосы для районного теплоснабжения, установки для сезонного аккумулирования тепла и геотермальные тепловые насосы, могут содействовать интеграции возобновляемой энергии в энергетическую систему экономически эффективным способом.

На рисунке 7 представлена предполагаемая доля продаж технологий отопления для зданий жилого и обслуживающего секторов в 2019 году. На рисунке не отражено традиционное использование биомассы, которое всё ещё доминирует в глобальном объёме потребляемого тепла, так как биомасса используется во многих развивающихся странах и сельских регионах. По показателю доли, занимаемой на рынке, оборудование, работающее на ископаемом топливе, составляет 57% от всего оборудования для теплоснабжения зданий в мире, в то время как стандартное электрическое отопительное оборудование – 22%, индивидуальные тепловые насосы – менее 5%, а отопительное оборудование, работающее на возобновляемой энергии (например, солнечные системы для нагрева воды) – 8% от всего оборудования.

Рисунок 7. Расчётные доли отопительного оборудования в зданиях жилого и обслуживающего секторов в мире в 2019 году с разбивкой по используемой технологии, кроме традиционного использования биомассы



Примечание. К оборудованию, работающему на возобновляемой энергии, относится оборудование для солнечного обогрева, оборудование, работающее на водороде, и современное оборудование для отопления на основе биоэнергии.

На основе публикации: данные МЭА (без даты).

В 2018 году сети районного теплоснабжения поставили менее 6% всего потребляемого тепла в мире (МЭА, 2019b). Однако между странами наблюдаются существенные различия. В Северной, Центральной и Восточной Европе, Российской Федерации и северном Китае доля систем районного теплоснабжения помещений выше, при этом на каждую из двух последних стран приходится более одной трети поставок в рамках РТХС.

Колебания объёмов районного теплоснабжения от одного региона к другому в некоторых случаях связаны с особым климатом и погодными условиями, а также наличием местных источников энергии. Например, регионы с благоприятными геотермальными ресурсами или наличием сбросного тепла, образующегося от сжигания топлива, производства электроэнергии или сжигания мусора, скорее всего будут иметь системы РТХС. Однако масштабное тепловое картирование показало, что почти у всех городских районов обычно есть какой-либо вид доступного для них теплового ресурса, будь то возобновляемый источник энергии или устойчивое повторное использование тепла (Moller *et al.*, 2018). Кроме того, такие технологии, как крупномасштабные тепловые насосы, позволяют разрабатывать системы РТХС, использующие низкотемпературные локальные источники энергии, которые иначе бы не рассматривались. Различия в уровне развития действующих систем районного теплоснабжения также обусловлены политикой в сфере городского и энергетического планирования. Эта политика сформировала традиции планирования теплоснабжения и типологии застройки городских пространств, способствующие использованию преимуществ местных условий для развития районного теплоснабжения (и холодоснабжения) (Paardekooper *et al.*, 2018). В глобальном масштабе ископаемые виды топлива с большим отрывом лидируют в качестве основного источника энергии для РТХС, в то время как на долю возобновляемых источников энергии в 2018 году приходилось менее 8% (МЭА, 2019b).

Спрос на охлаждение удовлетворяется в основном за счёт индивидуальных систем, например, сплит-систем кондиционирования воздуха. Энергоэффективные системы охлаждения, например, холодильные установки с электроприводом, можно реализовать с помощью систем районного холодоснабжения (МЭА, 2018). Однако районные энергетические системы используются гораздо меньше для холодоснабжения, чем для теплоснабжения (Werner, 2017). Как было упомянуто в предыдущем разделе, согласно прогнозам в будущем ожидается огромный скачок спроса на холодоснабжение (МЭА, 2018). В глобальном масштабе широкое распространение районного холодоснабжения в большей степени зависит от климата, но во многих случаях оно всё ещё опирается на знание методов планирования районных энергетических систем. Примечательно, что в Стокгольме (Швеция) расположены самые крупные системы районного холодоснабжения в Европе, что демонстрирует, что такая технология жизнеспособна даже в странах с холодным климатом.

A.1.2 Будущие энергетические системы и устойчивое тепло- и холодоснабжение

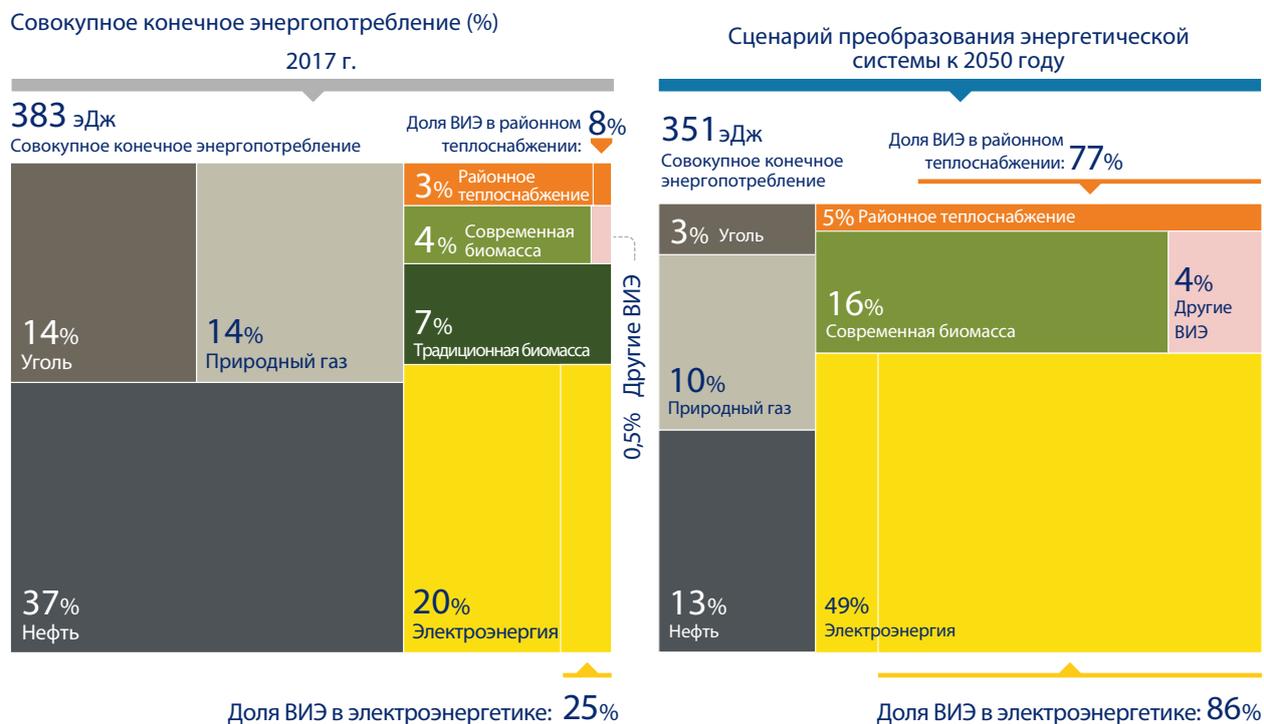
От централизованной энергетической системы к интеллектуальным энергетическим системам

Несмотря на тот факт, что большинство систем РТХС всё ещё работает на угле и природном газе, районные энергетические сети имеют возможности для интеграции низкопотенциальных возобновляемых источников энергии, включая геотермальную энергию, сбросное тепло и солнечную тепловую энергию. Согласно Сценарию преобразования энергетической системы, представленному IRENA в Глобальном прогнозе по возобновляемым источникам энергии, доля возобновляемой энергии в районном теплоснабжении может вырасти с 8% в 2017 г. до 77% в 2050 г., как показано на рисунке 8. Кроме того, согласно данному сценарию в 2050 году поставка 5% от всей конечной потребляемой энергии может быть реализована через системы РТХС, по сравнению с показателем 3% в 2017 году (IRENA, 2020a). Однако ряд исследований, проведённых на региональном уровне, продемонстрировал экономическую эффективность более высокой доли районного теплоснабжения (см. рисунок 11).

Районная энергетика может быть ключевым фактором, способствующим сокращению углеродных выбросов в секторе зданий и переходу к интеллектуальной энергетической системе. Такая система предусматривает интеграцию интеллектуальных электрических, тепловых и газовых сетей. К тому же интеллектуальные энергетические системы обеспечивают гибкость в отношении производства электроэнергии на основе переменных возобновляемых источников энергии, используя такие инструменты, как аккумуляция тепла, электрические бойлеры, переработка энергии в газ (т.е. технологии преобразования электроэнергии в газовое топливо (как водород или метан) и его последующего хранения), а также крупномасштабные тепловые насосы (David Connolly *et al.*, 2013b; Ridjan, 2015 г.; Lund *et al.*, 2016; IRENA, МЭА и REN21, 2018; Paardekooper, Lund and Lund, 2018).

На рисунке 9 показано взаимодействие интеллектуальных электрических, тепловых и газовых сетей с помощью разных технологий преобразования и систем регенерации. Множество связей означает, что в разных ситуациях, например, при высоком (пиковом) спросе, низкой выработке электроэнергии с помощью ветра, высоком производстве солнечной энергии и т.д., можно задействовать различные системы производства и снабжения энергией.

Рисунок 8. Структура общего конечного энергопотребления с разбивкой по энергоносителям в 2017 году в Сценарии преобразования энергетической системы к 2050 году (ЭДж)



Примечание. ЭДж = эксаджоуль.
Источник: IRENA (2020)

Рисунок 9. Взаимодействие между секторами и технологиями в интеллектуальной энергетической системе



На основе публикации: Paardekooper et al. (2018)

Районные системы теплоснабжения четвертого поколения

При проектировании будущей инфраструктуры районной энергетики следует учитывать предполагаемую интеллектуальную энергетическую систему (описанную в предыдущем разделе). Концепция районного теплоснабжения четвертого поколения описывает эти будущие технологии и системы районного теплоснабжения, ссылаясь на три поколения систем, появившихся ранее (Lund *et al.*, 2018). По мере увеличения энергоэффективности системы температуры подачи снижались. В свою очередь, такое повышение эффективности стало возможным благодаря сокращению тепловых потерь из распределительной сети и зданий, а также возможности интегрировать в систему разнообразные новые источники тепла (например, возобновляемые источники энергии и сбросное тепло), как показано на рисунке 10. С внедрением новых источников тепла можно наблюдать сокращение выбросов CO₂ и расширение интеграции с другими энергетическими секторами в целях повышения гибкости системы. Меры по экономии энергии в зданиях играют важную роль в разработке систем районного теплоснабжения четвертого поколения.

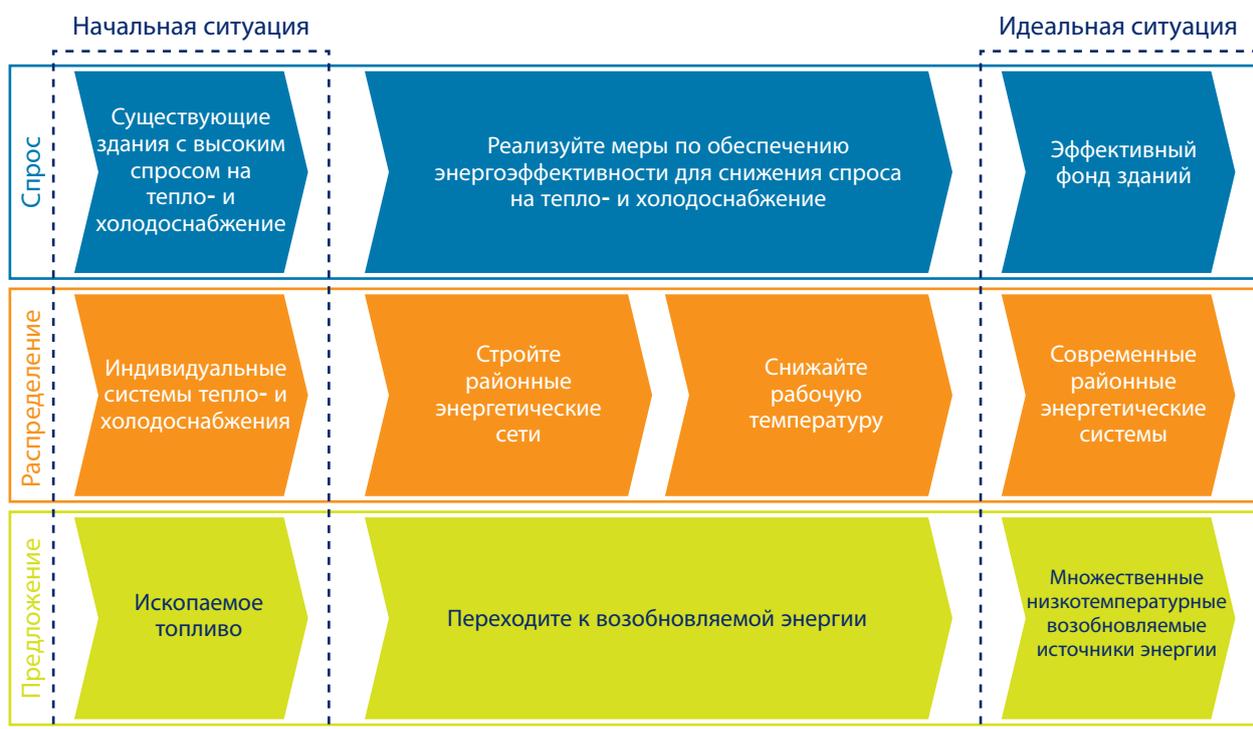
Следует отметить, что, хотя система четвертого поколения и является идеальным вариантом, низкотемпературные источники энергии можно использовать и в системах третьего поколения, главным образом, с помощью крупномасштабных

тепловых насосов. Самым важным моментом является то, что сети рассчитаны на работу с горячей водой, а не с паром. Что касается систем охлаждения, в них планируется со временем использовать только натуральные хладагенты, а не привычные ГФУ, которые должны быть постепенно выведены из обращения согласно требованиям Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу (ООН, 2016). Современные средние и крупные системы РТХС будут работать на основе различных местных и распределённых источников, включая низкотемпературную возобновляемую энергию и сбросное тепло.

Огромный потенциал для усовершенствования с помощью энергосбережения (в зданиях) и новой устойчивой системы снабжения (РТХС)

При рассмотрении способов декарбонизации сектора теплоснабжения основная задача заключается в определении оптимального баланса между инвестициями в энергосбережение и в энергоснабжение. В традиционных методах используется простой подход, основанный на предельных издержках, и основное внимание здесь направлено на экономию энергии на уровне здания, например, путём его модернизации или улучшения изоляции. Однако энергосбережение можно осуществлять по всей энергетической системе – от выработки энергии до её передачи и потребления, независимо от

Рисунок 10. Траектория перехода от индивидуальных отопительных систем на основе ископаемого топлива к системам районного теплоснабжения четвертого поколения



Примечание. Районные энергетические системы могут заменить большинство, но не все индивидуальные системы тепло- и холодоснабжения в густонаселённых районах (см. раздел 6.4 части В).

масштаба такой системы (будь то общегосударственный, региональный, городской или районный уровень). Система энергосбережения экономически целесообразна в том случае, если предельные издержки на её внедрение меньше, чем издержки на разработку новых систем энергоснабжения. В своей работе Хансен (Hansen) (2019) утверждает, что «оценка ожидаемых (системных) издержек на теплоснабжение может быть более сложной задачей, чем принятие простых мер на основе нормированной стоимости энергии (LCOE)»³, но в будущей энергетической системе ввиду внешних преимуществ и синергических взаимосвязей энергетической системы такая оценка становится необходимой. Используя простой подход предельных издержек, сложно оценить количество энергии, сэкономленной, например, благодаря использованию сбросного тепла с электростанций. Ещё одним примером данного механизма является система районного теплоснабжения, в которой на уровне здания используется геотермальная энергия, а не тепловые насосы, благодаря чему сокращается потребность в электрической мощности при пиковом спросе и потенциальном производстве биогаза в зависимости от метеорологических условий.

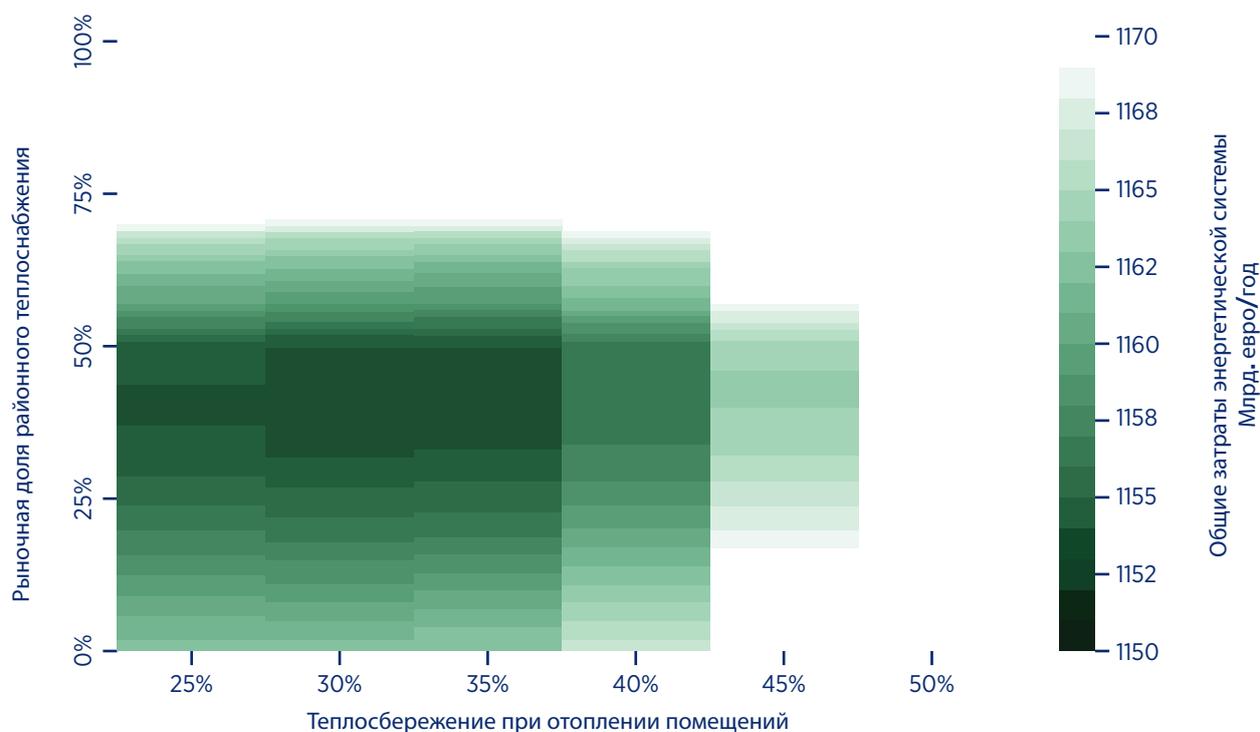
Такие взаимодействия являются результатом сложного и взаимозависимого характера системы и не могут быть надлежащим образом учтены в упрощённой оценке на основе LCOE без подробного и своевременного моделирования

энергетической системы. Здесь необходимо проанализировать энергетические потоки во всей энергетической системе, чтобы задействовать возможности энергосбережения в системах электро- и теплоснабжения.

В качестве примера на рисунке 11 показаны реальные доли сэкономленного тепла и районных энергетических систем на рынке теплоснабжения с учётом общих издержек энергетических систем для 14 крупнейших государств-членов Европейского союза (ЕС), совокупные потребности которых в теплоснабжении составляют 90% от всего объёма тепла, потребляемого в ЕС (Mathiesen *et al.*, 2019). На рисунке представлены обобщённые результаты и различия для этих 14 стран. Например, Чехия, Венгрия, Польша и Румыния совместно могут достичь дополнительной 25-процентной экономии тепла по сравнению с целями, заявленными в их политике в области энергоэффективности в настоящее время, в то время как политика в отношении энергоэффективности зданий других стран уже надёжно на пути к минимизации издержек в энергетической системе к 2050 году. Для получения более подробной информации см. исследование Paardekooper *et al.* (2018).

³ Нормированная стоимость измеряет стоимость энергетического проекта за весь срок службы, поделённую на его выработку энергии.

Рисунок 11. Синергические взаимосвязи между районным энергоснабжением и теплосбережением с учётом общих издержек энергосистем в 14 европейских странах, на которые приходится 90% спроса на тепло в ЕС



HRE14: 14 крупнейших государств-членов ЕС по показателю спроса на тепло (90% от общей потребности ЕС в тепле) согласно исследованию в рамках проекта Heat Roadmap Europe. **Источник:** Mathiesen *et al.* (2019)

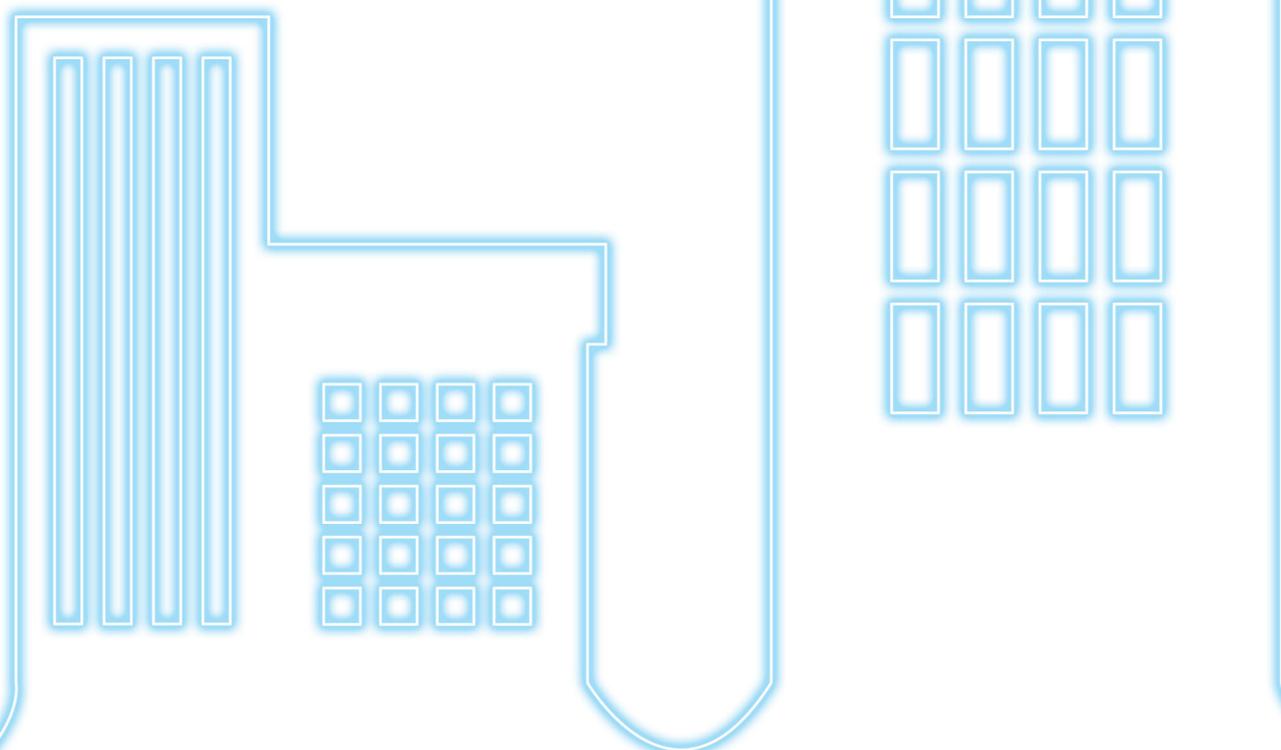
На рисунке 11 показано, что с помощью инвестирования в районное теплоснабжение и энергосбережение можно снизить общие издержки энергетической системы. На рисунке представлены общие издержки энергетической системы для 14 стран ЕС с самым большим спросом на тепло, с разными уровнями энергосбережения и долями районного теплоснабжения.

На рисунке самые низкие издержки энергосистемы находятся в области 50-процентной доли рынка районного теплоснабжения с показателем теплосбережения 30% на европейском уровне, достигнутым по сравнению с 2015 годом, и отображены самым тёмным цветом. Это подтверждает важность рассмотрения энергетических систем как сложных взаимосвязанных систем, где между секторами электро-, газо-, тепло- и холодоснабжения существуют синергические взаимосвязи. В данном примере синергия демонстрирует потенциал одновременного инвестирования в районное теплоснабжение и теплосбережение, чтобы в целом уменьшить общие издержки энергетической системы.

В ходе исследования ситуации в Китае (Xiong *et al.*, 2015) также был сделан вывод о том, что более привлекательное решение для повышения рентабельного и энергосберегающего спроса на тепло обеспечивается комбинацией элементов: рекуперации энергии, поставщика с высокой энергоэффективностью и энергосбережения.

Основным выводом из этих исследований является то, что противопоставление более высоких стандартов в области строительства и модернизации районной энергетике не оправдано; на самом деле именно комбинация этих двух инструментов (вместе с переходом на более экологически устойчивые источники энергии) с наибольшей вероятностью способна обеспечить самое экономически эффективное решение.

«Экономически эффективным решением могут стать энергоэффективные здания, подключённые к экологически устойчивому районному энергоснабжению.»



A.2 Обзор возобновляемых источников энергии для РТХС и ключевых опорных технологий

A.2.1 Источники и технологии возобновляемой энергии (и сбросного тепла) для районного теплоснабжения

В системе районного теплоснабжения могут использоваться различные источники энергии без привязки к единственному типу поставляемого ресурса. Хорошей иллюстрацией этого факта служит развитие европейского рынка районного теплоснабжения. В 1990 году 50% тепла на континенте получали путём сжигания угля. Начиная с 1990 года, доля природного газа, который вытеснил уголь из ТЭЦ, в районном теплоснабжении выросла примерно до одной трети. В период с 1990 до 2017 года доля биомассы в общей выработке тепла для районного теплоснабжения выросла до 20%, а других возобновляемых источников энергии – до 6% (Mathiesen *et al.*, 2019).

В системах РТХС могут задействоваться самые разные местные источники энергии, некоторые из которых иначе не использовались бы. К ним относятся геотермальное тепло, солнечная тепловая энергия, сбросное тепло из промышленных процессов или естественное охлаждение. Таким образом, эти низкотемпературные источники энергии стратегически важны для развития систем РТХС и наоборот – развитие систем РТХС стратегически важно для освоения низкотемпературных источников энергии. Главные стратегические источники энергии для РТХС описаны в следующих разделах.

Геотермальные ресурсы

Геотермальная энергия – это возобновляемый источник энергии, получаемый из природных очагов тепла, залегающих под поверхностью Земли. Для производства электроэнергии обычно требуются геотермальные ресурсы с температурой выше 150 °С. Однако в передовых технологиях, например, на электростанциях бинарного парогазового цикла, могут применяться низкотемпературные источники (IRENA, 2017a).

Доступ к геотермальной энергии получают путём приповерхностного или более глубокого бурения. Высокотемпературные геотермальные ресурсы обычно находятся в зонах глубокого залегания с высоким температурным градиентом. Средне- и низкотемпературные ресурсы, как правило, находятся неглубоко или глубоко под поверхностью в зонах с низким или умеренным температурным градиентом. С другой стороны, низкотемпературное тепло, аккумулируемое в верхних слоях неглубоко под поверхностью, в основном образуется из солнечной радиации. Такое тепло поглощается почвой и распределяется системами грунтовых вод (Британская геологическая служба, 2020).

Низко- и среднетемпературные геотермальные ресурсы, подходящие для прямого использования, в том числе для РТХС, более широко распространены, чем высокотемпературные геотермальные ресурсы, необходимые для производства электроэнергии (Limberger *et al.*, 2018).

Геотермальная энергия вырабатывается гидротермальными системами, имеющими широкий диапазон температур в зависимости от геологических условий. Для геотермальных ресурсов принято несколько классификаций в зависимости от характеристик геотермальной системы, из которой получают энергию. Основные классификации основаны на температуре, энтальпии, физическом состоянии жидкостей и геологических условиях. Температура и энтальпия в основном применяются для классификации геотермальных ресурсов в целях использования. По параметру температуры геотермальные ресурсы подразделяются на три уровня: низкотемпературные, среднетемпературные и высокотемпературные.

Поскольку эти температурные уровни сами по себе неоднозначны, для каждого уровня разные авторы использовали разные температурные диапазоны. В контексте систем РТХС, в которых используются низкотемпературные источники, геотермальные ресурсы с температурой ниже 90-100 °С будут считаться низкотемпературными. При температурах выше 80 °С геотермальную энергию можно интегрировать в существующие сети районного теплоснабжения без значительных изменений системы. С другой стороны, для использования геотермальных ресурсов при более низких температурах может потребоваться модификация существующих сетей районного теплоснабжения, а также зданий (см. раздел 4 части В настоящего руководства).

Высокотемпературные геотермальные системы традиционно использовались в основном для производства электроэнергии, а в некоторых случаях – для комбинированной выработки тепла и электроэнергии для прямого использования, например, для отопления помещений с помощью каскадной системы.

Данные системы (которые каскадным способом подают тепло с электростанции базовой нагрузки в районную энергетическую систему) преобладают в Исландии, например, геотермальная система районного теплоснабжения в Рейкьявике, которая подаёт горячую воду в город при температуре 75 °С. Часть этой энергии параллельно производится на ГеоТЭС Несьяведлир и Хедлискейди и подаётся в город. На геотермальные ТЭЦ приходится около 50% пикового спроса на тепло в Рейкьявике, а на системы с более низкой температурой – остальной спрос. Более 90% всех потребностей в отоплении помещений в Исландии удовлетворяется геотермальной энергией (Tester *et al.*, 2015).

В отличие от высокотемпературных геотермальных ресурсов, находящихся в Исландии и некоторых других местах с благоприятными геологическими условиями, большинство геотермальных ресурсов в мире имеют низкую или среднюю температуру, например, ресурсы, находящиеся в осадочных бассейнах. В то время как жидкости, получаемые из некоторых

скважин в условиях таких осадочных бассейнов, могут иметь температуру выше 100 °С (например, на Среднедунайской низменности в юго-восточной Венгрии), в других местах температура воды колеблется в диапазоне 40-60 °С (например, в китайских бассейнах).

Геотермальную энергию для тепло- и холодоснабжения в некоторых случаях получают из низкотемпературных жидкостей, залегающих в резервуарах на меньшей глубине – обычно менее 1000 метров. Ярким примером служит система теплоснабжения в округе Бойзи, штат Айдахо, США, где горячую воду с температурой 66-82 °С для отопления нескольких жилых и коммерческих зданий получают из серии скважин, пробуренных на глубину 30-900 метров (Tester *et al.*, 2015).

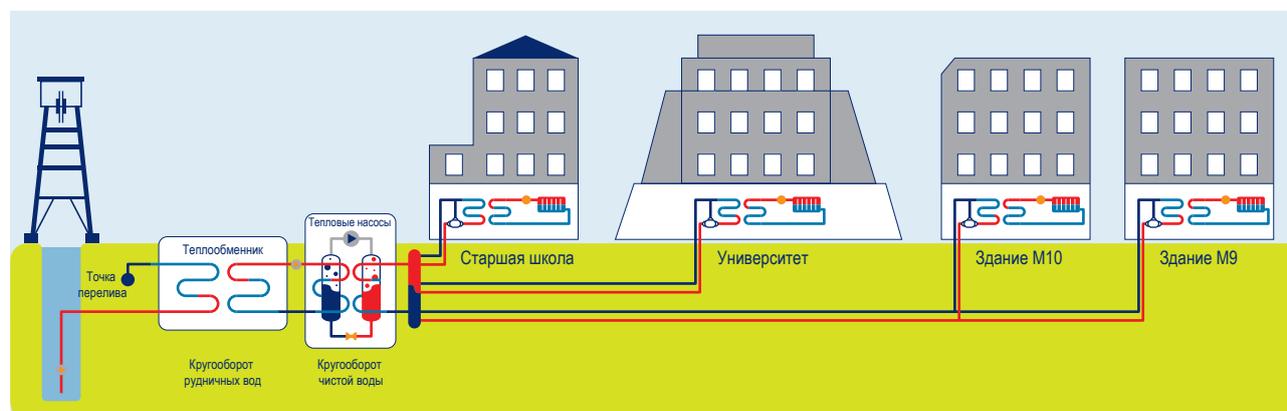
В более поздних разработках более холодные термальные воды, температуру которых можно повысить с помощью тепловых насосов в целях районного отопления, извлекают из неглубоких геотермальных скважин. Такая стратегия бурения мелких скважин используется в целях снижения издержек на бурение, а также минимизации рисков, связанных с бурением глубоких геотермальных скважин. В эти риски входит неопределённость в отношении наличия ресурса с соответствующей температурой и скоростью потока (Tester *et al.*, 2015). Кроме того, данная стратегия способна минимизировать риск солеотложений и коррозии от геотермальных жидкостей, так как жидкости с более низкой температурой, залегающие в неглубоких водоносных горизонтах, более пригодны для использования. Но в то же время такие более прохладные, неглубоко залегающие жидкости могут быть связаны с источниками питьевой воды и таким образом создавать угрозу загрязнения и истощения водоносных пластов вследствие других видов использования (например, в сельском хозяйстве). Поэтому необходим их тщательный мониторинг. Система районного отопления Париж-Сакле имеет геотермальные скважины, пробуренные на глубину 700 метров для извлечения низкотемпературной (около 30 °С) геотермальной воды. С помощью тепловых насосов

температура геотермальной воды повышается до 45-63 °С для отопления зданий в зимний период. В летний период тепловые насосы используются для генерации холодной воды с температурой 6-12 °С для холодоснабжения зданий (Galindo Fernández *et al.*, 2016).

Поскольку в разработках в области сетей районного теплоснабжения наблюдается тенденция использования низкотемпературных ресурсов, новые, обладающие большим потенциалом источники и инструменты для получения геотермальной энергии начинают всё шире применяться в низкотемпературных системах. Это могут быть, например, заброшенные угольные шахты, а также почвенные тепловые насосы для открытого и закрытого контуров.

После окончания горных работ угольные шахты со временем заполняются водой из подземных источников. Из-за природного температурного градиента Земли эта вода может сохранять постоянную температуру в течение всего года (обычно 18-35 °С в зависимости от глубины залегания). В проекте Minewater (Mijnwater) в Херлене (Mijnwater BV, 2014), Нидерланды, используется вода с температурой 28 °С, которую извлекают из старой шахты для энергоснабжения систем отопления городских зданий и районов с использованием индивидуальных тепловых насосов для повышения температуры. Шахта также используется как теплопоглотитель для избыточного солнечного и сбросного тепла от промышленных предприятий и систем охлаждения (Verhoeven *et al.*, 2014). Этот инновационный проект постоянно расширяется, таким образом стимулируя преобразование тепла (декарбонизацию сектора теплоснабжения) в агломерации Херлена. Аналогичным образом в Мьересе, Испания, в рамках проекта районного теплоснабжения на основе каменноугольной шахты в Барредо используется вода, которая перекачивается насосами из заброшенных угольных шахт и имеет практически неизменные характеристики, например, расход (3,96 кубического гектометра в год [гм³/год]), температуру (23 °С) и качество. Как показано на рисунке 12, согласно разработанному в 2018 году проекту, районное теплоснабжение осуществляется с помощью погружных водяных насосов, теплообменника,

Рисунок 12. Заброшенные угольные шахты: проект районного теплоснабжения на основе каменноугольной шахты в Барредо (Мьерес), Астурия, Испания



Источник: Decarb Europe (2020)

двух тепловых насосов и серии подземных трубопроводов, подведённых к старшей школе, университету (через высокотемпературные сети) и к 245 жилым домам (через низкотемпературную сеть).

Проект заменил газовые котлы, ранее использовавшиеся для отопления помещений. Электроэнергия, используемая при эксплуатации тепловых насосов, поставляется в рамках соглашения, гарантирующего, что такую электроэнергию получают из возобновляемых источников. Эта мера обеспечивает ежегодное сокращение выбросов CO₂ на 653 тонны (Lettenbichler and Provaggi, 2019). Благодаря извлечению тепла из заброшенных угольных шахт и одновременному использованию тепловых насосов геотермальную энергию можно получать и использовать без необходимости проведения масштабных поисково-разведочных работ и бурения, особенно в районах, где такие шахты расположены вблизи населённых центров со спросом на тепло- или холодоснабжение.

Аналогично, низко- и среднетемпературные геотермальные ресурсы сосуществуют с нефтью и газом и могут использоваться для энергоснабжения в целях отопления помещений в тех районах, где потребители отопительной нагрузки расположены рядом с нефтяными и газовыми месторождениями. Например, компания Vermilion Energy поставляет горячую воду, получаемую в процессе комбинированного производства из нефтяных и газовых скважин, чтобы отапливать 15 гектаров теплиц для выращивания помидоров. Кроме того, деятельность компании во Франции обеспечивает производство тепловой энергии для удовлетворения 80% потребностей в теплоснабжении 550 квартир (Vermilion Energy, 2019). Кроме того, нефтяные и газовые скважины дают ценную информацию о подземных пластах, например о литологических характеристиках, температуре и пористости. Помимо исключения затрат на разведочное бурение эти наборы данных помогают существенно снизить ресурсный риск, связанный с геотермальными проектами.

Прежде чем ликвидировать⁴ нефтяную или газовую скважину, следует рассмотреть целесообразность одновременного производства энергии на такой скважине. Основные проблемы для извлечения геотермальной энергии из заброшенных нефтяных и газовых скважин включают затраты на их расконсервацию после оставления и высокий риск нарушенной целостности скважины, что ограничивает её долгосрочную полезность. Поскольку дебит (или обводнённость) скважины обычно регистрируется в промышленных данных, их можно использовать для определения экономической выгоды от расконсервации скважины. Кроме того, узкая конструкция нефтяных и газовых скважин ограничивает использование глубинных насосов для извлечения воды в целях районного теплоснабжения (Hickson *et al.*, 2020).

⁴ Оставление скважины сопровождается её герметизацией или заполнением (обычно цементными пробками для блокировки любого восходящего или нисходящего потока в скважине).

В качестве альтернативы комбинированному производству нефтяные и газовые скважины могут использоваться для производства низкотемпературной геотермальной энергии для отопления помещений. Для этого в них устанавливают теплообменники. Таким образом, из скважин можно получать температуры 20-70 °C или выше на глубине 1000-3000 метров в зависимости от тепловых характеристик окружающей породы. Однако теплообмен может выполняться только на поверхности, если температура и расход извлекаемой геотермальной жидкости достаточно высоки.

Солнечная тепловая энергия

Принцип работы солнечных тепловых установок заключается в улавливании солнечной радиации для производства тепла. Небольшие солнечные системы широко используются в быту для приготовления горячей воды и отопления индивидуальных зданий в умеренном климате, а также в специальных системах, где требуется температура ниже 100 °C (Pauschinger, 2016). Большие системы особенно подходят для интеграции с сетями районного теплоснабжения ввиду очевидной экономии за счёт эффекта масштаба.

В зависимости от конкретной технологии и места расположения солнечного модуля могут применяться различные классификации.

Для использования солнечной энергии разработаны два основных типа солнечной тепловой технологии: плоские коллекторы и электростанции, работающие на концентрированной солнечной энергии (КСЭ) (см. фотографию 2).

- Плоские коллекторы состоят из панели, которая включает в себя теплообменник, передающий поступающее излучение в жидкий теплоноситель. Их передняя часть обычно застеклена, а задняя оснащена теплоизоляцией для снижения тепловых потерь (Duffie and Beckman, 2013; Датское энергетическое агентство, 2016а). Теплообменник обычно представляет собой змеевик с поглощающими панелями, но в настоящее время разрабатываются новые конструкции, например, многоканальный поглотитель. Как правило, плоские солнечные коллекторы производят тепловую энергию ниже 100 °C.
- В электростанциях КСЭ применяются зеркала для фокусирования поступающего излучения на приёмник. В зависимости от формы зеркал и приёмников установки КСЭ можно разделить на четыре категории: параболический цилиндр, отражатель Френеля, солнечная электростанция башенного типа и солнечная тарелка. В отличие от плоских солнечных коллекторов, в установках КСЭ температура может достигать очень высоких значений – обычно в диапазоне 300-500 °C и даже выше. Это означает, что их можно использовать для генерации как электроэнергии, так и тепла.

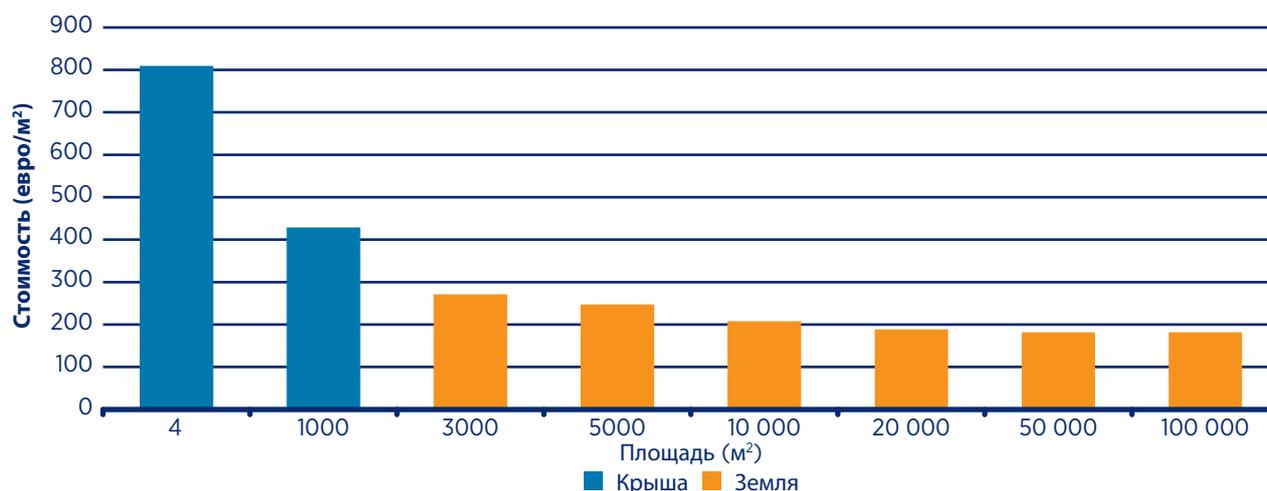
Фотография 2. Солнечные установки с плоскими коллекторами в Лёгумкlostере (Дания) (слева) и параболоцилиндрическая концентраторная солнечная электростанция в Брённерследе (Дания) (справа)



Источник: Solar Heat Europe

Автор изображения: Luis Sánchez-García

Рисунок 13. Стоимость монтируемых на крыше и земле солнечных установок в Дании



Источник: Dyrelund et al. (2010)

КПД плоских солнечных коллекторов весьма чувствителен к температурам системы районного теплоснабжения, поэтому имеется большой стимул к их снижению. В этом смысле в работе Averfalk and Werner (2020) было определено, что возможная экономия при первоначальной инвестиции составляет 100 евро при выработке 1 тераджоуля (ТДж) энергии и снижении температуры в обратном потоке на один градус Цельсия (°C), что является одним из самых высоких показателей среди изученных технологий. В отличие от КПД плоских солнечных коллекторов, КПД установок КСЭ слабо зависит от температур теплоносителя, позволяя системе работать при более высоких температурах. Ещё одно различие между этими технологиями заключается в более сложной настройке, необходимой для установок КСЭ, так как в данной технологии зеркала должны следовать движению солнца, в то время как плоские солнечные коллекторы обычно неподвижны.

Независимо от используемой технологии возможны разные виды её интеграции: централизованный и децентрализованный.

- При централизованной интеграции парк коллекторов подаёт энергию в районную энергетическую систему в единственном месте. Примером этого может служить солнечная установка районного теплоснабжения мощностью 15 мегаватт (МВт), введённая в эксплуатацию в 2019 году в городе Саласпилсе, Латвия. Она удовлетворяет примерно 20% годового спроса на тепло, а остальная часть спроса обеспечивается котлом на биомассе, мощностью 3 МВт (Epp, 2019). Менее масштабный проект был реализован в резиденции Wits University Junction в г. Йоханнесбурге, ЮАР: здесь на крыше были установлены солнечные коллекторы общей площадью 600 м² (Kganuara, 2019). Централизованные установки, в свою очередь, могут быть установлены на земле или над крышами или другими конструкциями.
- При децентрализованной интеграции парки солнечных коллекторов, установленные в любых подходящих местах сети РТХС, подключаются к главному контуру РТХС на месте. Например, в солнечном сообществе Drake Landing в

провинции Альберта, Канада, на отдельно стоящих гаражах 52 домов в новом районе было установлено 798 солнечных коллекторов, подсоединённых к энергетическому центру сообщества с помощью подземного трубопровода (Drake Landing Solar Community, без даты).

Монтаж коллекторов на земле в случае её разумной цены является самым дешёвым вариантом, так как позволяет извлечь выгоду из экономии масштаба: более крупные коллекторы, более быстрая и стандартизированная установка. Как показано на рисунке 13, прямые издержки на районное теплоснабжение с помощью солнечных тепловых установок уменьшаются по мере увеличения размера установок, а наземный монтаж значительно дешевле монтажа на крыше.

Поскольку солнечное излучение достигает любой точки Земли, в большинстве стран потенциал солнечной тепловой энергии превышает текущий спрос на РТХС. Однако такой теоретический потенциал может быть существенно ограничен из-за недостатка пространства на земле или крышах. Примером таких ограничений является Китай, где спрос на тепловую энергию высок, но пространства для установки солнечных коллекторов в городских условиях может быть недостаточно (IRENA, 2017b).

Выработка энергии с помощью солнечных установок происходит по двум взаимосвязанным циклам: суточному и годовому. В суточном цикле выработка равна нулю в ночное время и достигает максимума примерно в астрономический полдень по местному времени (в ясный день). Кроме того, вследствие наклона земной оси производительность варьируется в зависимости от сезона, достигая максимума летом и минимума зимой. Такое сезонное колебание сильно зависит от географической широты места: производственные установки, расположенные на более низкой широте, будут иметь довольно сглаженную диаграмму производительности, в то время как установки, находящиеся в более высоких широтах, например, в Скандинавии, демонстрируют гораздо более выраженный пик производительности в летний период.

Такая особенность требует аккумулирования тепла, чтобы компенсировать высокие колебания в производстве тепловой энергии для потребителей. Как правило, солнечные установки районного теплоснабжения используют аккумулированное в течение дня тепло, благодаря чему сглаживается неравномерность дневного и ночного циклов производства. Объём тепловых накопителей обычно составляет несколько тысяч кубических метров. С другой стороны, годовой цикл также можно выровнять с помощью сезонного аккумулирования энергии, но для этого требуются значительно большие объёмы.

Вследствие затрат на сезонное аккумулирование большинство солнечных установок используется для удовлетворения летнего спроса, благодаря чему, например, доля солнечной энергии в Дании может составлять 15-20% от общего потребления. Однако это возможно при условии наличия спроса на районное теплоснабжение в течение всего года, например, спроса на БГВ или другую аналогичную базовую нагрузку.

Напротив, в случае отсутствия потребления районного теплоснабжения в летний период солнечное районное теплоснабжение может быть не лучшим вариантом. Тем не менее, по мере того как издержки на сезонное аккумулирование энергии продолжают снижаться, солнечные тепловые установки становятся всё более актуальны. Кроме того, солнечные тепловые установки также могут обеспечивать районное холодоснабжение. В этом случае преимуществом является то, что периоды высокой производительности обычно совпадают с периодами высокого спроса на холодоснабжение, благодаря чему сокращается потребность в аккумулировании энергии и в избыточных мощностях.

Солнечные тепловые установки могут давать больше возобновляемой и экологически чистой энергии для систем районного теплоснабжения при их комбинации с тепловым аккумулированием (Pauschinger, 2016).

Результаты исследования Mathiesen and Hansen (2017) показывают, что в Австрии, Дании, Германии и Италии общая потенциальная доля солнечной тепловой энергии среди стран и различных видов энергетических систем колеблется между 3% и 12% от всего объёма производимого тепла. Однако потенциальные мощности солнечных тепловых установок могут удовлетворить более высокий спрос на районное теплоснабжение по сравнению с индивидуальными системами отопления. Гибкость энергетической системы является ключевым фактором для создания возможностей интеграции солнечной тепловой энергии. Она, в свою очередь, зависит от доли районного теплоснабжения на покрытие базовой тепловой нагрузки, которая влияет на способность системы интегрировать солнечное тепло, а также от доли переменных возобновляемых источников электроэнергии. Кроме того, крайне важна связь с сектором теплоснабжения с помощью тепловых насосов и станций ТЭЦ (Mathiesen and Hansen, 2017).

В сочетании с низкотемпературными геотермальными ресурсами солнечные тепловые установки могут обеспечивать эффективность работы, выгодную для обеих технологий. В случае совместного использования эти технологии могут применяться чаще, чем каждая технология по отдельности.

Ещё одним решением по использованию солнечного излучения являются фотоэлектрические элементы, преобразующие солнечное излучение в электроэнергию. Их можно использовать в системах районного холодоснабжения вместе с системами кондиционирования воздуха с электроприводом.

Сбросное тепло

Избыточное, или сбросное, тепло включает в себя все тепловые потоки, которые образуются в результате любого промышленного процесса и не могут быть регенерированы для самого процесса, но их можно повторно использовать в других целях, например для РТХС. Это определение могло бы включать в себя избыточное тепло, образующееся в процессе выработки электроэнергии на электростанции, но такой источник, ввиду его важности, обычно рассматривается как отдельная категория, а термин «избыточное тепло» используется для других промышленных процессов.

Существует огромное количество промышленных процессов, которые выделяют тепло в окружающую среду и могут использоваться для ПТХС. К стандартным источникам сбросного тепла относятся НПЗ, например, в г. Фредериксии (Дания) или г. Гётеборге (Швеция) (Frederiksen and Werner, 2013), цементное производство в г. Ольборге (Дания) (Aalborg Varme A/S, 2020), а также сталепрокатные заводы, например, в г. Равне-на-Корошкем (Словения) (Konovšek *et al.*, 2017) или в Дюнкерке (Франция) (Belot and Juilhard, 2006).

Вышеуказанные источники обеспечивают достаточно высокие температуры и могут использоваться непосредственно в сети районного теплоснабжения с помощью простого теплообменника. Кроме того, их можно использовать для холодоснабжения благодаря сорбционным чиллерам, которые преобразуют тепло в охлаждение с очень низким потреблением электроэнергии (Calderoni *et al.*, 2019) (см. раздел 2.3 части А).

Использование тепловых насосов позволило бы регенерировать тепло из гораздо большего количества тепловых источников, температура которых обычно ниже 70 °С. В этом случае, несмотря на необходимость теплового насоса, использование сбросного тепла в качестве источника обеспечивает преимущество меньшего потребления электроэнергии, чем в том случае, если бы в качестве источника тепла использовался воздух. Примерами таких новых нестандартных источников тепла служат центры обработки данных, например, в компании Facebook в г. Оденсе, Дания (Fjernvarme Fyn A/S, 2020) или в г. Мянтсяля в Финляндии (проект CELSIUS, 2020a); крематории в Швеции (Petersen, 2017); установки по очистке сточных вод, например, в г. Редкерсбро, Дания (Støchkel, Paaske and Clausen, 2017) или в г. Ванкувере, Канада (City of Vancouver, без даты); а также станции метро, например, Ислингтон в Лондоне (проект CELSIUS, 2020b). Ещё одним вариантом является регенерация тепла из обратного потока сетей районного охлаждения. Такая технология была реализована в коммуне Хойе-Тоструп, Дания (Schleiss, без даты). Среди этих источников центры обработки данных, вероятно, имеют самый большой потенциал, так как интернет-трафик быстро растёт (Jones, 2018).

Согласно оценкам, в Европе промышленное сбросное тепло может покрыть минимум 25% потенциальных потребностей в районном теплоснабжении без необходимости модернизации, в зависимости от расположения, температуры и временного аспекта (Paardekooper *et al.*, 2018). При рассмотрении других типов нестандартных низкотемпературных источников сбросного тепла, таких как центры обработки данных, супермаркеты, канализационные очистные сооружения или вентиляционная система метрополитена, фактический потенциал может быть ещё выше (Persson and Averfalk, 2018). В Китае промышленное сбросное тепло может стать существенным ресурсом для систем районного теплоснабжения, так как потребление энергии промышленностью составляет 70% всего энергопотребления в стране (Xiong *et al.*, 2015).

Биоэнергетика

Биомасса, вне сомнения, является крупнейшим источником возобновляемого тепла. В некоторых странах имеются

большие объёмы недостаточно используемой сырьевой биомассы, которая может использоваться энергетическим сектором, в том числе районными отопительными котлами и ТЭЦ (Paardekooper *et al.*, 2020). Ожидается, что биомасса, производимая экологически устойчивым образом на имеющихся сельхозугодьях из сельскохозяйственных отходов и в существующих продуктивных лесах, будет играть более важную роль в будущих энергетических системах. Представленный IRENA Глобальный прогноз по возобновляемым источникам энергии показывает, что биомасса может составить 23% от совокупного мирового объёма поставок первичных источников энергии, главным образом для выработки электроэнергии, а также для отопления и транспорта (IRENA, 2020a).

К биоэнергетическим источникам для районного отопления относятся свежесрубленная древесина, энергетические отходы, сельскохозяйственные отходы, пищевые отходы, промышленные отходы, а также побочные продукты производства и биогаз (Wiltshire, 2016). Биогаз образуется во время анаэробного распада биомассы и в основном состоит из метана. С другой стороны, биомасса также может использоваться для производства различных продуктов, например, древесных топливных гранул или древесной стружки.

Древесные топливные гранулы изготавливаются путём прессования древесного сырья, например, древесных опилок для получения цилиндрических кусочков диаметром около 70 мм и длиной около 600 мм. Такие гранулы имеют высокую энергетическую плотность (10 ГДж/м³), низкое содержание влаги (< 8%) и однородные топливные характеристики по сравнению с деревом. Кроме того, их легко транспортировать. Древесная стружка изготавливается путём размалывания/разрезания древесины на маленькие кусочки размером 5-50 мм. Древесная стружка имеет низкую энергетическую плотность (3 ГДж/м³) и более высокое содержание влаги (20-25%) (IRENA, 2018).

Тем не менее, необходимо следить за тем, чтобы биомасса использовалась экологически рациональным способом. Есть вероятность, что большие доли доступной (устойчивой) биомассы в полностью возобновляемой энергетической системе понадобятся для производства биогаза и топлива, которые являются сравнительно более трудоёмкими для производства, чем тепло- и холодоснабжение, поэтому системы районного энергоснабжения должны стремиться сократить своё потребление биоэнергии. С точки зрения энергетической системы районная энергетика также может играть важную роль в интеграции других видов возобновляемых источников энергии. Согласно многочисленным исследованиям технологий отопления, зависимость от биомассы в системах районного теплоснабжения можно ограничить. Таким образом, биоэнергетику можно оставить для других секторов, одновременно содействуя созданию полностью возобновляемой энергетической системы (Mathiesen, Lund and Connolly, 2012).

Интеграция биомассы в существующую инфраструктуру, работающую при высоких температурах, не представляет серьёзных технических проблем и поэтому не будет рассматриваться в настоящем руководстве.

A.2.2 Возобновляемые источники энергии для районного холодоснабжения

Районное холодоснабжение может быть реализовано с помощью различных технических решений. Среди прочего используются две следующие конфигурации.

- Централизованное холодоснабжение: системы охлаждения централизованы, и установлена сеть холодного водоснабжения, которая может быть отделена от сети горячего водоснабжения (предназначенной для районного теплоснабжения) в системах отопления и охлаждения, она соединяет системы с пользователями.
- Холодоснабжение на уровне пользователя: специальная сеть для районного холодоснабжения отсутствует. Вместо неё используется сеть районного теплоснабжения. Системы расположены вблизи пользователей и работают за счёт тепловой энергии, распределяемой самой сетью.

Централизованное районное холодоснабжение может гарантироваться с помощью устройств, работающих на электричестве (компрессионное охлаждение) или с помощью тепловых установок (абсорбционное охлаждение). Районное холодоснабжение на уровне пользователя может осуществляться только с помощью установок абсорбционного охлаждения, так как охлаждение на уровне пользователя с помощью установок компрессионного охлаждения подпадает под определение индивидуального теплоснабжения (индивидуальные кондиционеры воздуха, которые не используют сеть распределения горячей или холодной воды и, следовательно, не являются частью контура районного холодоснабжения).

С абсорбционными чиллерами могут использоваться такие источники тепла, как избыточное тепло из промышленных предприятий, геотермальная и солнечная тепловая энергия. В регионах с отдельными сезонами тепло- и холодоснабжения это позволяет применять комбинированные системы РТХС, в которых один и тот же низкотемпературный источник тепла используется для отопления зимой и для охлаждения летом. Таким примером может служить город Чжэнчжоу

в Китае (см. вставку 2). Солнечная тепловая энергия для абсорбционного охлаждения является отработанной и хорошо известной технологией (Hassan and Mohamad, 2012; Inayat and Raza, 2019). Количество охладительных установок в мире растёт благодаря простоте и возможностям охлаждения с помощью солнечной тепловой технологии (Inayat and Raza, 2019). Воду можно частично или полностью охлаждать путём теплообмена, используя имеющиеся в некоторых местах природные ресурсы. Такой метод называется «естественным охлаждением» (МЭА, 2018).

Естественное охлаждение

Благодаря расположению большинства средних и крупных городов мира рядом с природными водоёмами, РТХС располагает множеством естественных природных водных ресурсов. Системы тепловых насосов для забора поверхностной воды из морей, озёр или рек в качестве источника или поглотителя тепла либо комбинированного источника, способны обеспечивать тепло- и (или) холодоснабжение для систем РТХС. Обычная схема работы данной системы заключается в перекачивании холодной воды в установку районного холодоснабжения, где сбросное тепло извлекается из сети районного холодоснабжения с помощью теплообменника. После завершения данного этапа вода выпускается в источник. Другой способ использования естественного охлаждения – хранение большого количества снега или льда в теплоаккумулирующей системе в зимний период и их использование для охлаждения летом.

Gothenburg Energy (система РТХС в Швеции) в основном преобразует процесс естественного охлаждения, т. е. холодную воду из реки Гёты, в районное охлаждение. Либо такая система дополняет охлаждение путём использования сбросного тепла, образующегося в ходе промышленных процессов или при сжигании мусора, с помощью так называемой абсорбционной технологии. Gothenburg Energy поставляет охлаждённую воду компаниям и организациям и уже подготовила планы по расширению сети районного охлаждения к 2050 году.

Крупнейшая в Европе система районного холодоснабжения, парижская CLIMESPACE, поставляет охлаждённую воду крупнейшим потребителям, например, в здания крупных компаний и правительства, универсальные магазины, гостиницы и культурные объекты. Из производственных установок три установки с самой высокой производительностью используют естественное охлаждение водой из реки Сены (рисунок 14).

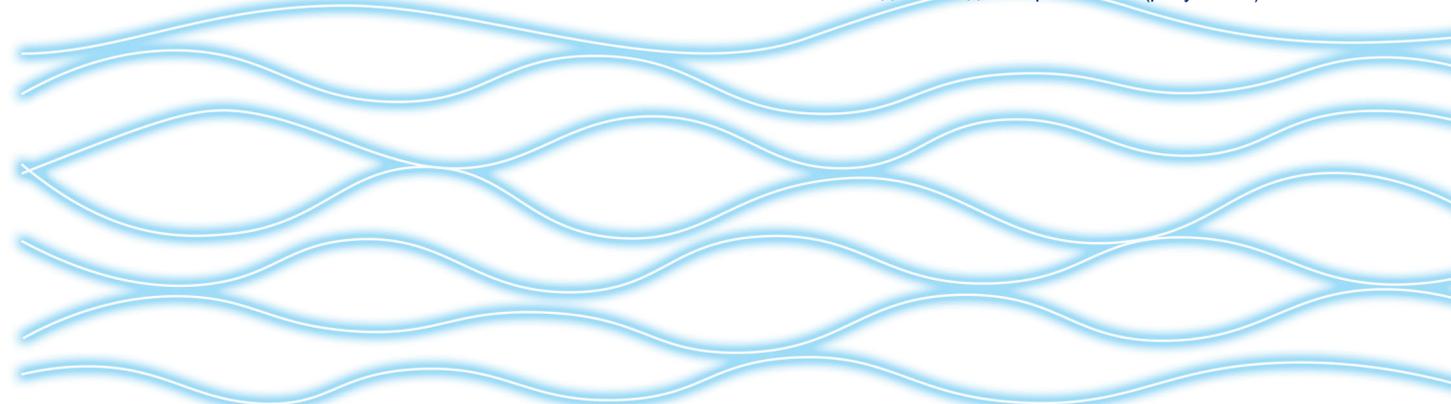


Рисунок 14. Сети районного холодоснабжения в Париже (Франция)



На основе публикации: Engie (2020)

A.2.3 Ключевые опорные технологии

В будущей возобновляемой энергетической системе технология преобразования электроэнергии в тепло может повлиять на значительную часть сектора теплоснабжения. Во-первых, электрификация – прямой способ использования возобновляемой энергии и замены твёрдых видов топлива в секторе теплоснабжения. Во-вторых, гибкое применение такой технологии делает возможным более широкое использование электроэнергии из возобновляемых источников (например, в периоды сильного ветра) только вне сектора теплоснабжения, таким образом повышая коэффициент использования технологий возобновляемой электроэнергии и задействуя больше возобновляемых источников энергии в секторе теплоснабжения. Такая гибкая взаимосвязь является основным механизмом, с помощью которого районная энергетика может поддержать декарбонизацию и удаление загрязнений (уменьшение количества твёрдых частиц) в энергетической системе. Для обеспечения взаимосвязи между электроэнергией и секторами тепло- и холодоснабжения необходимы три элемента: тепловые насосы, тепловое аккумулирование и сбросное тепло из производства электроэнергии. Кроме того, для использования возобновляемых источников энергии в целях тепло- и холодоснабжения необходимы районные энергетические сети, а также здания, которым требуется такое тепло- и холодоснабжение.

Тепловые насосы

В качестве первичного источника энергии в тепловых насосах используется электроэнергия (компрессионные тепловые насосы) или тепловая энергия (абсорбционные тепловые насосы). Тепловые насосы могут повышать температуру низкотемпературных источников тепла или вырабатывать холод. На рисунках 15 и 16 объясняется принцип работы таких устройств.

В компрессионных тепловых насосах используется электроэнергия для повышения температуры низкотемпературного источника тепла с помощью механического компрессора, работающего на хладагенте (см. рисунок 15 и фотографию 3). Такие хладагенты могут быть природными, например, CO₂ или аммиак, либо синтетическими, например, гидрофторуглероды (Датское энергетическое агентство, 2016b). Наблюдается тенденция перехода к природным хладагентам, так как они не разрушают озоновый слой и не имеют значительного потенциала глобального потепления (Датское энергетическое агентство, 2016b). В действительности некоторые страны, например Дания, запрещают эксплуатацию тепловых насосов, содержащих более 10 килограммов синтетического хладагента (Датское энергетическое агентство, 2016b).

Электрические тепловые насосы в районной энергетической системе обеспечивают важнейшую технологию преобразования между секторами электро- и теплоснабжения. В сочетании с подходящими тепловыми накопителями тепловые насосы обеспечивают гибкость, необходимую для интеграции переменных электрических ресурсов на основе возобновляемых источников энергии (Henrik Lund *et al.*, 2016), индивидуальные тепловые насосы не могут этого обеспечить. Кроме того, используя тепловые насосы, подключённые к сети электропередачи (высокого напряжения), можно преодолеть ограничения пропускной способности распределительной сети (низкого напряжения) и таким образом избежать необходимости инвестиций в усиление сети или альтернативные более затратные системы аккумулирования энергии, например, электрохимические аккумуляторы (Andrews *et al.*, 2012). Установка крупных тепловых насосов, подключённых к системам РТХС, также может предотвратить большие потери в распределительной сети, которые возникают, если тепловые насосы используются по отдельности в виде автономных установок в крупных масштабах в городских районах (Andrews *et al.*, 2012).

КПД электрических тепловых насосов в основном определяется температурой источника и требуемой температурой сети, хотя среди производителей или рабочих жидкостей наблюдается некоторый разброс значений. КПД определяется отношением, называемым коэффициентом производительности (КП). КП представляет собой отношение между теплопроизводительностью и потребляемой электроэнергией для теплового насоса. Более высокий КП означает более низкое потребление электроэнергии для того же уровня теплопроизводительности. Источник тепла более высокой температуры означает более высокий КП с меньшим количеством электроэнергии, требуемой для повышения температуры источника тепла до желаемого уровня с помощью районной сети теплоснабжения. Это основной фактор, стимулирующий использование сбросного тепла или любого другого низкотемпературного теплового источника вместо воздуха или воды, которые часто более доступны. Например, промышленная установка, вырабатывающая сбросное тепло низкой температуры, низкотемпературный геотермальный источник или система аккумулирования тепла,

подсоединённая к солнечной тепловой установке, будет поставлять тепло с меньшими издержками по сравнению с теплотой окружающей среды, так как затраты электроэнергии, потребляемой тепловым насосом, будут значительно ниже.

Кроме того, независимо от источника тепла тепловые насосы работают с более высоким КПД (более высоким КП), когда они используются для подачи тепла при более низкой температуре вместо высокой температуры. Это ключевой стимул для перехода от первого к третьему поколению РТХС, а затем и к четвёртому поколению таких систем. Помимо эффективности более низкие рабочие температуры дают возможность использования более широкого диапазона технологий для тепловых насосов, так как многие хладагенты имеют верхнюю границу рабочей температуры.

С другой стороны, абсорбционные тепловые насосы, приводятся в действие тепловой энергией. Они потребляют минимум электроэнергии, а в некоторых случаях энергопотребление вообще равно нулю (Klein and Nellis, 2012). В этих устройствах эффективно используется такое явление, при котором тепло высвобождается в момент поглощения одного вещества другим (например, вода и аммиак или вода и бромид лития) (Frederiksen and Werner, 2013). Сравнив КП тепловых насосов, представленных на рисунках 15 и 16, можно увидеть, что эффективность абсорбционных насосов ниже эффективности компрессионных тепловых насосов. Как правило, КП абсорбционных тепловых насосов составляет около 1,7 (Датское энергетическое агентство, 2016а).

Разновидностью абсорбционных тепловых насосов являются абсорбционные чиллеры, которые могут вырабатывать холод, используя тепло при высоких температурах. В этом смысле имеется нижняя граница температуры источника тепла – около 80 °C (Klein and Nellis, 2012). Для самых распространённых типов насосов показатель КП, или соотношение между выработкой холода и расходом тепла, ограничен диапазоном 0,5-0,7⁵ (Herold, Rademacher and Klein, 2016).

⁵ КП электрических чиллеров или абсорбционных чиллеров на одну единицу ниже такого показателя у тепловых насосов, работающих при таких же температурах.

Рисунок 15. Принцип работы компрессионного теплового насоса

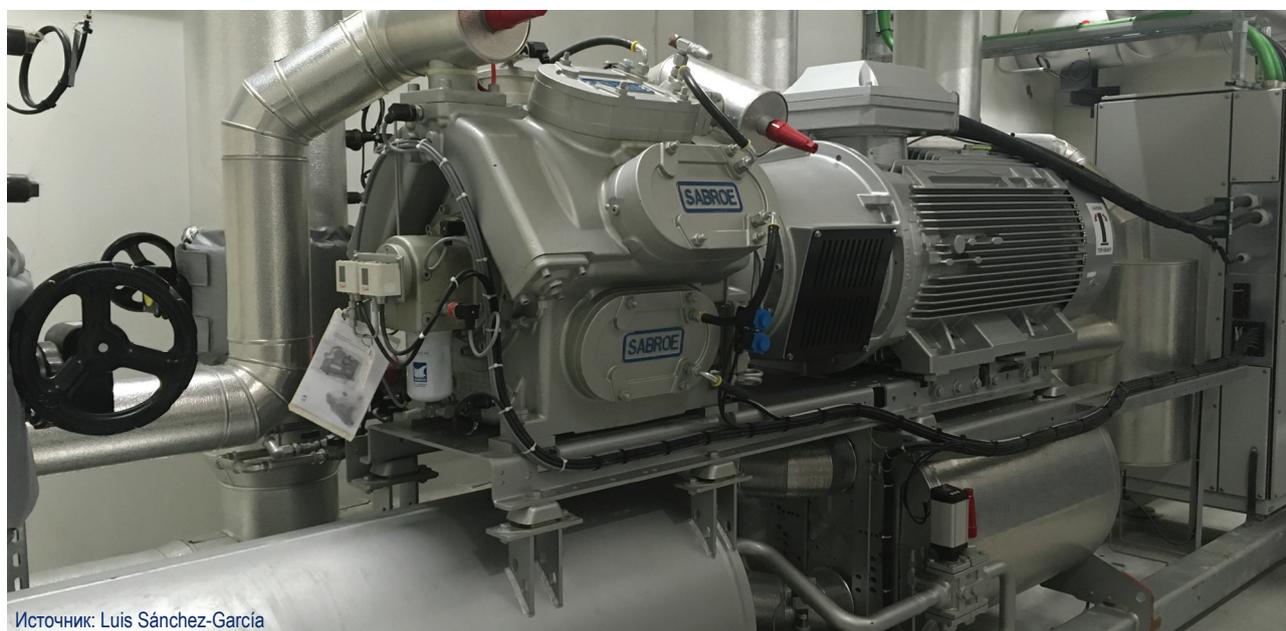


кВт: киловатт

Рисунок 16. Принцип работы абсорбционного теплового насоса



Фотография 3. Компрессионный тепловой насос, подающий теплоноситель в систему районного теплоснабжения в Дании



Источник: Luis Sánchez-García

Абсорбционные устройства дают возможность эффективно использовать недорогой источник тепловой энергии, чтобы повысить температуру низкотемпературного источника тепла и, соответственно, увеличить общую теплопроизводительность или осуществлять охлаждение. К потенциальным источникам тепла для абсорбционных устройств относятся биоэнергия (биогаз или котлы на биомассе), солнечная тепловая энергия (в массивах концентраторов и плоских коллекторах), прямое геотермальное тепло, сбросное тепло, образующееся в промышленных процессах или при производстве электроэнергии в ходе протекания тепловых циклов или сжигания отходов. Хотя тепловой источник может не быть возобновляемым, так как тепло генерируется как побочный продукт процесса и в противном случае оно бы было «утрачено» в результате рассеяния в окружающую среду, можно считать, что его воздействие на окружающую среду минимально, а его использование исключает необходимость привлечения других энергетических ресурсов (Sanner *et al.*, 2011).

Тепловое аккумулирование

Для ускорения декарбонизации тепло- и холодоснабжения важную роль должно сыграть аккумулирование тепловой энергии (TES), особенно в городах, где плотность населения достаточно высока, чтобы можно было внедрить районные системы. TES позволяет отделить генерацию тепла/холода от потребления, обеспечивая более гибкую работу энергетических систем. Данные технологии пригодны для различных временных периодов – от короткого (в течение часа) до сезонного хранения, с их помощью можно более эффективно согласовать предложение со спросом, снизить сокращение поставок и устранить необходимость дорогостоящего усиления электросети.

В докладе IRENA «Обзор инноваций: аккумулирование тепловой энергии» рассматриваются различные технологии аккумулирования тепловой энергии и сценарии использования для систем тепло- и холодоснабжения, а также даётся прогноз потребностей в развитии и инновациях на ближайшие десятилетия (IRENA (2020)).

Тепловое аккумулирование включает в себя систему, способную аккумулировать тепловую энергию и сохранять её для последующего использования. В системе TES в качестве жидкости для хранения, как правило, используется вода вследствие её высокой теплоёмкости и низкой цены, хотя для этого также подходит и почва. Кроме того, существуют и другие материалы, например, материалы, меняющие своё фазовое состояние, но они не нашли широкого применения в сетях РТХС. В случае холодного хранения используются охлаждённая вода, лёд или солевой раствор (Frederiksen and Werner, 2013).

TES можно использовать не только для хранения тепла, вырабатываемого из возобновляемых источников, например, из солнечной или геотермальной энергии, но и для улавливания избыточного производства электроэнергии на основе ветра или фотоэлектрических технологий после преобразования аккумулированной энергии в тепло с помощью теплового насоса или электрического котла. Преимущество последнего варианта заключается в соединении секторов электро- и теплоснабжения, которые таким образом совместно обеспечивают реализацию концепции интеллектуальных энергетических систем (Mathiesen *et al.*, 2015) (см. раздел 1.2 части А) и, соответственно, декарбонизацию всей энергетической системы при меньших

затратах. Кроме того, системы аккумулирования тепловой энергии значительно дешевле, чем накопители электроэнергии, например, батареи или насосная гидроэнергетика (Lund *et al.*, 2016; Paardekooper, Lund and Lund, 2018).

Размеры тепловых хранилищ сильно варьируется, от нескольких сотен до сотен тысяч кубических метров. Наиболее распространённые тепловые аккумуляторы минимального объёма состоят из водяных баков, например, как показано на фотографии 4. Они традиционно использовались для переноса нагрузки в ТЭЦ или ежедневного согласования нагрузки в солнечных тепловых установках.

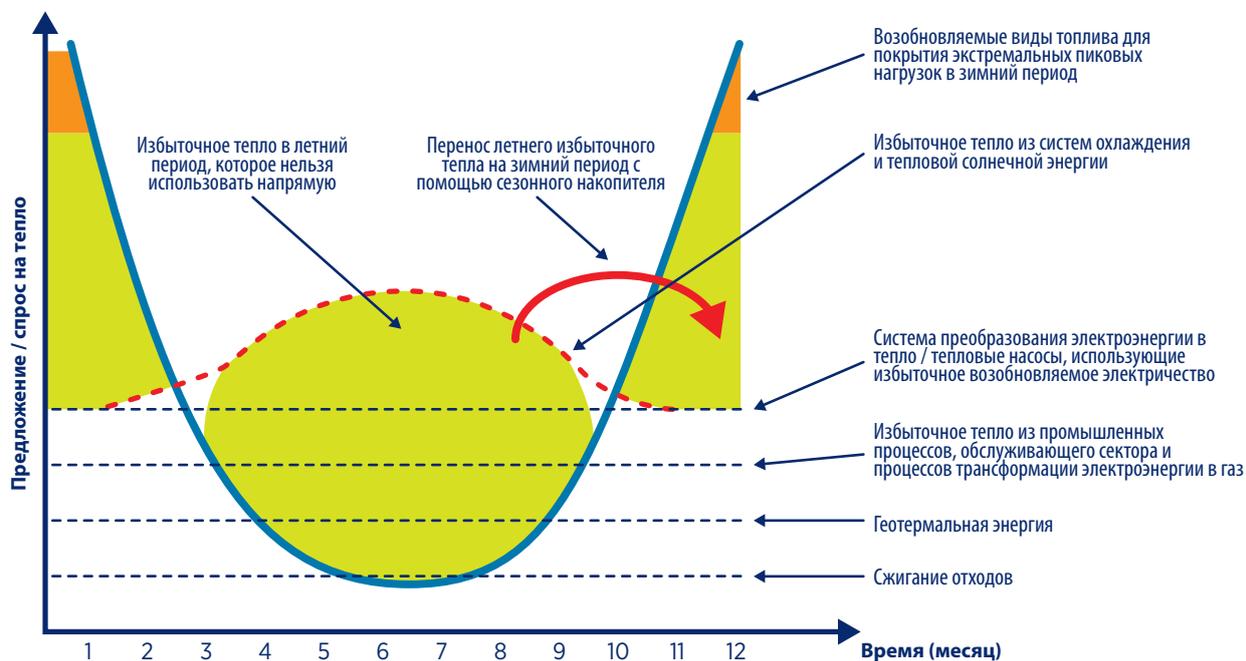
Более крупные хранилища позволяют устранить основное препятствие для интеграции значительных объёмов различных возобновляемых источников тепла (кроме биомассы) в сети районного теплоснабжения. Таким препятствием является сезонное расхождение между профилями спроса и предложения, а также их конкуренция друг с другом в летний период. Полученное в летний период избыточное тепло можно сохранить для межсезонья или зимнего периода, заменив блоки, работающие на ископаемом топливе (Köfinger *et al.*, 2018) (рисунок 17).

Фотография 4. Аккумулирование тепловой энергии (44 000 м³) в Avedøre Kraftværket в Копенгагене (Дания)



Источник: Luis Sánchez-García

Рисунок 17. Конкуренция в сфере предложения между различными возобновляемыми и низкоуглеродными источниками тепла и потенциал сезонного аккумулирования для преодоления конкуренции

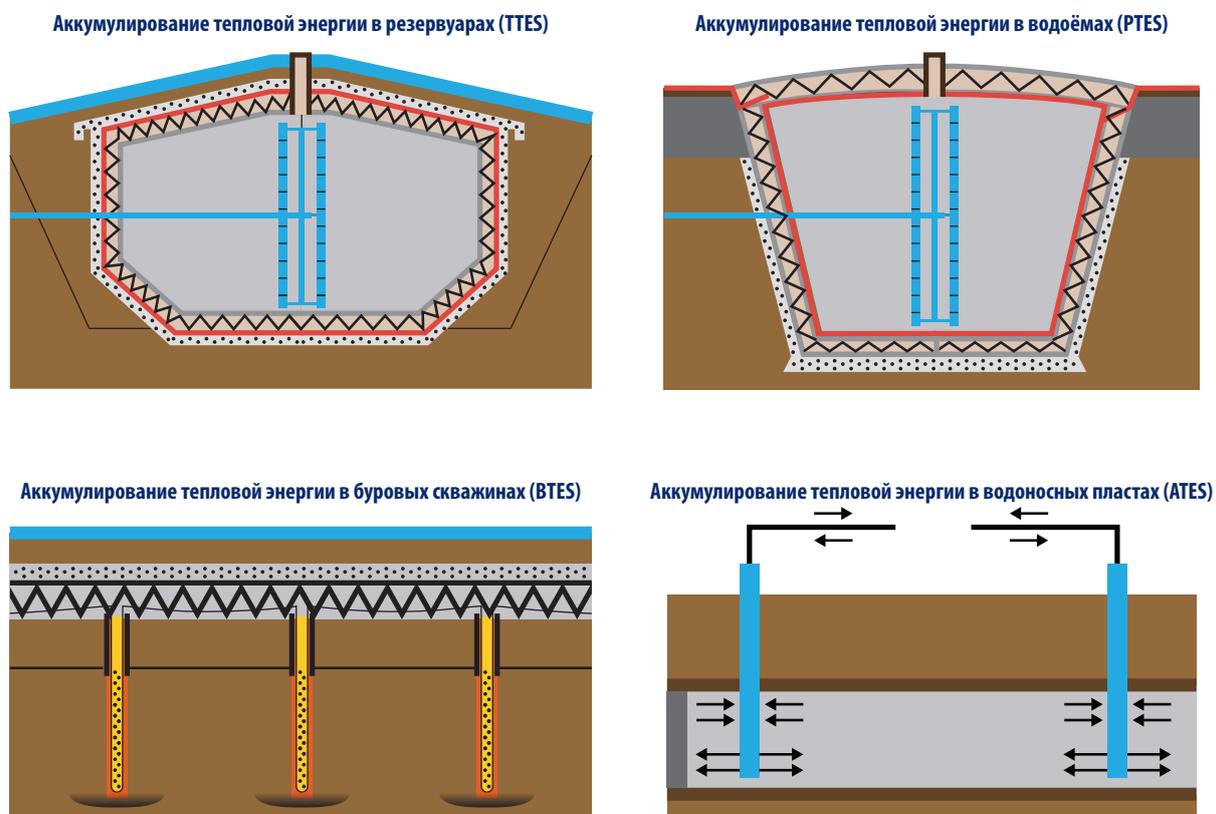


Источник: AIT (2020) (Schmidt, Geyer and Lucas, 2020)

Типологии крупных или сезонных хранилищ более разнообразны и включают в себя накопители тепловой энергии в водоносном пласте, буровой скважине или водоёме (Xu, Wang and Li, 2014), некоторые из которых показаны на рисунке 18.

1. Аккумуляция тепловой энергии в водоносных пластах (ATES): тепло сохраняется в подземном водоёме при низкой температуре (< 30 °C), средней температуре (30-60 °C) и высокой температуре (> 60 °C).
2. Аккумуляция тепловой энергии в буровых скважинах (BTES): тепло (с температурой до 90 °C) хранится в верхнем слое грунта толщиной 20-200 метров. Например, проект солнечного сообщества Drake Landing в Канаде состоит из 144 скважин, пробуренных на глубину 35 метров. Солнечную энергию, полученную из солнечных коллекторов площадью 2300 м², расположенных на крышах, хранят в буровых скважинах и используют в зимний период для удовлетворения 90% потребностей в теплоснабжении 52 зданий с высокой энергоэффективностью. Ещё одним примером служит сезонное хранилище, расположенное в датском городе Бредструпе, где 48 буровых скважин используются для хранения тепла, получаемого из расположенного поблизости поля солнечных панелей площадью 18 600 м² (PlanEnergi, 2017).
3. Аккумуляция тепловой энергии в водоёмах (PTES): в больших выкопанных бассейнах с изолированными крышками хранится горячая вода температурой до 90 °C. В Дании построено несколько накопителей-водоёмов, в том числе, в г. Марстале (75 000 м³), г. Дроннинглунде (60 000 м³) и г. Войенсе (200 000 м³) (PlanEnergi, 2017).
4. Аккумуляция тепловой энергии в шахтах (MTES): вода в оставленных или затопленных угольных шахтах используется в качестве источника низкотемпературного тепла для отопления помещений. Заброшенные шахты в Спрингфилде, Канада, и проект Mijlwater в Херлене, Нидерланды, используются в качестве тепловых хранилищ в летний период для хранения сбросного тепла из зданий и промышленных предприятий. Разновидностью шахтного хранилища тепла является хранилище тепла в каверне, которую вырывают исключительно с целью хранения тепловой энергии. Примером такого хранилища является проект Лускебо в Швеции, где энергия хранится в каверне объёмом 100 000 м³ в коренной породе (Duffie and Beckman, 2013).

Рисунок 18. Концепции сезонного аккумулирования тепла



Источник: Schmidt and Miedaner (2012)

Аккумуляция тепловой энергии не только значительно дешевле накопителя электроэнергии, как уже было упомянуто ранее, оно также обеспечивает значимую экономию масштаба. Поэтому прямые издержки на крупные системы аккумулирования тепла в водоёмах почти в 20 раз ниже, чем затраты на резервуары для воды объёмом около 1 000 м³. Такое сокращение затрат показано на рисунке 19.

Крупные теплоаккумуляционные системы до сих пор не были реализованы в крупных системах. Вышеописанные системы, приведённые в качестве примеров, обычно обслуживают маленькие города с населением несколько тысяч жителей. Тем не менее, в настоящее время рассматриваются и разрабатываются проекты для их реализации в более крупных городах. Одним выдающимся примером является австрийский город Грац, где действующая сеть районного теплоснабжения

получает тепло из ТЭЦ, работающей на ископаемом топливе. В Граце один из рассматриваемых вариантов заключается в поставке солнечной тепловой энергии в сочетании с системой сезонного хранения объёмом около 1 800 000 м³, чтобы удовлетворить примерно 20% спроса на тепло, используя 450 000 м² солнечных коллекторов (Reiter, Poier and Holter, 2016). В городских сетях районного теплоснабжения высокие инвестиционные затраты являются одним из основных препятствий для развития систем сезонного аккумулирования тепла наряду с сопутствующим инвестиционным риском, связанным с длительными периодами окупаемости. В такой ситуации внедрение диспетчеризации производства для множества источников энергоснабжения обеспечивает более эффективное использование систем хранения и минимизацию инвестиционных и операционных затрат (Köfner *et al.*, 2018).

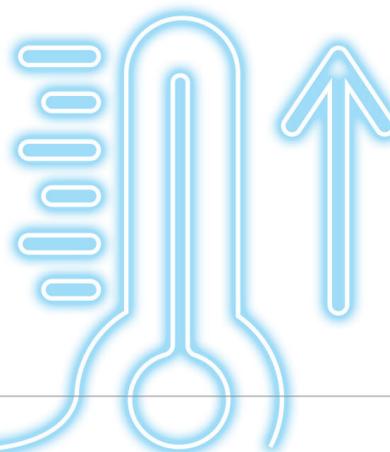
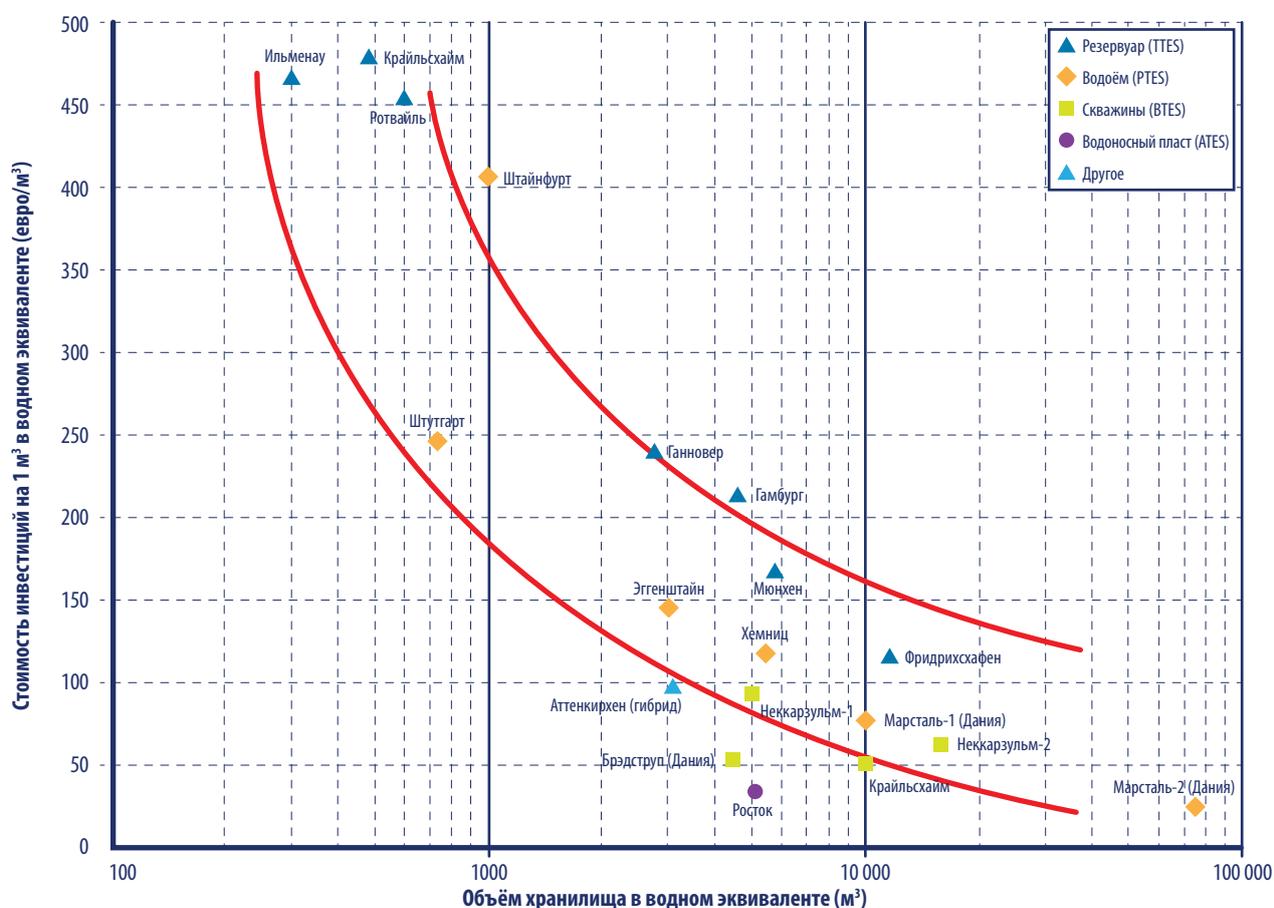
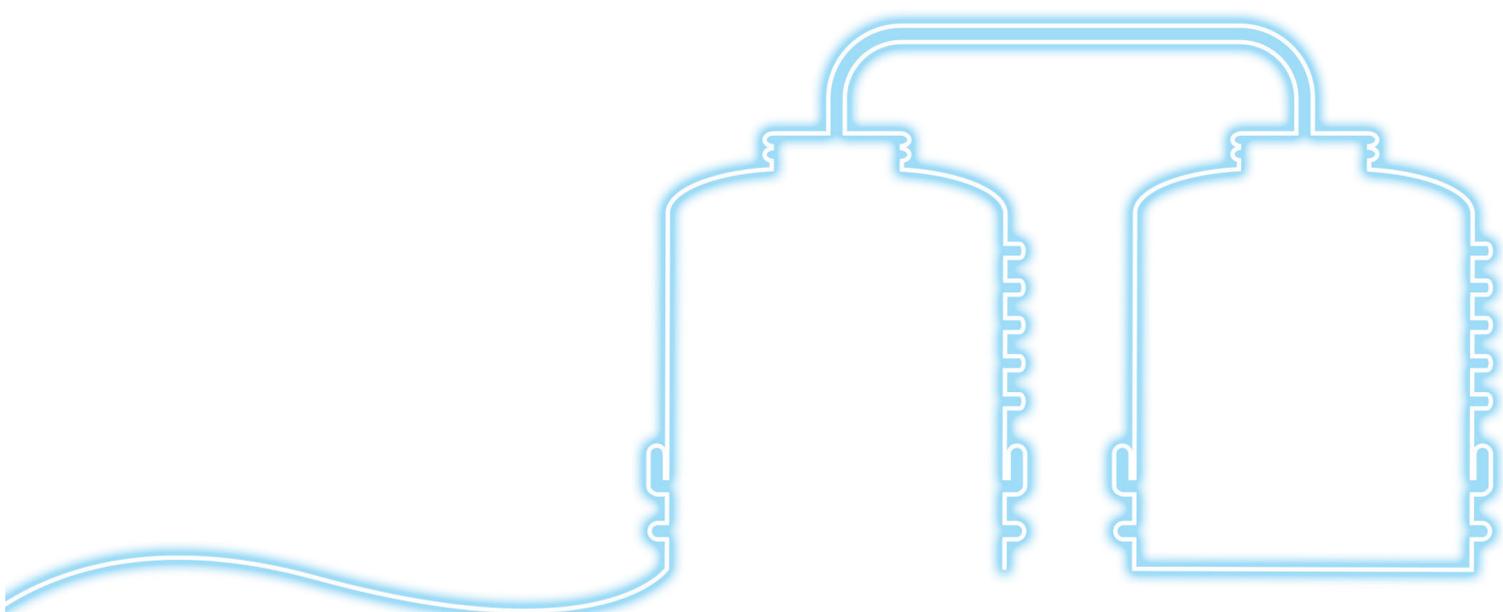


Рисунок 19. Затраты на сезонное аккумулирование тепла



Источник: Schmidt and Miedaner (2012)



В таблице 1 в сводной форме представлены преимущества и роли основных низкоуглеродных источников энергии и опорных технологий в интеллектуальной энергетической системе.

Таблица 1. Основные преимущества и роль возобновляемой энергии, источников сбросного тепла и опорных технологий в энергетической системе

	ПРЕИМУЩЕСТВА	ПОТЕНЦИАЛ	РОЛЬ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	
ИСТОЧНИКИ	Геотермальная энергия	<p>Постоянная доступность и независимость от погодных условий</p> <p>Очень низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание</p>	<p>Большой потенциал, особенно для неглубоко залегающих и низкотемпературных геотермальных ресурсов</p> <p>(ресурс доступен при разных температурах и глубинах залегания)</p>	<p>Может задействоваться для централизованного использования в крупномасштабных системах тепло- и холодоснабжения</p>
	Солнечная тепловая энергия	<p>Устойчивый ресурс</p> <p>Очень низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание</p> <p>Очень долгий срок эксплуатации</p>	<p>Имеется практически везде</p>	<p>Может удовлетворять нагрузку в летний период в системах районного теплоснабжения</p> <p>Может обеспечивать охлаждение в летний период</p> <p>Может использоваться в комбинации с сезонным накопителем</p>
	Биоэнергетика	<p>Обильный и устойчивый источник в некоторых регионах</p>	<p>Имеется практически везде</p>	<p>Может использоваться в комбинации с солнечной тепловой энергией для районного теплоснабжения</p> <p>Может конкурировать с вариантами применения в других секторах (транспорт и другие цели)</p>
	Естественное охлаждение	<p>Имеется в изобилии</p> <p>Очень низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание</p>	<p>Большой потенциал</p>	<p>Может сократить потребление электроэнергии и позволить охлажденной воде идти в обход чиллеров</p>
	Сбросное тепло	<p>Использование ресурса, который в противном случае был бы утерян</p> <p>Выгодная цена</p>	<p>Промышленные и коммерческие области</p>	<p>Может сократить потребление энергии для альтернативных источников тепло- или холодоснабжения</p>
ОПОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	Тепловые насосы	<p>Способность использовать возобновляемую энергию из воздуха, воды или почвы, а также сбросное тепло из зданий и технологических процессов для обеспечения тепло- и холодоснабжения</p>	<p>Общедоступность</p>	<p>Могут служить в качестве технологии преобразования между секторами электро- и теплоснабжения</p> <p>Могут повышать температуру низкотемпературных источников или производить холод</p>
	Тепловое аккумулирование	<p>Инвестиционные затраты на одну единицу объема хранилища в 100 раз меньше по сравнению с затратами на аккумулирование электроэнергии</p> <p>Экономия масштаба</p>	<p>В любом месте, где имеется доступное пространство и благоприятные геологические условия</p>	<p>Интеграция производства из переменных возобновляемых источников энергии</p>

ЧАСТЬ В:

РУКОВОДЯЩИЕ
ПРИНЦИПЫ
ДЛЯ ЛИЦ,
ОТВЕТСТВЕННЫХ
ЗА ФОРМИРОВАНИЕ
ПОЛИТИКИ

В.1 Разработка стратегических планов тепло- и холодоснабжения

В.1.1 Необходимость взаимоусиливающих мер, предпринимаемых на общегосударственном, региональном и местном уровнях

Чтобы скоординированно, со знанием дела и нацеленностью на долгосрочную перспективу решать связанные с энергетикой задачи, необходимо применять стратегическое энергетическое планирование (СЭП). Главная цель СЭП – решать вопросы, связанные с текущим энергоснабжением и разрабатывать долгосрочные стратегии и планы для перехода на другие источники энергии. Оценка должна включать в себя рассмотрение технических, экономических, экологических и социальных аспектов (Krog and Sperling, 2019).

СЭП может осуществляться на различных правительственных уровнях и в разных географических зонах или на основе различных технологических подходов. Тем не менее, при СЭП необходимо рассматривать эти разнообразные области в разрезе, чтобы избежать недостаточной оптимизации определённых сфер.

Стратегическое планирование тепло- и холодоснабжения (СПТХС) отличается от планирования для других энергоносителей ввиду локального характера ресурсов для тепло- и холодоснабжения. Поэтому в настоящем руководстве будет подробно изучен данный вопрос и рассмотрено привлечение местных заинтересованных сторон к участию в СПТХС.

Надгосударственных, государственных или региональных целей в области энергетики и климата можно достичь только при условии их адаптации и принятия на местном уровне. С другой стороны, местные амбициозные планы должны учитывать общегосударственный подход, их эффективная реализация требует благоприятной законодательной базы.

Кроме того, СПТХС должно проводиться с позиций системы, что имеет ещё большее значение в системе, работающей на возобновляемой энергии. Техническая синергия, обусловленная системным подходом, применяемым в секторе электрического, тепло- и холодоснабжения, в идеале должна быть отражена и в политике и нормативных положениях, как подчёркивается в проекте Hotmaps (Hotmaps Project, 2020), в котором рассмотрены способы реализации мер в рамках СПТХС в государствах-членах ЕС.

В этой связи, прежде чем начать процесс СПТХС, необходимо собрать информацию о государственной политике и нормативно-правовой базе, чтобы убедиться, что СПТХС предусмотрено и согласовано на всех уровнях управления, а также во всех связанных с энергетикой областях политики (Djørup *et al.*, 2019a). В таблице 2 предлагается модель матрицы, которая может служить основой для такого сбора информации.

С другой стороны, у местных органов власти в юрисдикциях с существующими системами РТХС есть огромный простор для действий. СПТХС позволяет оценить реализацию проекта в рамках долгосрочного целостного подхода к энергетике.

В развитии РТХС местные органы власти играют многоплановую роль, которая затрагивает все уровни гражданского общества: энергетическое и городское планирование, создание механизмов финансовой и технической поддержки путём предоставления инфраструктуры и услуг, предоставление юридических разрешений на размещение районных энергетических систем и даже подключение общественных зданий к сетям РТХС. Все органы государственной власти должны сыграть свою роль. Например, в качестве регуляторного органа администрация города может издавать правила местного зонирования, которые предписывают подключение РТХС (IRENA, 2016). В некоторых странах местные органы власти не считают себя способными осуществлять планирование в сфере энергетики или создавать механизмы поддержки и т.п.; таким образом, они не считают, что прямое влияние на реализацию РТХС входит в их компетенцию. Однако, даже в случае централизации регулирующих полномочий, местные органы власти могут играть ключевую роль в качестве организаторов, координаторов и сторон, владеющих необходимыми знаниями для развития РТХС в регионе.

«Местные планы по энергетике и климату должны соответствовать общегосударственным целям и учитывать интеграцию всех энергетических систем в городе.»

Таблица 2. Модель матрицы государственной нормативно-правовой базы для планирования теплоснабжения

	ПРОЕКТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА	РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
МЕСТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
РЕГИОНАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
НАДГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



V.1.2 Создание системы устойчивого энергоснабжения со стратегическим планированием тепло- и холодоснабжения

СПТХС представляет собой не только деятельность в сфере проектирования, экономики или политики, но и междисциплинарные взаимодействия. Прежде всего необходимо определить (на уровне политики), каких стратегических целей должна достичь система тепло- и холодоснабжения и какая проблема должна быть решена. Во многих случаях катализатором для начала СПТХС будет потребность в целях в области декарбонизации энергетической системы или сокращения твёрдых загрязнителей. Однако в основе этого также часто будет лежать желание иметь доступное по цене тепло- и холодоснабжение и продолжать усилия по предотвращению энергетической бедности с помощью устойчивости цен, обеспечить координацию и содействие с другими секторами энергетической системы, а также поддерживать местную экономику путём развития местных рынков. Постановка таких стратегических целей в сфере энергетики до начала процесса СПТХС на политическом и социальном уровнях позволяет разработать план, рассчитанный на долгосрочные потребности и желания, и более эффективно согласовать каждый проект в сфере (возобновляемого) тепла с процессом.

Затем для составления плана необходимо рассмотреть, помимо прочего, имеющиеся ресурсы, спрос на энергию, технические возможности, действующее законодательство, организацию энергетического сектора, а также соответствующих участников и политические движущие факторы. Все эти элементы влияют на возможные решения и позволяют определить препятствия. Проблемы, относящиеся к поставкам низкоуглеродной энергии, также могут иметь технический, экономический, политический или социальный характер и зачастую будут относиться к тому или иному из вышеуказанных факторов. Важно, чтобы сторона, осуществляющая СПТХС, оставалась открытой и учитывала важность всех этих разнообразных условий (Mirakyan and De Guio, 2013).

СПТХС представляет собой лучший передовой опыт для развития экономически эффективной районной энергетики. В ходе такого планирования определяются возможности и синергические взаимосвязи, а также применяются специально разработанные элементы политики или финансовые стимулы в различных районах городской среды (ЮНЕП, 2015). В настоящем руководстве рассматриваются данные аспекты и предлагается модель выполнения процесса СПТХС. В этом контексте важно, чтобы читатели учитывали местные условия, которые могут потребовать изменения необходимых этапов, ключевых задач или методов.

Поскольку СПТХС включает в себя различные предметные области, довольно сложно выбрать именно те знания и умения, которые подходят для выполнения таких оценок. Планирование предполагает знание сектора зданий, доступных ресурсов, энергетической отрасли, законодательства и бизнеса. Обычно оно охватывает несколько областей знаний в местной администрации и ряде учреждений, у которых возможно нет привычки совместной работы на межсекторальной основе. Это организационная задача, которую необходимо рассмотреть в самом начале. Кроме того, в зависимости от уровня требуемого изменения, время, необходимое для реализации таких проектов, может быть длительным и зависеть не только от комплексного строительства, но и от изменений в политике или общественного признания.

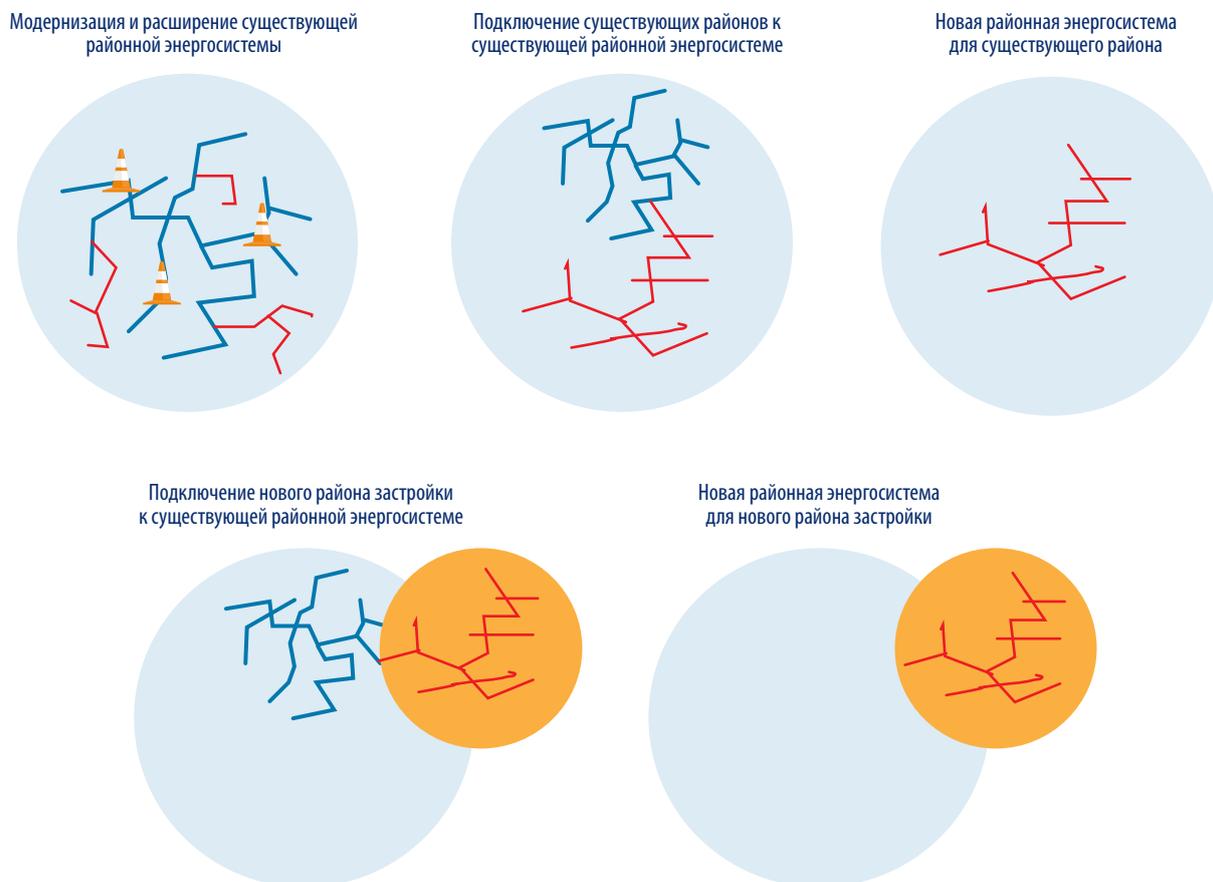
В процессе оценки роли районных энергетических систем в СПТХС на местном уровне основные вопросы, на которые необходимо ответить, относятся к практически осуществимому размеру системы и её организации и регулированию. В данном докладе рассмотрены три основных этапа в процессе СПТХС:

- определение предмета стратегических задач плана, выработка назначения плана, а также определение и картирование заинтересованных сторон;
- технический анализ, который можно применять при поиске системы, подходящей для стратегических целей;
- оценка ключевых институциональных, финансовых и организационных элементов и разработка политики для содействия переходу на новые источники энергоснабжения.

Как процесс в целом, так и каждый из его этапов должны осуществляться итерационным методом, при котором каждый этап влияет на другие этапы. Каждая итерация будет определять детали плана выполнения. В частности, составление технических сценариев для стратегического теплоснабжения требует ряда итераций. Это необходимо для определения долгосрочного баланса между инвестициями в теплоснабжение и теплосбережение, а также для согласования целей с государственными и международными целями. Первые этапы процесса СПТХС помогут определить потенциал и роль районного энергетического проекта (проектов), приоритетные проекты, а также возможности перехода на альтернативные виды топлива в существующих системах.

Оба этих этапа можно применить к государственному уровню или к планированию новых зон для расширения существующих систем или их ремонта и изменения конфигурации. На местном уровне можно предусмотреть различные варианты, так как районную энергию можно поставлять как в новые, так и в ранее построенные здания, поэтому её внедрение можно рассматривать и в новых, и в существующих районах. Несколько примеров применения показано на рисунке 20.

Рисунок 20. Области применения районных энергетических сетей в различных городских условиях



На основе публикации: IRENA (2017b) и Olsen (2014)

«Стратегическое планирование тепло- и холодоснабжения – модель передового опыта для разработки экономически эффективных районных энергетических систем. В процессе планирования определяются возможности и синергические взаимосвязи и применяются специально разработанные элементы политики или финансовые стимулы в городской среде.»

Если рассматривать различные возможные области применения, у процесса СПТХС будут разные ключевые задачи в зависимости от местных условий. В случае существующих систем РТХС в СПТХС должна входить диагностика имеющейся системы и оценка качества предоставляемых услуг. «Качество» – субъективное понятие, но оно должно включать учёт сокращения парниковых газов, реализуемого с помощью системы, удовлетворение клиентов обслуживанием и возмещение затрат на альтернативные виды топлива (в противовес углеводородам или углю).

В городских районах, не имеющих сложившейся системы РТХС, принципы организации, владения и регулирования сети тепло- и холодоснабжения обычно отсутствуют или опираются на другие типы инфраструктуры, которые прямо не содействуют развитию РТХС. Особенно в этих случаях необходимо рассмотреть и разработать такие принципы после исследования технических возможностей различных технологий тепло- и холодоснабжения на ранней стадии планирования путём общегородской оценки и выработки стратегии районного энергоснабжения (см. раздел 6 части В). Таким образом, принципы управления адаптируются к общегородским стратегическим целям и итоговым возможностям РТХС, и в таком ключе можно реализовывать конкретные проекты, а не адаптировать административные барьеры к задачам проекта.

В.1.3 Определение области применения и назначения стратегического планирования тепло- и холодоснабжения

В первой части процесса СПТХС будут определены цели для изменения представления о тепло- и (или) холодоснабжении и заданы стратегические цели. Этот первый шаг имеет большое значение, поскольку он влияет на остальную часть процесса СПТХС. Определённая на данном этапе цель будет влиять на группы, рассматриваемые в качестве соответствующих заинтересованных сторон, на технологии, которые можно использовать, и на рекомендуемые модели управления. Поэтому в СПТХС так важен цикл обратной связи: позднее в процессе могут быть получены новые знания и данные.

В число возможных причин для разработки нового плана тепло- и холодоснабжения могут входить необходимость снижения углеродных выбросов, обеспечения надёжности энергопоставок, повышения энергоэффективности, сокращения загрязнённости воздуха на местах, выгодного использования доступных ресурсов и просто выполнения задач регулирования, например, проведения обязательной оценки возможностей РТХС и др. Многие из этих причин могут быть согласованы друг с другом и одновременно относиться к разным повесткам дня разных участников. В то время как национальное правительство может ставить цели по декарбонизации теплоснабжения в целях уменьшения изменения климата, местные органы власти могут стимулировать изменения для уменьшения локального загрязнения или продвижения других «зелёных» инициатив, которые могут быть приняты на местном уровне. Всё чаще города берут на себя обязательства, связанные с декарбонизацией их системы энергопотребления и (или)

энергоснабжения, и обращаются за инструментами управления и регулирования для реализации своих решений. После определения цели следует выяснить, какие проблемы должен решить план тепло- и холодоснабжения, а не стремиться продвигать какую-либо конкретную технологию. Таким образом, цель может быть связана с изменениями, которые трудно реализовать или которые требуют масштабных организационных и нормативных изменений.

Местные органы власти, в том числе муниципалитеты городов, могут участвовать в продвижении преобразования энергетической системы и планировании энергетических решений на местном уровне для содействия достижению конкретных целей (IRENA, 2016). Ввиду различных противоречащих друг другу целей в энергетической стратегии должна быть поставлена официальная цель для возобновляемой энергии, которая прямо направлена на решение задач сектора тепло- и холодоснабжения. Официальная цель принципиально важна для успешного преобразования энергетической системы. Цель должна определять основную сильную сторону разных технологий (в том числе районной энергетики) в достижении более широких социальных, экономических и экологических целей.

Важно учитывать роль районной энергетики в переходе к интегрированной энергетической системе, использующей низкоуглеродные источники энергии. В данном контексте тепло- и холодоснабжение может быть центральной темой анализа, но также необходимо учитывать взаимодействие системы РТХС с другими энергетическими секторами, например, электроэнергетики, газа и транспорта (соединение секторов) (см. раздел 1.2 части А).

Конкретные планы тепло- и холодоснабжения зачастую приобретают форму локальных проектов на уровне города, однако соответствующее СПТХС необходимо внедрить и согласовать с точки зрения долгосрочного потенциала общегородской энергетической системы, а не только текущего проекта РТХС. Например, следует избегать таких проектов РТХС, которые через 5 лет не позволят легко осуществить расширение или взаимодействие с остальными частями системы. Кроме того, ввиду потенциальных синергических взаимосвязей между секторами необходимо обеспечить согласованность со всеми уровнями управления, по всем областям связанной с энергетикой политики. В процессах местного планирования существует риск недостаточной оптимизации из-за отсутствия координации усилий в более широком масштабе, например, среди проектов, регионов или на государственном или международном уровнях.

Примером планирования с использованием подхода на основе интегрированной энергетической системы для существующей системы районного теплоснабжения может служить СПТХС, выполненное в г. Ольборге, Дания. Главная цель концепции развития энергетического сектора в г. Ольборге к 2050 году (см. вставку 1) – предложить вариант такого проектирования системы энергоснабжения в г. Ольборге, который бы способствовал реализации долгосрочной стратегической цели Дании – полностью отказаться от ископаемого топлива к 2050 году. Пример Чжэнчжоу демонстрирует процесс СПТХС для новой области разработки (вставка 2).

ВСТАВКА 1. ОЛЬБОРГ (ДАНИЯ): КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА В Г. ОЛЬБОРГЕ К 2050 ГОДУ



Процесс СЭП регулярно обсуждался с представителями муниципалитета Ольборга, Управления по энергетике и окружающей среде, Управления по городскому и ландшафтному планированию и (коммунального) предприятия районного теплоснабжения Aalborg District Heating. Кроме того, вёлся диалог с заинтересованными сторонами от местных промышленности и бизнеса.

Такой поток информации между заинтересованными сторонами является руководящим принципом процесса СЭП. Кроме того, это та методика, которую органы власти могут применять при планировании энергетических систем будущего. С её помощью заинтересованные стороны могут принять участие в этом процессе и внести согласованный вклад в государственные и глобальные усилия (Thellufsen et al., 2019).

Пример Ольборга типичен для планирования интегрированной энергетической системы. Концепция развития энергетического сектора в г. Ольборге представляет собой исследование энергетической системы в целом, включая анализ роли и аспектов районного теплоснабжения, и учитывает государственную долгосрочную цель полного отказа от ископаемых видов топлива к 2050 году.

При разработке концепции развития энергетического сектора в г. Ольборге к 2050 году рассматривалось несколько вариантов. Это было сделано отчасти для того, чтобы продемонстрировать необходимость теплосбережения и районного отопления на основе низкотемпературных источников, и отчасти – чтобы показать степень, в которой система теплоснабжения Ольборга будет зависеть от промышленного избыточного тепла. Кроме того, рассматривался и альтернативный вариант, при котором вместо системы районного теплоснабжения применялись бы индивидуальные тепловые насосы.

Результаты исследования показали, что самым экономичным вариантом является создание системы аккумулирования тепловой энергии в сочетании с гибким использованием электроэнергии с целью выработки тепла для районных энергетических систем с помощью тепловых насосов. В таких условиях количество произведённой энергии для автономного отопления составляет около 0,2 тераватт-часа (ТВт-ч) по сравнению с требуемым количеством тепла, равным примерно 1,9 ТВт-ч. Доля промышленного сбросного тепла в районном теплоснабжении составляет около 0,9 ТВт-ч при общем спросе 1,65 ТВт-ч. Остальная часть спроса будет удовлетворена теплом, получаемым из геотермальных источников, тепловых насосов и ТЭЦ, работающих на газе.



Источник: Shutterstock

Вид центральной и прибрежной частей г. Ольборга с Nørre Sundby

ВСТАВКА 2.

ЧЖЭНЧЖОУ (КИТАЙ): СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В НОВОМ РАЙОНЕ



Во время городского планирования и после его завершения местные органы власти помогли координировать необходимые нормативные положения, политику и принципы проектирования для поддержки развития этого проекта. В рамках этого стратегического подхода нормативные положения предусматривали обязательное подключение всех новых зданий к районной энергосети (Riahi et al., 2017).

Финансовый центр Longhu в городе Чжэнчжоу, Китай, представляет собой расширение проекта центрального делового района в новом районе Чжэндун. В нём предполагается разместить высотные офисные и жилые здания с общей площадью застройки примерно 3 100 000 м².

Чжэнчжоу – интересный пример применения СПТХС для недавно построенной районной энергетической системы, в которой тепло- и холодоснабжение с самого начала считаются неотъемлемыми частями городской инфраструктуры. На этапе городского планирования несколько государственных служб и предприятий коммунального обслуживания (по водоотведению, тепло- и холодоснабжению, водо- и электроснабжению, интернет-провайдеров и транспортных предприятий) были объединены в общей документации по городскому планированию.

Таким образом, тепловая сеть достигает каждой области нового района, обеспечивая доступность районной энергетической системы для всех зданий экономически эффективным способом. Кроме того, совместное планирование сети районного теплоснабжения и коммунальных систем способствует использованию сбросного тепла из сточных вод в качестве источника тепла для сети теплоснабжения.



Источник: Shutterstock

Вид на город, новый район Чжэндун, г. Чжэнчжоу, Китай.

Как показывают эти два примера, и местные, и общегосударственные органы власти играют важную роль в стратегическом планировании и, в конечном счёте, реализации плана развития. Местные органы власти должны отвечать за координацию заинтересованных сторон и реализацию инфраструктуры тепло- и холодоснабжения. Общегосударственное и региональное руководство должно обеспечить надлежащее регулирование, которое задаёт ограничивающие условия и направляет действия местных властей на согласованной основе (см. раздел 6.3 части В). Без постановки ясной цели, например, показателей декарбонизации, уменьшения загрязнения, регулирования защиты прав потребителей и обеспечения доступности энергии, существует риск того, что местные органы власти будут решать эти проблемы разными способами, иногда разнящимися в соседних юрисдикциях. Ясно сформулированные цели позволяют разработать планы тепло- и холодоснабжения, которые предусматривают использование низкотемпературных источников, в том числе, геотермальных ресурсов.

И, наконец, временные рамки СПТХС должны в максимальной степени учитывать долгосрочные социальные цели, а не просто короткие инвестиционные периоды длительностью, например, 10 лет. Придерживаясь длительных временных периодов, можно проанализировать возможности для достижения различных социальных целей. Если не принять это во внимание, существует риск, что инвестиции, которые кажутся выгодными сегодня, могут не вписаться в будущую систему энергоснабжения и остаться незадействованными.

«Местные и общегосударственные органы власти играют важную роль в стратегическом планировании тепло- и холодоснабжения и, в конечном счёте, реализации плана развития.»

Краткое изложение рекомендаций по развитию СПТХС

СПТХС является первым шагом к развитию и использованию возобновляемых источников энергии, вырабатываемой при низких температурах, в новых и существующих системах РТХС. Ниже представлен сводный перечень ключевых факторов успеха для процесса СПТХС.

Определите область применения и назначение СПТХС.

- ➔ Определите стратегические цели СПТХС. Процесс СПТХС может иметь разные цели (например, декарбонизация, минимизация загрязнения, предоставление доступного по цене отопления и охлаждения и т.д.). Эта стратегическая цель должна определять направление остальной части процесса.
- ➔ Согласуйте местные цели по тепло- и холодоснабжению с общегосударственными стратегиями по декарбонизации, в случае наличия таковых. Планирование теплоснабжения происходит на городском или муниципальном уровне из-за локального характера использования тепла. Однако местные планы должны быть согласованы и должны направляться на общегосударственном и региональном уровнях.

Решайте вопросы, связанные с текущим энергоснабжением, с помощью долгосрочных стратегий и планов по переходу на новые источники энергии.

- ➔ Привлекайте местные органы власти к СПТХС. Местные органы власти играют важнейшую роль в процессе СПТХС, в том числе в энергетическом и городском планировании, предоставлении инфраструктуры для тепло- и холодоснабжения, регулировании и финансировании и т.д.
- ➔ Обеспечьте наличие и координацию СПТХС на всех уровнях управления и во всех связанных с энергетикой областях политики. В частности, осуществляйте СПТХС совместно с планированием фонда энергоэффективных зданий, которое может предусматривать некоторые технологии, практически реализуемые только на уровне кварталов (района), а не в отдельных зданиях.

Учитывайте такие аспекты, как цикличность, мультидисциплинарность и непрерывность процесса СПТХС, который может быть адаптирован к разным уровням и условиям.

- ➔ Оптимизируйте этот процесс с помощью комплексного повторяющегося подхода. Для получения максимального эффекта процесс СПТХС должен ориентироваться на долгосрочную перспективу, учитывать синергетические связи с другими энергетическими системами (например, электросетями) и использовать междисциплинарный подход, учитывающий экономические, экологические и технические аспекты.
- ➔ Адаптируйте основную цель процесса СПТХС к местным условиям. Однако не забывайте о том, что принципы управления должны быть адаптированы к стратегическим целям, а не к сложностям проекта. Выполните три основных этапа процесса СПТХС: i) определите область применения, назначение и план привлечения заинтересованных сторон; ii) циклично разрабатывайте технические сценарии для экологически устойчивого энергоснабжения; и iii) определите схему управления РТХС.

В.2 Вовлечение заинтересованных сторон

В.2.1 Идентификация и координация заинтересованных сторон

Отрасль тепло- и холодоснабжения задействует многие заинтересованные стороны, преследующие свои собственные цели. Это могут быть потребители с высоким спросом на энергию, например, промышленные предприятия, больницы, заводы по очистке сточных вод или теплицы. Все они потребляют много энергии, а также являются потенциальными источниками сбросного тепла. Кроме того, ключевые заинтересованные стороны могут быть непосредственно связаны с энергетической отраслью, такие как электростанции, энергопередающие компании (например, существующие районные поставщики энергии) или предприятия добывающей промышленности. Тем не менее, некоторые стороны не обязательно будут рассматривать себя в таком качестве, если энергетика не является их основной деятельностью.

Поскольку тепло- и холодоснабжение осуществляются на местном уровне, важно определить местные заинтересованные стороны и сотрудничать с ними при переходе к тепло- и холодоснабжению на основе низкоуглеродных источников энергии. Местные органы власти будут играть ключевую роль в организации этого процесса и определении и вовлечении заинтересованных сторон.

Принципиально важна ясность в том, кто будет основным руководителем процесса и, соответственно, кто будет отвечать за определение и вовлечение участников, поскольку также необходимо предусмотреть возможность исключения тех сторон, которые не соответствуют установленным критериям. Не все источники тепла будут подходить для поставленной цели, а общегосударственные и местные планы могут идти вразрез с позициями некоторых устоявшихся участников.

Это приводит к необходимости:

- определить возможности для вовлечения заинтересованных сторон, которые могут играть конструктивную роль в реализации планов тепло- и холодоснабжения;
- определить механизмы взаимодействия и возможности для экономически эффективных районных энергетических систем.

Рекомендуется вовлекать заинтересованные стороны и руководить ими при первой же возможности, особенно для содействия позитивной оценке общественности. Также необходимо чётко определить, кто является ключевой заинтересованной стороной в рамках какой части плана; некоторые могут быть ключевыми сторонами в контексте долгосрочного планирования, другие – в контексте конкретных частей плана (например, освоения конкретных возобновляемых источников энергии), а третьи могут быть ключевыми сторонами, например, в контексте развития сети в уже устоявшихся областях. Это означает, что хотя некоторые заинтересованные стороны могут играть ключевую роль в определённых частях развития системы РТХС, они могут не подходить для участия в других направлениях деятельности.

Координация заинтересованных сторон с различающимися программами и целями может представлять сложность для управления, особенно в тех случаях, когда функции и цели некоторых сторон несколько расходятся. По всей видимости, многие стороны стоит активно привлекать для повышения их заинтересованности и вовлечённости, либо исключать их из процесса. Например, больница может не считать себя ключевым участником, поскольку её деятельность заключается в предоставлении медицинских услуг, а тепло- и холодоснабжение является лишь небольшой частью всей этой деятельности, поэтому первоначально такое учреждение может быть мало заинтересовано в участии в проекте. Следовательно, необходимо классифицировать стороны в зависимости от степени их влияния и интереса к участию в проекте, чтобы разработать стратегию их вовлечения, как показано на рисунке 21.

Рисунок 21. Классификация сторон в зависимости от степени их влияния и интереса



Источник: Женевский университет; на основе публикации Mendelow (1981)

Роль заинтересованных сторон в разработке СПТХС или проекте можно оценить с точки зрения их влияния и уровня проявляемого интереса. Заинтересованные стороны с большим влиянием и высокой заинтересованностью критически важны для успешной реализации стратегии или проекта и должны быть определены и активно вовлечены в процесс при самой первой возможности, в то время как стороны с низкой степенью влияния и низкой заинтересованностью могут быть привлечены в минимальной степени.

Область применения и назначение планирования тепло- и холодоснабжения играют важную роль при рассмотрении вопроса о том, какие участники и заинтересованные стороны должны быть включены в этот процесс. Как показано в таблице 3, следует определить заинтересованные стороны, которые, вероятно, будут вовлечены в проект, а также разработать стратегию их привлечения, чтобы обеспечить успех проекта. Обширный список ключевых заинтересованных сторон, а также их роли в процессах, связанных с модернизацией систем районного теплоснабжения в Центральной и Восточной Европе, можно найти в работе Šizman and Buganova (2019).

Таблица 3. Возможные заинтересованные стороны, их роль в СПТХС и стратегия вовлечения

ЗАИНТЕРЕСОВАННЫЕ СТОРОНЫ	РОЛИ / ВЛИЯНИЕ / ИНТЕРЕС	СТРАТЕГИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ
Общегосударственные, региональные или местные органы власти ⁶	<p>Предоставляют базовые условия в виде нормативно-правовых актов, инструментов и мандата.</p> <p>Обычно выдают разрешения и лицензии, позволяющие начать реализацию проекта.</p> <p>Могут предоставлять финансирование для проекта.</p>	Должны привлекаться в соответствии с государственной политикой в области энергетики. Это может быть в контексте энергетической безопасности, охраны здоровья, декарбонизации и т.д.
Местный (муниципальный / гражданский) орган власти ⁶	<p>Как правило, осуществляет мониторинг выполнения законов.</p> <p>Заказчик проекта и главный движущий фактор.</p> <p>Обладает важными знаниями о местных условиях, касающихся конкретного проекта.</p> <p>Может выдавать разрешения, позволяющие начать реализацию проекта.</p> <p>Защищает интересы потребителей.</p> <p>Крупнейший потребитель (общественные здания).</p>	Привлекается, исходя из движущих факторов СПТХС. Это могут быть местные потребности, связанные, например, с энергетической бедностью, загрязнением воздуха и отсутствием доступа к энергии. Такие движущие факторы также могут быть установлены общегосударственными (или региональными) органами власти посредством обязательной оценки возможностей или регулирования РТХС.
Коммунальное предприятие / компания-застройщик	<p>Зависит от формы собственности.</p> <p>Интересы должны заключаться в эксплуатации систем РТХС в соответствии со стратегическими целями.</p> <p>Выигрывает от выявления синергетических связей с другими застройщиками.</p>	Разработка экономического обоснования.
Инвесторы и финансовые учреждения	Предоставляют финансирование и инвестиции для проекта, окупают инвестиции.	Понимание критериев оценки и приоритетов, определяющих инвестиционные решения.
Исследователи / научное сообщество	<p>Предоставляют (независимую) информацию о новых возникающих технологиях, сложных задачах и явлениях.</p> <p>Могут предоставить независимые оценки потенциальных путей развития.</p>	Научно-практические проекты.

⁶ В другом контексте указанные роли и соответствующая политика национального правительства могут быть реализованы региональным или местным органом власти (и наоборот) ввиду разнообразия систем управления.

Таблица 3. Возможные заинтересованные стороны, их роль в СПТХС и стратегия вовлечения – продолжение

ЗАИНТЕРЕСОВАННЫЕ СТОРОНЫ	РОЛИ / ВЛИЯНИЕ / ИНТЕРЕС	СТРАТЕГИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ
Застройщики	Проектируют новые здания, позволяющие использовать низкотемпературные источники для отопления и охлаждения.	Внедрять строительные нормы и стандарты. Предусматривать подключение зданий к районному энергоснабжению.
Владельцы зданий	Предоставляют информацию об установленном оборудовании. Позволяют проверки для обнаружения / исправления ошибок в системе. Принимают решение, стоит ли оптимизировать системы.	Внедрять строительные нормы и стандарты. Предусматривать подключение зданий к районному энергоснабжению.
Потребители	Предоставляют информацию о спросе на тепло. Влияют на эффективность системы через поведение. Оплачивают счета. Выступают в роли производящих потребителей.	Согласовывать интересы с интересами потребителей. Защищать интересы посредством договорных соглашений.
Граждане	Обеспечивают общественное признание. Выступают в роли потребителя тепла и занимаются трудоустройством. Становятся инвесторами.	Должны быть включены в процесс. Следует понимать пожелания и мотивы этой группы.
Геологические службы	Предоставляют критически важную информацию о геологических условиях и доступных геотермальных ресурсах.	Оценка ресурсного потенциала.
Разработчики геотермальной и солнечной энергии	Иницируют проекты и предоставляют более подробную информацию об источниках тепла.	Необходима определённость для инвестиций и управления рисками. Необходимы соответствующие тендеры на разведку, испытания и эксплуатацию.
Поставщики сбросного тепла	Могут обеспечить дешёвое тепло для сети.	Необходимо понимание технических вопросов, связанных с рекуперацией тепла, и потенциальных коммерческих последствий. Участие в договорных соглашениях для «отвода тепла».
Поставщики технологий	Создают добавочную стоимость и рабочие места на местном уровне. Поддерживают повышение гибкости систем РТХС.	Необходима определённость для инвестиций и управления рисками. Финансирование исследований и разработок в области экологически устойчивых технологий для отопления и охлаждения.

После определения заинтересованных сторон они должны «увидеть» себя в этом процессе и быть готовыми принять в нём участие. Заинтересованные стороны должны иметь возможность увидеть выгоду от участия в процессе для использования сбросного тепла, перехода на возобновляемые источники энергии и установки новых или

модернизации старых районных энергетических систем. Это может принять форму выгодной бизнес-модели, улучшенных характеристик экологической обстановки, стабильного энергоснабжения и др. Во вставке 3 отражена роль основной заинтересованной стороны в двух разных примерах из Дании.

ВСТАВКА 3. РОЛЬ ОСНОВНОЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННОЙ СТОРОНЫ

Два разных примера из Дании демонстрируют важную роль основной заинтересованной стороны и её влияние на разработку и реализацию будущих стратегий.

- При разработке плана теплоснабжения в г. Ольборге городской совет установил амбициозные целевые показатели, предусматривающие отказ от производства тепла на основе угля к 2050 году. В качестве главной заинтересованной стороны городской совет г. Ольборга твёрдо намерен выполнить свой стратегический план теплоснабжения на основе «зелёной» энергии и поэтому принял решение об отказе от услуг частного продавца энергии, который является основным поставщиком тепла и интересы которого не соответствовали цели, поставленной городом. В результате городской совет выкупил у частной энергетической компании местную ТЭЦ для РТХС, чтобы предотвратить возможные конфликты интересов при внедрении изменений в производство тепловой энергии и, в конечном итоге, замене ТЭЦ, работающей на угле, в качестве источника тепла.

- В г. Виборге предприятием районного теплоснабжения является кооперативная компания, принадлежащая потребителям и являющаяся главной заинтересованной стороной. Эта компания разработала стратегию с учётом пожеланий потребителей. Среди таких пожеланий – стабильные цены, независимость от ископаемых видов топлива и непостоянных цен на них, энергоэффективность на стороне спроса и переход к районному теплоснабжению на основе низкотемпературных источников энергии. Реализация такой стратегии противоречила бы интересам муниципальной ТЭЦ, которая подаёт в систему тепло, производимое из природного газа. Поэтому компания решила выкупить теплопроизводящую установку у муниципалитета и таким образом исключила заинтересованную сторону из процесса планирования.

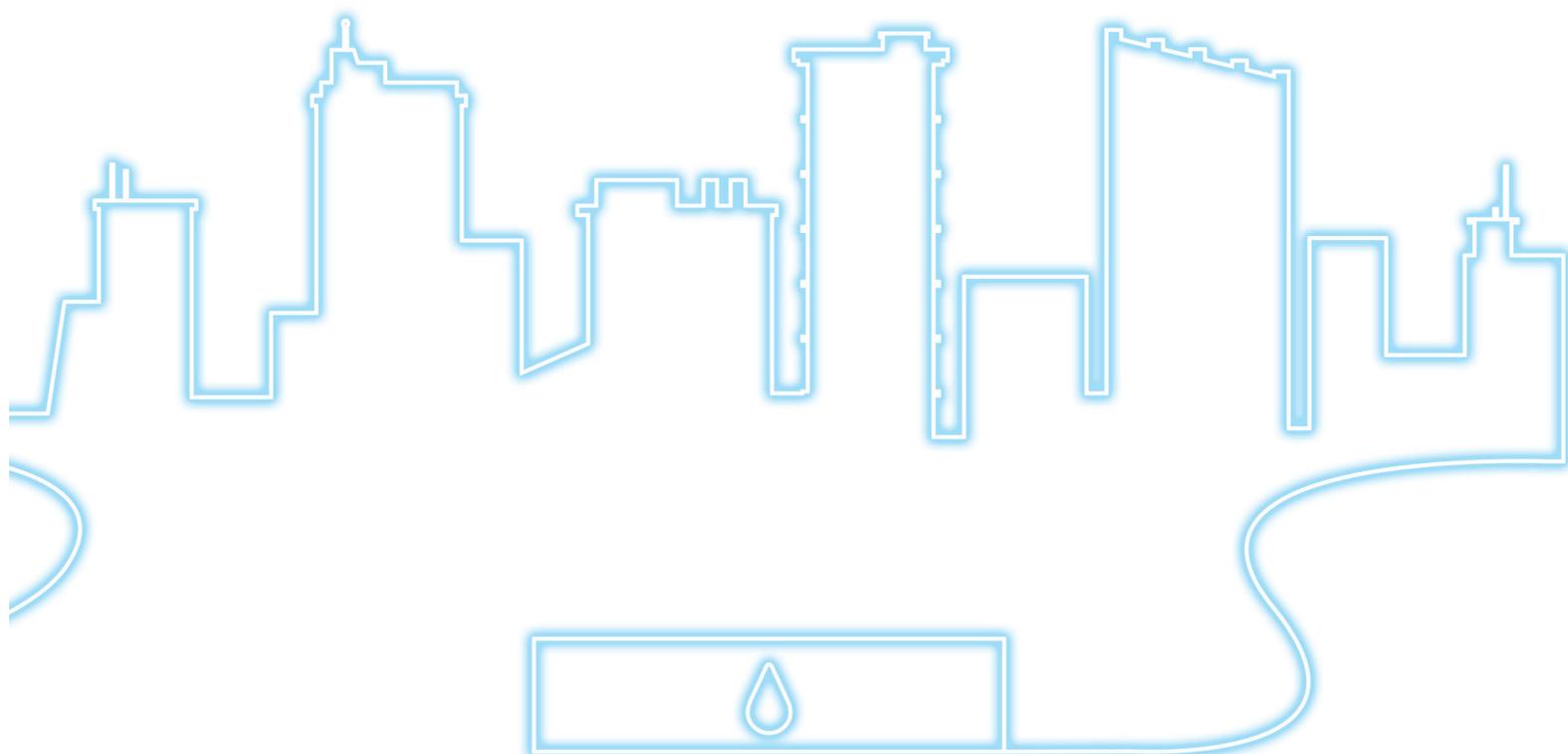
В обоих городах предприятие тепловых сетей определяется как основная заинтересованная сторона, которая стремится к экологически устойчивому производству тепла и реализации «зелёной» стратегии для теплоснабжения. Оба случая представляют собой примеры конфликта интересов между значимыми заинтересованными сторонами РТХС, которые могут препятствовать переходу системы на более экологически устойчивое производство. В частности, управление производством тепловой энергии жизненно необходимо в тех случаях, когда требуется заменить технологии или исключить ископаемые виды топлива из использования.

Для формирования общественного признания необходимо реагировать на вызывающие беспокойство вопросы по экологии касательно развития некоторых возобновляемых источников энергии в городах. В попытке развеять мифы относительно геотермальной энергии и разъяснить вызывающие беспокойство экологические вопросы, которые могли бы вызвать сопротивление общественности, в рамках проекта GEOENVI (GEOENVI, 2019) была разработана база данных об экологических аспектах геотермальных проектов, а именно о воздействиях, рисках и мерах по их смягчению. Кроме того, по состоянию на апрель 2020 г. в рамках проекта проводилась разработка согласованной методики для оценки воздействия геотермальных проектов на окружающую среду, а также согласование методик анализа жизненного цикла. Была поставлена цель повысить осведомлённость лиц, ответственных за разработку политики, а также общественности о геотермальной энергии путём обеспечения доступа к информации о геотермальных проектах в открытой для всех базе данных.

Привлечение заинтересованных сторон, которые будут прямо или косвенно затронуты реализацией энергетического проекта, должно быть структурированным и детализированным, чтобы гарантировать выполнение их ожиданий и решение волнующих их проблем в ходе проекта. Например, использование геотермальных ресурсов влечёт за собой доступ к нижнему горизонту почвы для извлечения энергии. Для этого потребуются бурение и испытание геотермальных скважин в зонах жилого фонда и застройки или вблизи них.

Такие проекты могут вызвать противодействие населения, так как они сопровождаются мобилизацией тяжёлого оборудования, шумом во время буровых работ и риском наведённой микросейсмичности (Popovski, 2003). В этом отношении раскрытие информации о проекте и привлечение заинтересованных сторон, включая граждан, в самом начале проекта имеет решающее значение, как демонстрирует пример в городе Грос-Герау, Германия (вставка 4). В то время как такая стратегия привлечения заинтересованных сторон реализована на уровне проекта, аналогичные принципы могут применяться на стратегическом уровне (уровне общегосударственного или местного органа власти) при разработке СПТХС.

«Взаимодействие с заинтересованными сторонами должно начинаться рано, чтобы развеять опасения и обеспечить широкое общественное признание.»



ВСТАВКА 4. ГРОС-ГЕРАУ (ГЕРМАНИЯ): УСПЕШНАЯ СТРАТЕГИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН



Как показал пример работающей в г. Грос-Геркау (Германия) государственной компании по коммунальному обслуживанию Überlandwerk Groß-Gerau GmbH (ÜWG), вовлечение заинтересованных сторон обеспечило прозрачность, а также взаимное доверие между местным сообществом и разработчиком геотермальных ресурсов, что, в свою очередь, привело к признанию проекта общественностью. Процесс вовлечения был структурирован для создания политически крепкого проекта.

Первый этап вовлечения – определение характеристик социального объекта – повлёк за собой сбор мнений (надежд, ожиданий, опасений и восприятий) общественности касательно проекта. Это было выполнено с помощью интервью и постоянного анализа СМИ.

На втором этапе – в диалоге заинтересованных сторон – консультативная группа, сформированная из различных заинтересованных сторон, обсудила вопросы, выявленные во время определения характеристик социального объекта. Затем консультативная группа сформулировала обращения к разработчику проекта касательно экологических аспектов, затрат и преимуществ, проектных рисков и обмена информацией. На заключительном этапе – этапе привлечения общественности – рядовым гражданам была предоставлена информация и ответы на вопросы, а также были подробно рассмотрены спорные вопросы. Эти действия выполнялись в формате встреч.

По окончании данного процесса проведённый опрос показал, что большинство жителей, проживающих в зоне запланированного проекта, поддержали новую инициативу и предпочли использование геотермальных ресурсов другим источникам энергии (Wallquist and Holenstein, 2015; Allansdottir, Pellizzone and Sciuillo, 2019).



Источник: Shutterstock

Город Грос-Геркау около Франкфурта в Гессене, Германия, вид сверху.

Ожидается, что такой уровень прозрачности в сочетании с активным привлечением местной общественности улучшит понимание и принятие проектов по районной энергетике и возобновляемой энергии.

Краткий обзор проблем и рекомендаций по определению и вовлечению заинтересованных сторон

Определите и задействуйте заинтересованные стороны.

- ➔ Определите соответствующие заинтересованные стороны в СПТХС, их интересы и уровень влияния в проекте по отоплению и охлаждению. Лидер в СПТХС, как правило, местные власти, должен чётко излагать свои политические мотивы и цели: если некоторые заинтересованные стороны не согласуются с общей целью, то они не обязательно должны быть частью процесса.
- ➔ Повышайте осведомлённость и способствуйте общественному признанию РТХС как способу достижения конкретных социальных и экологических целей. Чтобы способствовать общественному признанию процесса планирования теплоснабжения и районной энергетике, необходимо как можно раньше поощрять вовлечение лиц, ответственных за разработку политики, и широкой общественности.

Что касается популяризации конкретных источников энергии для РТХС, а также разработки конкретных проектов, оператор проекта может вовлечь заинтересованные стороны следующим образом.

- ➔ Разработайте инструменты и методики для оценки воздействия отопления и охлаждения на окружающую среду и лоббируйте лиц, ответственных за разработку политики, с целью согласования природоохранного законодательства для различных источников энергии. Воздействие энергетических проектов на окружающую среду следует оценивать с использованием упрощённых инструментов, которые способствуют сравнению с другими подобными проектами, и должны быть чётко сформулированы меры по ослаблению такого воздействия. Это особенно актуально в отношении геотермальной энергии, чтобы повысить прозрачность разработки геотермальной энергии и обеспечить осведомлённость о рисках и соответствующих мерах по ослаблению воздействия проектов в области геотермальной энергии.
- ➔ Повысьте прозрачность, вовлекая заинтересованные стороны в процесс разработки, чтобы они могли понять как преимущества, так и недостатки проекта. Широкая общественность и лица, ответственные за разработку политики, могут не иметь адекватной информации о некоторых технологиях возобновляемой энергии и могут оказывать сопротивление из-за предполагаемых экологических и социальных рисков.

В.3 Оценка и картирование спроса на отопление (и охлаждение) и энергетических ресурсов

Во многих странах, регионах и городах отопление (и охлаждение) традиционно не было объектом управления. Политика в области энергетики чаще всего находит своё выражение в отраслевой политике, ориентированной на электроэнергию и газ на стороне предложения и эффективность зданий на стороне спроса. Поэтому зачастую знания о принципиальном состоянии дел в секторах отопления и охлаждения отсутствуют. Иногда электро- и газоснабжение и измеряется, но только как совокупные показатели энергоснабжения, которые сочетают в себе приготовление пищи, освещение, отопление и другое конечное потребление энергии. Устоявшимся районным энергетическим системам без систем управления и учёта энергии также зачастую не хватает информации о фактическом спросе на энергию на уровне потребителей. Таким образом, спрос на отопление и охлаждение может быть неизвестен, и поэтому его трудно использовать в целях стратегического планирования.

Чтобы провести СПТХС или подготовить технико-экономическое обоснование, необходимо собрать и использовать информацию и данные о местоположении и объёме фактически требуемого отопления и охлаждения, потенциальных вариантах снабжения и состоянии фонда зданий. Кроме того, крайне важно включить в анализ другие энергетические секторы, чтобы зафиксировать более широкие изменения, такие как увеличение количества возобновляемых источников с переменным характером выработки электроэнергии, рост спроса на энергию и т.п. Существуют значительные межотраслевые синергии,

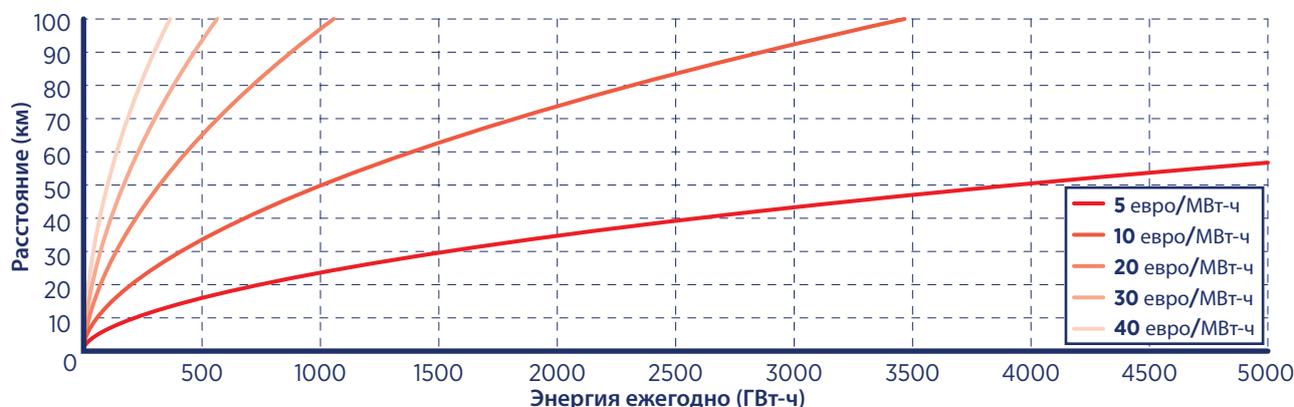
которые следует использовать, а также следует избегать недостаточной оптимизации в энергетических областях. Собранные данные необходимы для разработки технических сценариев, которые играют критически важную роль в стратегическом планировании. Этапы технического картирования влекут за собой количественную оценку спроса на тепло, идентификацию и количественную оценку потенциальных тепловых ресурсов, а также оценку возможностей экономии тепла в зданиях и идентификацию.

Существенное различие между планированием отопления и другими видами планирования энергии заключается в критической важности местоположения спроса и предложения. Поэтому знание местоположения тепловых ресурсов и существующего спроса на отопление и охлаждение позволяет соединить эти два элемента и оценить их целесообразность. Таким образом, картирование местоположения и количественная оценка спроса на отопление и охлаждение являются ключевой частью СПТХС и крайне важны для привлечения инвесторов к поддержке районных энергетических проектов с использованием возобновляемой энергии и источников сбросного тепла.

В частности, для проектировщиков РТХС эти знания важны для оценки размера сетей и установленных мощностей. Инвесторам, поскольку районные энергетические сети – это капиталоемкие инвестиции, важно знать потенциальный размер рынка, объёмы поставок и количество потенциальных потребителей.

Расстояние, на которое тепло может быть передано экономично, зависит от количества доставляемой энергии. На рисунке 22 представлено максимальное расстояние, на которое может передаваться тепло по себестоимости. Например, 2500 гигавайт-часов (ГВт-ч) может передаваться на расстояние до 40 километров (км) по цене всего лишь 5,50 доллара США за мегаватт-час (МВт-ч). Но если бы расстояние между производством и потреблением составляло 50 км, необходимо было бы поставить 4000 ГВт-ч, чтобы получить такую же удельную себестоимость.

Рисунок 22. Стоимость передачи тепла



Примечание. Стоимость передачи включает в себя стоимость монтажа и стоимость перекачивания. Стоимость монтажа труб районного теплоснабжения была взята у Svensk Fjärrvärme AB (2007), обновлена на основании данных Sánchez-García (2017) и амортизирована через 30 лет с процентной ставкой 5%. Стоимость перекачивания была рассчитана, исходя из цены на электроэнергию в размере 11 долларов США за МВт-ч. Кроме того, предполагалось, что энергия, транспортируемая по трубопроводу, изменяется синусоидально в течение года (Phetteplace, 1995).

Более того, с технической точки зрения важно избегать слишком больших трубопроводных расстояний. Действительно, даже если в настоящее время трубы хорошо изолированы, потери тепла всё равно происходят (их можно уменьшить, используя более низкие рабочие температуры).

В.3.1 Картирование спроса на тепло- и холодоснабжение

Здесь представлены основные подходы для начала сбора информации о спросе на тепло: измерение фактического спроса, моделирование совокупного спроса на тепло на уровне зданий и разбивка её на компоненты посредством пространственного моделирования.

i. Измерение фактического спроса позволяют достоверно узнать уровень потребления. Это, несомненно, служит самой точной основой для оценки теплоснабжения. По возможности следует принять высокое разрешение по времени, например, одночасовые интервалы. Это даст ценную информацию распределительным и производственным компаниям об изменениях ожидаемой потребительской нагрузки. Такая информация обеспечивает более эффективную работу производственных установок путём оптимизации производства в соответствии со спросом и улучшения взаимодействия между системой теплоснабжения и переменными источниками для производства электроэнергии. Измерение (и соответствующие системы управления) также позволяют ввести индивидуальную оплату на основе потребления, тем самым стимулируя сокращения энергопотребления.

ii. Моделирование «снизу вверх» энергетической эффективности зданий и потребляемой ими энергии позволяет оценить ожидаемый спрос на тепло. Моделирование или оценка спроса для зданий и последующее их объединение может быть шагом вперёд в предоставлении исходных данных для принятия решений. Некоторые города, такие как Женева в Швейцарии, обязали владельцев домов отчитываться о своём спросе на тепло. Им предоставили соответствующие инструменты и инструкции, кроме того, для выполнения расчётов они могут нанять специальных аккредитованных лиц. Для моделирования или оценки требуются наборы данных о фонде зданий (местоположение, площадь, год постройки, основной источник энергии и т.д.). Эти наборы данных могут предоставляться городам общегосударственными органами власти, как это было сделано в Швейцарии (см. вставку 5). Такие инициативы можно повторить в других странах. В тех случаях, когда такие наборы данных отсутствуют, могут потребоваться дорогостоящие топографическая съёмка и исследования на местности для получения достаточно детализированных данных, необходимых для моделирования спроса на тепло.

iii. Моделирование «сверху вниз» пространственного распределения спроса на тепло для определения приоритетных областей. Такие проекты, как PETA 4 или Hotmaps toolbox, служат примерами смоделированных европейских атласов спроса на тепло (см. вставку 6). Такие инструменты должны учитывать не только местную политику (нормы, регулирующие потребление тепла для общественных зданий), но также привычки конечных пользователей тепла или холода в данной местности, а также температурные потребности конечного пользователя. (Для недавно построенных зданий с радиаторным отоплением пола необходимая температура отопления будет составлять около 30 °С; для железных радиаторов – примерно от 80 °С до 90 °С.) В данных моделях используются статистические данные энергетического сектора о спросе на тепло страны, региона или города, а затем эти данные делятся по территориям, чтобы можно было оценить затраты на распределение тепла и определить зоны с высоким потенциалом для развития районного теплоснабжения, опираясь на плотность и близость к источникам тепла. Из всех трёх методов последний даёт наименее точный результат, но позволяет выполнить СПТХС в условиях ограниченности данных или ресурсов.

В случае нового района застройки моделирование будущего спроса на тепло также потребует для проектирования будущей системы РТХС.

Следует проявлять осторожность, чтобы определить спрос по самым скромным подсчётам. Необходимо выполнить анализ чувствительности.

Такое понимание и количественное определение спроса на теплоснабжение также должно включать в себя данные о холодоснабжении и местном потреблении электроэнергии в этих целях. Это позволяет городам определять потребности в энергоснабжении и решать связанные с этим проблемы на месте, вместо того чтобы полагаться исключительно на улучшения и развитие национальной сети электроснабжения (ЮНЕП, 2015).

«Потребность в тепло- и холодоснабжении для зданий города можно определить путём измерения фактического спроса, моделирования потребления зданиями по принципу «снизу-вверх» и моделирования спроса на тепло по принципу «сверху-вниз».

ВСТАВКА 5. ОБЩЕДОСТУПНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: СЦЕНАРИЙ ШВЕЙЦАРИИ

- Открытые источники данных могут значительно облегчить предварительную оценку потребности в энергии для раздельного производства тепла и электроэнергии РТХС. В Швейцарии портал opendata.swiss объединяет широкий диапазон общедоступных наборов данных Конфедерации, кантонов и общин. Он включает в себя данные из национального реестра зданий Швейцарии (GWR), в котором приводятся основные характеристики (например, местоположение, площадь и основной источник энергоснабжения) примерно 2 миллионов зданий, расположенных на территории страны. Местные наборы данных могут содержать дополнительную, характерную для данного места информацию: например, на портале Информационной системы территории кантона Женева (SITG) приводятся подробные данные о потреблении тепловой энергии многоквартирными домами и зданиями инженерного обеспечения.

<https://opendata.swiss/en/>

<https://ge.ch/sitg/>

- Такие наборы данных могут способствовать разработке предварительных сценариев при планировании и разработке систем РТХС, в которых интегрированы низкотемпературные возобновляемые источники энергии. Их можно использовать для оценки пространственных моделей энергоспроса и прогнозирования их развития при будущих условиях. В исследовании Chambers et al. (2019) общедоступные данные были использованы для отображения местного потенциала будущих систем районного теплоснабжения в Швейцарии и было отмечено, что сценарии с высокой энергоэффективностью могут существенно повысить относительный потенциал систем РТХС, работающих при более низких температурах, по

сравнению со стандартными системами РТХС, но эти сценарии также изменят спрос на энергоснабжение зданий в плане пространственного распределения. Для проектировщиков и лиц, ответственных за разработку политики, эта информация демонстрирует важность координации планирования спроса и предложения на тепло во избежание несоответствия между мощностями местных инфраструктур и фактической плотностью спроса на энергию в условиях различных стратегических целей.

- Поэтому пространственная оценка спроса на тепло должна сопровождаться аналогичной оценкой возможных источников возобновляемого или сбросного тепла, например, геотермальной энергии или сбросного тепла из промышленности. На территории Женевы такая деятельность осуществляется в рамках проекта Geothermie 2020, руководство которым осуществляет кантон Женева, а его финансирование и реализацию – коммунальная компания Services industriels de Genève. Этот проект опирается на существующие знания нижних горизонтов почвы для лучшего понимания местного потенциала геотермальной энергии и для координации развития такого потенциала наряду с дополнительными инфраструктурами, такими как РТХС. Первые результаты проекта обнадеживают: например, разведочное бурение в коммуне Версуа свидетельствует о потенциале геотермальной энергии в неглубоких водоносных горизонтах. Эти водоносные горизонты могут, в конечном итоге, внести свой вклад в поставку возобновляемого тепла в местную сеть РТХС. Эти результаты дополняют имеющиеся знания о геологических условиях в Женеве, например, чёткие пространственные наборы данных о теплопроводности и теплоёмкости, которые уже доступны на портале компании Services industriels de Genève.

www.geothermie2020.ch/



Источник: Freepik

ВСТАВКА 6. ИНСТРУМЕНТЫ КАРТИРОВАНИЯ СПРОСА НА ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

РЕТА 4

РЕТА 4 – последняя версия атласа тепловых ресурсов Европы (Peta) – интерактивной карты, предназначенной для планирования районной энергетики. С помощью РЕТА 4 можно моделировать спрос на тепло до уровня одного гектара. С помощью атласа также можно определить районы со спросом на тепло- и холодоснабжение, для которых существует потенциал районной энергетики. Карта включает в себя отрасли или установки с потенциалом избыточного (сбросного) тепла, возможными сетями районного теплоснабжения и наличием возобновляемых источников энергии, в том числе солнечного излучения, геотермальных ресурсов и биомассы. В серии проекта Heat Roadmap Europe атлас РЕТА 4 использовался для картирования и количественного определения пространственно распределённых значимых элементов, образующих европейский рынок тепло- и холодоснабжения.

Приведённые справа примеры демонстрируют спрос на тепло и потенциал избыточного тепла (вверху), а также геотермальный потенциал для города Будапешта, Венгрия (внизу).

<https://heatroadmap.eu/peta4/>

Hotmaps toolbox

Данные и инструменты, разработанные в рамках проекта Hotmaps, который финансировался программой ЕС «Горизонт 2020», позволяют европейским государственным органам определять, анализировать, моделировать и картировать ресурсы и решения. Данный ресурс даёт властям экономически эффективный способ закрыть энергетические потребности территорий, относящихся к их юрисдикции.

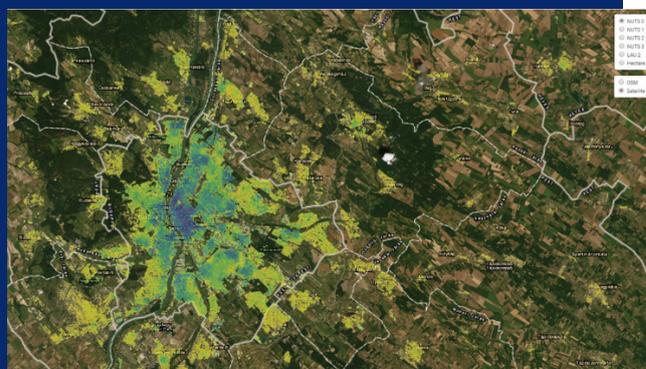
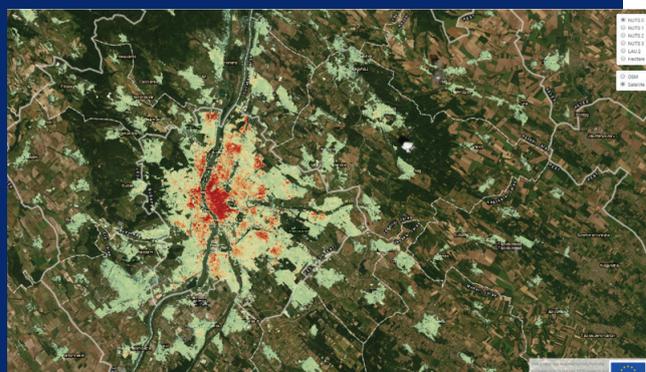
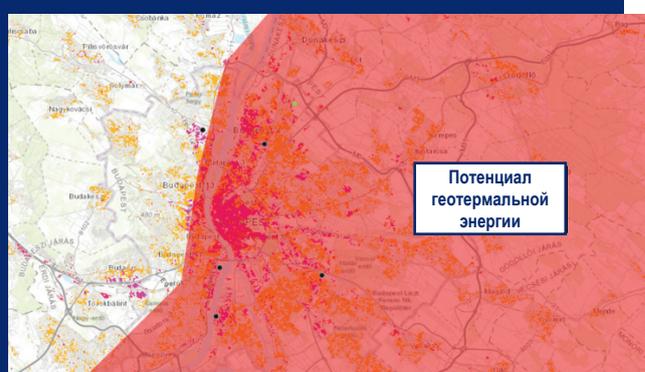
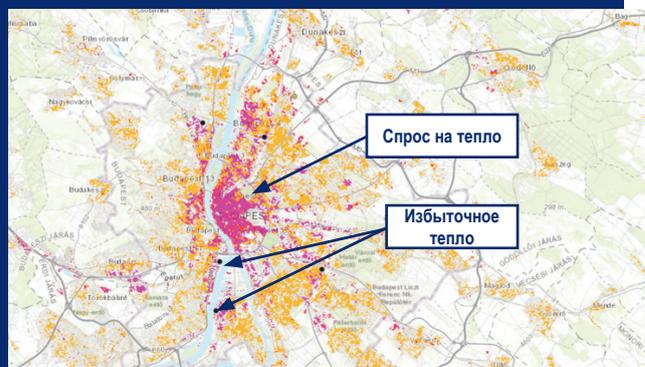
Приведённые напротив примеры демонстрируют смоделированный спрос на теплоснабжение (вверху) и холодоснабжение (внизу) для города Будапешта, Венгрия.

www.hotmaps.hevs.ch/map

Thermos

Thermos (система моделирования и оптимизации тепловых энергетических ресурсов) представляет собой общедоступный сетевой программный пакет, разработанный для оптимизации процессов планирования местных районных энергетических сетей и для поддержки общего планирования устойчивой энергетики. Он обеспечивает картирование и интегрированные оценки спроса на энергоснабжение для европейских городов.

www.thermos-project.eu/resources/thermos-tool/



В.3.2 Определение местных тепловых ресурсов

Насколько важно понимать спрос на тепло, настолько же важно располагать данными о доступных источниках тепла. Как объяснялось в разделе 2 части А, стратегическими источниками тепла обычно являются сбросное тепло или возобновляемые источники. Эти источники часто рассеяны на больших территориях, но требуют наличия соответствующей инфраструктуры, например, распределительных сетей районного энергоснабжения. Кроме того, эти ресурсы зачастую имеют низкую температуру, вследствие чего к сети предъявляются определённые требования. Современные районные энергетические системы лучше оснащены для использования более широкого диапазона источников тепла – с применением тепловых насосов или без них, а также для эффективного использования разных вариантов накопителей тепловой энергии (см. раздел 2.3 части А «Ключевые опорные технологии» и рисунок 23).

Таким образом, стратегические источники тепла могут включать в себя низкотемпературные децентрализованные возобновляемые ресурсы, такие как:

- геотермальное тепло;
- солнечная тепловая энергия;
- сбросное тепло: как стандартное, так и получаемое из промышленных процессов или в результате охлаждения помещений, например, в супермаркетах или центрах обработки данных и т.д.

Также следует оценить биоэнергетические ресурсы, поскольку комбинированные или гибридные системы могут быть подходящим решением. Учитывая особый профиль спроса на тепло, обычно непрерывно будет использоваться один или несколько основных источников, а резервный источник будет привлекаться в случае повышения спроса на теплоснабжение, что в большинстве систем имеет место лишь несколько дней в году. В гибридных районных энергетических системах, использующих накопители тепловой энергии, даже нет необходимости непрерывно пользоваться каким-то одним источником: всегда можно использовать наиболее подходящий источник, с учётом его доступности и себестоимости (см. рисунок 24). Самое подходящее решение зависит от местных условий. Для крупномасштабных систем потребуются множественные источники энергии, а аккумуляция тепловой энергии позволяет использовать переменные возобновляемые источники энергии.

Рисунок 23. Схема районной энергетической системы, в которой задействованы разные источники энергии

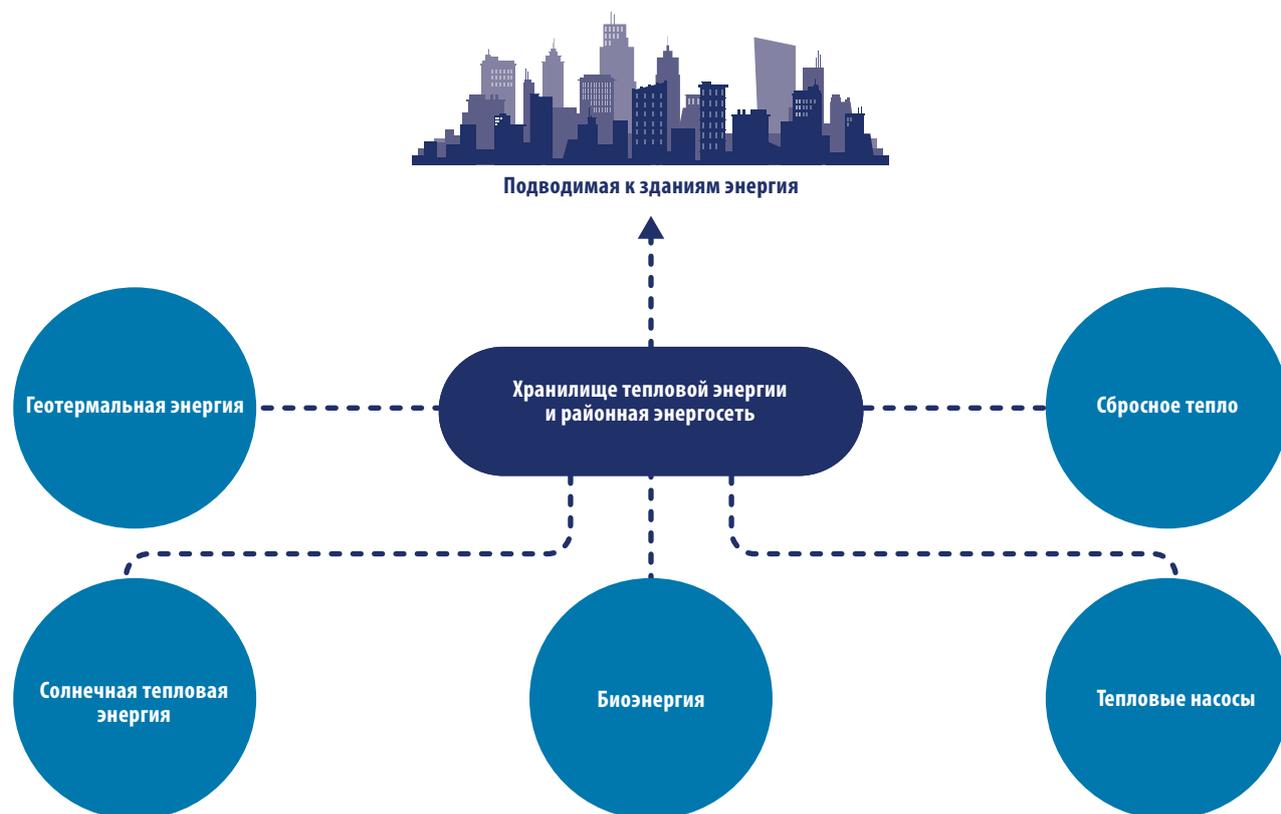
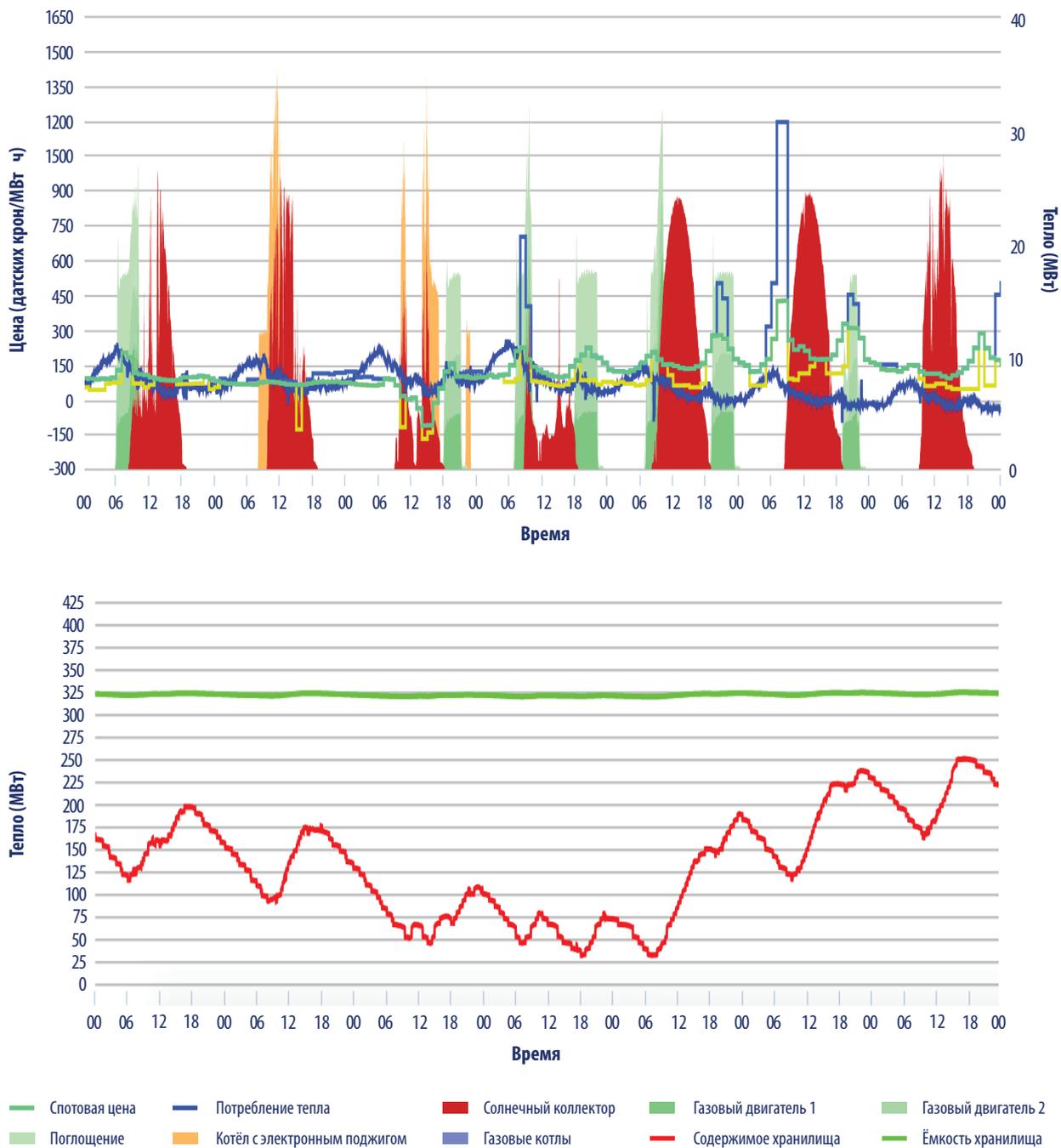


Рисунок 24. Пример ежедневной выработки тепловой энергии гибридной системой районного теплоснабжения с использованием аккумулированного тепла



DKK: датская крона

Источник: EMD International (www.energyweb.dk/saebyl/?english&history)

Следует оценить и отразить на карте близость потенциального источника тепла к центру спроса. Также следует определить наличие земли для разрабатываемого проекта, информацию о доступе к ней и потенциальных конфликтах в отношении её использования. Кроме того, опираясь на уже имеющиеся публикации и данные, можно примерно рассчитать уровень достоверности, с которым ресурс может удовлетворить спрос на теплоснабжение, прежде чем выполнять более детальную оценку ресурсов (Lund and Lienau, 2009).

Возможность использования тепловых источников для тепло- и холодоснабжения определяется местом, температурой и временными характеристиками ресурса:

- Доступность ресурса может быть ограничена географическим охватом городских зон (и, таким образом, спросом на тепло), с учётом того, что зачастую экономически невыгодно транспортировать небольшие количества тепловой энергии на большие расстояния. Поэтому местоположение (расстояние от источника тепла до сети тепло- и холодоснабжения, а также доступность земли) является критически важным фактором. Если источник тепла не находится в непосредственной близости от сети районного энергоснабжения, необходимость инвестиций в новые трубопроводы для создания необходимых соединений может снизить экономическую эффективность решения и стать причиной отказа от использования такого источника тепла в районной энергетической системе (Köhler Pedersen and Holm Christiansen, 2019). Кроме того, чем длиннее трубопровод, тем выше тепловые потери. Необходимо установить все нормативные требования, например, о разрешении на изменение в землепользовании или разведке энергетического источника – в случае геотермальной энергии.
- Характеристики низкотемпературного ресурса, которые варьируются в зависимости от характера разных источников тепла и могут быть отнесены к разным категориям как отдельные параметры (Köhler Pedersen and Holm Christiansen, 2019):
 - о Уровень температуры: в зависимости от температуры источников тепла и рабочей температуры районной энергетической системы, а также от того, подаётся ли тепло в возвратный или подающий трубопровод районной энергетической системы, может потребоваться увеличение температуры источника тепла с помощью теплового насоса для приведения её в соответствие с температурой фактической системы.

- о Колебания температуры: пригодным для использования может оказаться сбросное тепло из промышленных систем с переменной температурой на выходе. Это можно обеспечить с помощью комбинированных соединений, например, путём подачи сбросного тепла в подающий трубопровод при высоких уровнях температуры или в возвратный трубопровод, когда температура сбросного тепла низкая.
- о Временное колебание теплопроизводительности и годовой выработки: сбросное тепло из систем с постоянной теплопроизводительностью и возобновляемыми источниками для базовой тепловой нагрузки будет легче интегрировать в систему РТХС, чем, например, сбросное тепло из систем кондиционирования воздуха, которые генерируют избыточное тепло в основном в летний период.
- о Экологическая устойчивость ресурса: запасы некоторых источников могут сокращаться или вовсе исчезнуть со временем. Эта проблема касается геотермальной энергии, но в основном сбросного тепла. Как долго будет доступен тепловой потенциал? Например, некоторые центры обработки данных могут функционировать лишь несколько лет. В таком случае важно согласовать с оператором длительность поставок тепла по контракту.

«Распределённые источники возобновляемой энергии и сбросного тепла требуют наличия районных энергосетей, зачастую с низкотемпературными характеристиками.»

Геотермальная энергия

Геотермальную энергию для целей РТХС можно получать из глубоких скважин, пробуренных для извлечения тепла, содержащегося в гидротермических резервуарах, а также из неглубоких скважин, в которых тепло извлекается из грунтовых вод или неглубокого слоя почвы / породы. В регионах, имеющих разведанные геотермальные ресурсы, стоимость поисково-разведочных работ может быть значительно минимизирована с помощью уже имеющихся данных. Это справедливо даже в регионах, где выполнялась добыча углеводородов, но геотермальные ресурсы освоены в малой степени. Используя данные, полученные в результате разведки и добычи углеводородов, можно сократить стандартные издержки на разведку геотермальных источников. Такой случай имел место в регионе Иль-де-Франс (Франция), недалеко от Парижа: благодаря старым результатам бурения разведочных нефтяных скважин французское государственное учреждение по геотермальной энергии выпустило точную общедоступную карту слоёв в геологическом разрезе и выполнило измерения температурных градиентов. Кроме того, следует исследовать возможности комбинированного производства (или возможность использования теплообменников в бездействующих скважинах (Hickson *et al.*, 2020b) в качестве возможных более дешёвых альтернатив в районах, где простаивающие скважины расположены вблизи возможного спроса на тепло. Также можно рассмотреть вопрос использования сбросного тепла из существующих ГеТЭС для РТХС в процессе комбинированного производства тепла и электроэнергии.

Для лиц, принимающих решения на местном и общегосударственном уровнях, было разработано несколько инструментов, помогающих планировать использование геотермального потенциала. Некоторые из этих инструментов, например, географические информационные онлайн-системы (ГИС), используются для оценки потенциала геотермального ресурса на основе имеющихся данных. Они также используются для оценки потенциального задействования ресурса путём определения других значимых параметров, например, самых подходящих технологий, существующих центров сосредоточения населения, экономической приемлемости и имеющейся опорной инфраструктуры, например, сетей районного теплоснабжения. Во вставке 7 приводятся несколько примеров доступных инструментов, облегчающих принятие решений по использованию геотермальных ресурсов.

На уровне проекта разведка и подтверждение существования геотермального ресурса может быть сложной технической и капиталозатратной задачей. Разведка геотермальных источников подразумевает установление наличия подходящего геотермального ресурса в подземных пластах, определение его физической протяжённости, количественное определение его энергетического эквивалента и описание его химических свойств. Эту деятельность можно осуществлять на общегосударственном или региональном уровнях либо на уровне резервуара или проекта. К стандартным способам определения наличия геотермального ресурса относятся геологическое картирование, геофизические измерения (например, таких параметров, как сопротивление, удельный вес и сейсмические характеристики), геохимический анализ и термометрия.

Полученные с помощью этих методов данные используются для выводов о геотермических условиях в подземных пластах, разработки геотермической концептуальной модели и оценки ресурсного потенциала, после чего выполняются буровые работы. У муниципалитетов может не быть технических возможностей для осуществления таких задач, поэтому необходимо предусмотреть привлечение способных и эффективных партнёров как для определения технического потенциала, так и для чёткого разъяснения рисков и возможностей лицам, принимающим решения, гражданскому обществу и гражданам. Иногда специальными знаниями, необходимыми для выполнения поисково-разведочных работ, располагают геологические службы на уровне региона / штата или страны в целом.

Однако геотермальные данные можно получить и проанализировать с помощью программ технической помощи, предлагаемых регионами / штатами, государственными или международными агентствами. Такие программы содержат специальные знания, необходимые для анализа геотермальных данных в целях оценки ресурсов, а также содействия передаче технологий. Кроме того, в *Руководстве по передовой практике проведения разведки геотермальных ресурсов (Geothermal Exploration Best Practice Guide)*, разработанном Международной геотермальной ассоциацией, предлагаются наиболее подходящие инструменты и методы, которые разработчики геотермальных месторождений могут использовать для определения местоположения, оценки потенциала и прогнозирования добычных характеристик геотермальных ресурсов (МГА и МФК, 2014).



ВСТАВКА 7. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

[www.darlinge.eu/#:~:text=Welcome%20to%20the%20Danube%20Region%20Geothermal%20Information%20Platform%20\(DRGIP\)&text=DRGIP%20has%20two%20main%20parts.information%20on%20some%20selected%20topics](http://www.darlinge.eu/#:~:text=Welcome%20to%20the%20Danube%20Region%20Geothermal%20Information%20Platform%20(DRGIP)&text=DRGIP%20has%20two%20main%20parts.information%20on%20some%20selected%20topics).

- Региональная платформа геотермальной информации Придунайского региона (DRGIP). В рамках проекта DARLINGe была разработана методика исследования геотермальных ресурсов в шести странах Придунайского региона (Боснии и Герцеговине, Хорватии, Венгрии, Румынии, Сербии и Словении). Страны-партнёры предоставили для проекта геотермальные данные, которые различались в части содержания, формата, плотности и уровня знаний. Эти данные были использованы для определения обобщённого регионального геологического строения Среднедунайской низменности, которая сформировалась в результате расширения коры и позднее была заполнена осадочным материалом. Гидротермальная система, образованная трещинами в коренной породе и в осадочных слоях, а также геотермальные условия характеризуются положительным температурным градиентом, в среднем составляющим примерно 45 °С/км. Также была разработана концептуальная модель Среднедунайской низменности, в которой определялась литология и пористость верхних осадочных слоёв и коренной породы, распределение температур подпочвенного слоя и протяжённость резервуара. Опираясь на эту информацию, на региональном уровне была выполнена оценка геотермальных ресурсов в этом регионе, площадь которого составляет около 100 000 км² (Nador, A. et. al, 2019).
- База данных скважин, пробурённых в Женеве. Компания, выполняющая бурение скважины, обязана зарегистрировать характеристики подземных структур в соответствующем органе.
www.etat.ge.ch/geoportal/pro/?mapresources=GEOHERMIE%2CGEOLOGIEGEOMOL%2CGEOLOGIE&hidden=GEOHERMIE%2CGEOLOGIE_GEOMOL
- План действий по развитию районного теплоснабжения. В Венгрии в рамках Национальной энергетической стратегии в Плане действий по развитию районного теплоснабжения была выполнена оценка потенциала геотермального районного теплоснабжения. Поскольку акцент был сделан на использовании геотермальных ресурсов, План действий включает в себя два перечня с потенциальными участками для освоения: в первый перечень вошли населённые пункты с существующими системами районного теплоснабжения, где используемый источник тепла можно заменить геотермальной энергией. Во втором перечислены места, где геотермальная энергия удовлетворяет спрос на тепло; поэтому такие места являются приоритетными для разработки систем районного теплоснабжения на основе геотермальной энергии. Хотя эти перечни являются результатом предварительного исследования, их можно использовать в качестве руководства для дальнейшей оценки потенциала региона.
- Интерактивный просмотрщик и веб-сервисы Угольной службы (Coal Authority) – веб-карта, составленная Британской геологической службой и Угольной службой и отображающая места расположения заброшенных шахт и их температурные градиенты.
<https://mapapps2.bgs.ac.uk/coalauthority/home.html>

ВСТАВКА 8. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ

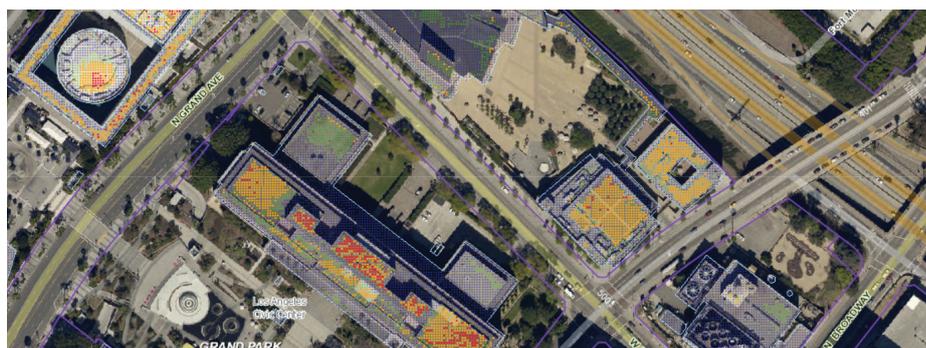
- Данные о солнечной радиации доступны в программном обеспечении Meteornorm.
<https://meteonorm.com/en/>
- Онлайн-платформа Фотоэлектрической геоинформационной системы (PV GIS) содержит данные о солнечной радиации, которые можно использовать для оценки солнечных тепловых установок. Хотя данная платформа создана для фотоэлектрических систем, она также позволяет рассчитать данные для солнечной радиации на наклонных поверхностях.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Национальные солнечные карты, например, разработанные национальными метеорологическими институтами, можно использовать в качестве оценочных инструментов. Хорошим примером служат данные, предоставляемые Австралийским метеорологическим бюро.
www.bom.gov.au/climate/data-services/solar/index.shtml
- Разработанный агентством IRENA Мировой атлас возобновляемой энергии размещён на веб-платформе и содержит карты для различных источников энергии, позволяя пользователям увидеть карты ресурсов для различных мест, включая карты распределения солнечной радиации.
<https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#gallery>
- Ресурс Power Data Access Viewer – сетевое картографическое приложение с инструментами для визуализации, подмножества данных и картографирования, предлагаемое Исследовательским центром Лэнгли (Langley Research Center) Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США.
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Солнечная тепловая энергия

Для оценки возможности использования районного теплоснабжения (и (или) холодоснабжения) на основе солнечной энергии прежде всего необходимо рассмотреть такой параметр, как наличие солнечного ресурса. Такие данные можно получить с помощью различных инструментов и программного обеспечения. Некоторые из них представлены во вставке 8. Организация, выполняющая проектирование и монтаж, может оценить энергию, доступную для использования в таких районах, и определить, какую технологию лучше всего использовать для монтажа. Необходимо определить места, доступные для размещения коллекторов (и хранилищ). Можно рассмотреть два типа монтажа коллекторов: на крышах и на земле. Самым экономным вариантом обычно является наземный монтаж коллекторов при условии невысоких цен на землю.

Кроме того, длина трубопровода до получателя (получателей) тепла должна быть экономически рациональной для сохранения низких издержек (Schmidt and Miedaner, 2012). В случае монтажа солнечных коллекторов на крышах можно разработать соответствующие солнечные кадастры на общегосударственном, региональном и местном уровнях. Это онлайн-порталы, представляющие потенциал солнечной энергии на крышах зданий городов или муниципалитетов. С их помощью можно определить пригодность отдельных зданий для установки солнечных систем. Например, на солнечной карте округа Лос-Анджелеса указана потенциальная мощность солнечных систем на крышах зданий в округе Лос-Анджелеса (Калифорния), а также места размещения существующих солнечных установок и компаний-поставщиков солнечной энергии (рисунок 25).

Рисунок 25. Приложение «Карта солнечных панелей на крышах» для округа Лос-Анджелеса (США)



Источник: округ Лос-Анджелес (без даты); <https://apps.gis.lacounty.gov/solar/m/?viewer=solarmap>

Сбросное тепло

Потенциал сбросного тепла для РТХС зависит от спроса на тепло и расположения источников сбросного тепла. Исследование примеров в Дании с определением количества сбросного тепла на одну производственную установку в сочетании с отраслевыми температурными профилями и пространственным анализом зданий показало, что потенциал сбросного тепла нестабилен. Более конкретно, этот потенциал высок в индустриальных регионах, расположенных рядом с городами среднего размера (Bühler *et al.*, 2017).

Предполагается, что такая же ситуация имеет место в других странах, где сбросное тепло более доступно вблизи промышленных комплексов, крупных зданий или другой инфраструктуры.

К методам, используемым для оценки такого потенциала, относятся исследования, включающие анкетирование, отчёты и базы данных, а также оценки, выполняемые по принципу «сверху вниз», «снизу вверх» или комбинированным способом. Некоторые доступные исследования и инструменты представлены во вставке 9.

ВСТАВКА 9. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ СБРОСНОГО ТЕПЛА

- Различные исследования, проводимые для сбора данных о промышленном сбросном (или избыточном) тепле, а также оценка потенциала такого тепла на уровне страны и для каждого отдельного сектора могут применяться для поддержания потребности в дальнейшем использовании избыточного тепла и для адаптации стратегических программ на общегосударственном или региональном уровне. Однако в них не хватает местных данных, которые крайне важны для определения реалистичных / практически осуществимых сценариев по использованию избыточного тепла в РТХС (Brückner *et al.*, 2014; Miró, Brückner and Cabeza, 2015; Paparotrou *et al.*, 2018).
- В рамках финансируемого ЕС проекта «Сбросное тепло» разработано руководство для оценки потенциала сбросного тепла, а также комплекс инструментов по инвестированию, финансированию и разрешениям.
www.waste-heat.eu/
- В рамках финансируемого ЕС проекта ReUseHeat была проведена оценка потенциала доступного избыточного тепла в Европе из четырёх источников: центров обработки данных, станций метро, зданий обслуживающего сектора и станций по очистке сточных вод.
www.reuseheat.eu/
- В Пан-Европейском тепловом атласе (Peta 4.3), разработанном в рамках финансируемого ЕС проекта Heat Roadmap Europe, даются пространственные данные об источниках избыточного тепла и регионах с синергическими взаимосвязями в секторе теплоснабжения.
<https://heatroadmap.eu/peta4/>
- Инструменты и программное обеспечение, предложенные Управлением по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии Департамента энергетики США.
www.energy.gov/eere/amo/articles/waste-heat-recovery-resource-page
- В рамках проекта Memphis предоставляется инструмент для картирования и оценки потенциала сбросного тепла из различных источников путём использования общедоступных данных. Этот инструмент особенно необходим для идентификации меньших по объёму и низкопотенциальных источников сбросного тепла.
<http://blogs.hawk-hhg.de/memphis/>
и
<http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/memphis/>
- В рамках проекта HotCity потенциал сбросного тепла определяется с помощью подхода геймификации, при котором граждане собирают данные для картирования источников сбросного тепла путём фотографирования, например, дымовых труб и систем вторичного охлаждения, а также проведения интернет-исследований, выполнения обследований на местах и использования онлайн-карт и т.д.
<https://cities.ait.ac.at/projects/hotcity/>
(на немецком языке)

В.3.3 Количественное определение и оценка потенциала теплосбережения по сравнению с экологически устойчивым снабжением

При выполнении анализа в рамках СПТХС важно учитывать фактор энергосбережения. Экономия 1 кВт-ч энергии вполне может обойтись дешевле, чем поставка такого же количества энергии. Одним из подходов является оценка предельных затрат для различных мер энергосбережения и реализация тех мер, которые обходятся дешевле, чем затраты на экологически устойчивое энергоснабжение. Такой подход представлен на рисунке 26. Он может применяться на общегосударственном, региональном или местном уровне.

Меры по обеспечению энергоэффективности воздействуют на цепочку поставок (см. рисунок 27). Снижение спроса на энергию может также привести к сокращению необходимых мощностей на стороне распределения и генерации в энергетической системе. Эта очень важная концепция должна быть включена в проекты новых планируемых районных энергетических систем или проекты модернизации, так как новая инфраструктура может быть адаптирована к новым уровням спроса. Кроме того, снижение спроса на энергию может означать возможность использования большей доли возобновляемой энергии и перехода от третьего к четвертому поколению районной энергетики.

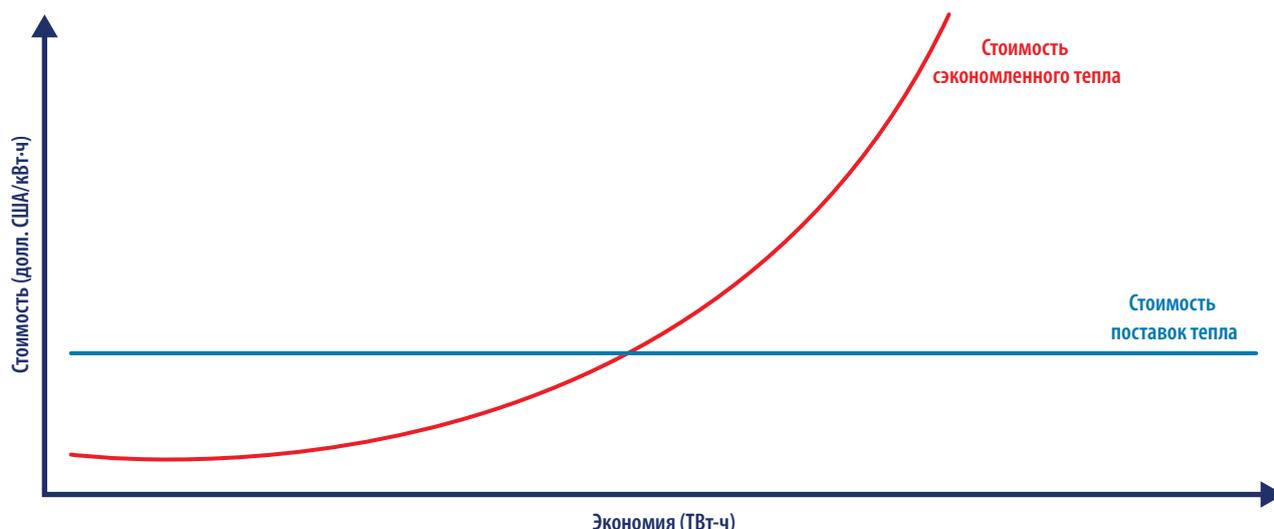
Меры по модернизации зданий обычно реализуются в течение очень длительного периода времени ввиду требуемых для этого высоких начальных инвестиций, и не всегда экономически целесообразно откладывать осуществление проекта районной энергетики до тех пор, пока не будет

реализован определённый потенциал энергоэффективности. Для осуществления энергосбережения существуют определённые перспективные меры (например, использование систем управления обогревом и тепловых счётчиков), позволяющие внедрить индивидуальную оплату на основе потребления. Это эффективный инструмент для привлечения потребителей.

Даже с введением мер по обеспечению энергоэффективности РТХС всё ещё остаётся достижимой целью. И для существующих, и для новых сетей энергоэффективные здания могут эффективно сгладить пики спроса и повысить эффективность и техническую осуществимость районной энергосети в целом. Для новых или модернизированных энергоэффективных зданий можно спроектировать новую низкотемпературную сеть, обеспечив возможность подключения дополнительных потребителей к сети и уменьшения пикового спроса в существующей сети. Относительно небольшое количество часов с пиковым спросом в год часто связано с самыми высокими эксплуатационными и (или) капитальными затратами в системе районного теплоснабжения. Это объясняется тем, что необходимая максимальная выработка тепловой энергии приходится всего на несколько часов полной нагрузки в год (Trier *et al.*, 2018).

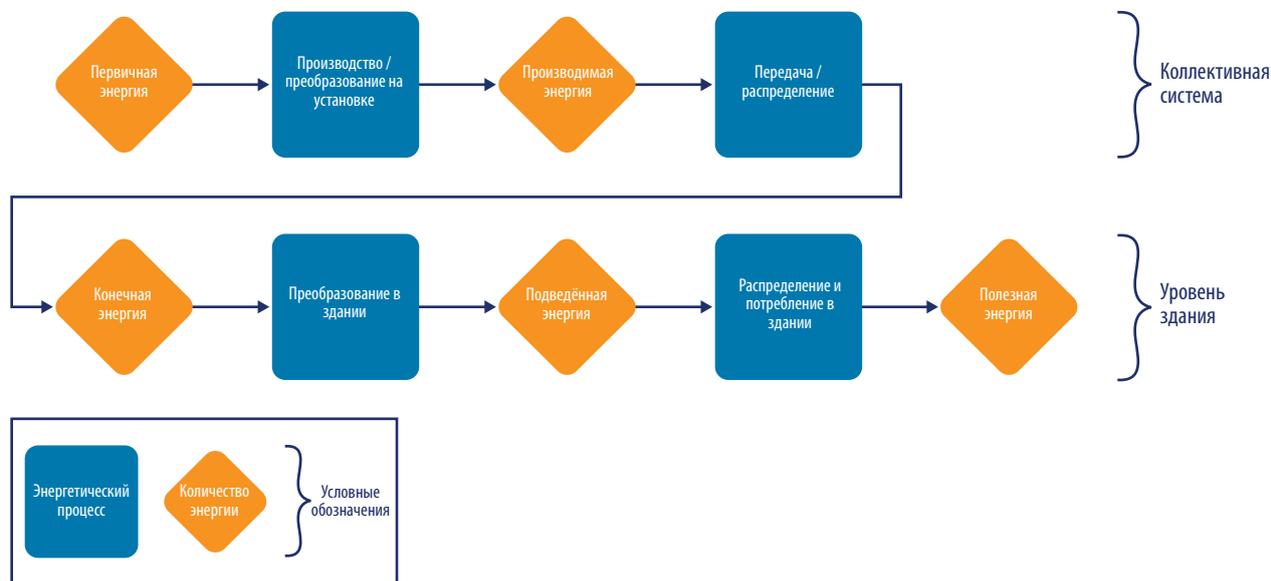
Эффективная и исправно функционирующая система теплоснабжения будет способствовать интеграции низкотемпературных источников энергии. Для таких видов систем теплоснабжения требуются хорошо спроектированные и управляемые сети районного теплоснабжения, а также исправные соединения с потребителями и функциональные внутрипроизводственные установки для приготовления БГВ и отопления помещений (Olsen, 2014).

Рисунок 26. Подход к оценке экономически обоснованного уровня энергосбережения



На основе публикации: Paardekooper *et al.* (2018)

Рисунок 27. Производственно-сбытовая цепочка создания энергоэффективности от момента получения первичной энергии до момента выработки полезной энергии



Источник: Mathiesen et al. (2019)

Переход к системе районного теплоснабжения нового поколения требует оптимизации элементов системы для обеспечения её совместимости с существующим фондом зданий, а также соответствующего проектирования сетей и соединений с потребителями. В новых районах застройки зданиями с низким потреблением энергии особенно целесообразно развивать системы районного теплоснабжения четвёртого поколения. Однако в городах с существующей районной энергетической системой это может означать необходимость адаптации установок и потенциальной модернизации зданий.

Можно прогнозировать три основных сценария: модернизация существующей районной энергетической системы, разработка новой районной энергетической системы в существующем районе и новая районная энергетическая система в новом районе застройки. Тем не менее, эти сценарии имеют ряд общих характеристик (см. таблицу 4).

Как показано в таблице 4, модернизация существующей системы районного теплоснабжения связана с решением самых сложных задач, так как помещения и сеть были спроектированы для совсем других условий. В действительности легче всего реализовать схемы для новых городских районов, так как можно запланировать эксплуатацию и сети, и внутренних систем потребителей при низких температурах. Новая сеть в существующем районе будет промежуточным случаем, так как здесь возможно спроектировать сеть для низких температур, но будет более проблематичным изменить установки потребителей в существующих зданиях.

В разделе 4 части В представлены основные элементы, которые необходимо учитывать при оценке и принятии мер по улучшению совместимости существующих зданий и сетей низкотемпературной подачи.

Таблица 4. Сценарии развития районного теплоснабжения нового поколения и необходимые потенциальные изменения элементов системы

	СУЩЕСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА РАЙОННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	НОВАЯ СИСТЕМА РАЙОННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
Существующий район	Адаптация соединений с потребителями, подстанций и внутрипроизводственных установок для отопления помещений и подачи БГВ. Потенциальная необходимость модернизации сети, если сеть не слишком большая.	Адаптация соединений с потребителями, подстанций и оборудования для отопления помещений и подачи БГВ.
Новый район застройки	Низкая температура подачи особенно подходит для новых зданий с низким энергопотреблением с низкотемпературными отопительными установками, например, с системой подогрева пола или радиаторами с низкой температурой подачи.	

В.3.4 Создание сценариев теплоснабжения

Цель оценки спроса, предложения и потенциала энергосбережения – создать сценарий, в котором соблюдаются данные ограничения и используются местные доступные ресурсы. При создании данных сценариев важно помнить о нескольких элементах:

- область применения анализа энергетических систем;
- подход анализа энергетических систем;
- временной интервал анализа энергетических систем.

Важно учитывать область применения, так как тепло- и холодоснабжение – это не изолированные части системы, они должны рассматриваться в связи с другими областями энергетики, такими как электро- или газоснабжение или потребности транспортного сектора. Следует рассматривать потенциал энергоснабжения, учитывая все виды спроса на энергию и будущую конкуренцию за ограниченные ресурсы. Во вставке 10 представлены некоторые инструменты планирования, оценённые в рамках проекта IEA DHC Annex TS1, включая разработанный инструмент упрощённого планирования для РТХС.

Крайне необходимо учитывать точку зрения аналитика, так как разные подходы могут давать разные результаты. Важно различать анализ с точки зрения общества и анализ с точки зрения бизнеса, так как подход с позиций бизнеса, основанный исключительно на рыночных ценах, не учитывает все актуальные для общества аспекты.

При подходе с позиций общества следует учитывать такие аспекты, как изменение климата, загрязнение воздуха и создание рабочих мест (Djørgen *et al.*, 2019b). Такие аспекты можно обозначить как внешние факторы. Оценка и количественное определение внешних факторов могут оказаться сложной задачей (особенно в части денежной оценки) и, как следует из определения, внешние факторы не включаются в рыночные цены, которые зачастую недостаточны для тщательного анализа социально-экономического потенциала.

Включение всех внешних факторов возможно только в теории, но не на практике. На такие оценки будут, вероятно, влиять местные вопросы, способы учёта, срочность воздействий и др. Такую проблему можно решать двумя способами:

- Допущения в оценках должны быть ясными и доступными. Это обеспечит прозрачность и возможность ведения демократических дебатов касательно их обоснованности. Это будет невозможно в случае неясной формулировки таких допущений.
- Технические и экономические оценки необходимо выполнять в несколько этапов. Это также подчеркнёт важность внешних факторов и покажет, в каких областях анализа они оказывают влияние.

В рамках социально-экономической оценки следует оценить потенциальные варианты теплоснабжения с точки зрения общественных интересов, а также предоставить руководящие указания для местных и общегосударственных органов власти в отношении того, какие технические сценарии соответствуют целям и области применения, заданным в СПТХС (см. раздел 1 части В). Выполненную социально-экономическую оценку потенциальных сценариев для теплоснабжения можно затем сравнить с коммерческо-экономической оценкой. Если эти две оценки совпадают и дают схожие результаты, инвесторы могут начать инвестировать в сценарии, которые приемлемы и для общества. Если оценки не согласуются и дают различные результаты (что встречается довольно часто), лица, ответственные за разработку политики, должны определить, где возникают конфликты и почему две аналитические оценки не приводят к одному и тому же заключению. Это, возможно, укажет на внешние факторы, которые необходимо интернализировать в рыночные цены, или другие барьеры, препятствующие развёртыванию новых устойчивых технологий.

«Сценарии теплоснабжения отражают лежащую в их основе аналитическую область применения и временные рамки.»

ВСТАВКА 10. ИНСТРУМЕНТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

- Модели энергетической системы имитируют движение энергии от её первичного источника до момента её преобразования в полезную энергию и передачи конечному пользователю.

EnergyPLAN: широко используемая модель для имитации работы различных секторов в национальных энергетических системах.

<https://energyplan.eu>

EnergyPRO: инструмент для анализа энергетических проектов с экологической и финансовой точки зрения, который может упрощать принятие решений при разработке новых энергетических установок.

www.emd.dk/energypro/

KOPTI: модель для оценки выработки энергии в месте, где планируется внедрить районное теплоснабжение.

TIMES Local: модель, предлагающая решения для подготовки долгосрочных энергетических проектов. Она помогает экономически эффективно планировать экологически устойчивые энергетические системы.

<https://iea-etsap.org/>

- Термодинамическое моделирование тепловых сетей, их гидравлических и термодинамических характеристик, а также различных уровней температуры возобновляемых источников энергии, которые необходимы для подачи в тепловую сеть, дополняет моделирование энергетических систем.

Termis: инструмент для моделирования работы системы районного теплоснабжения путём имитации рабочих условий на основе данных сети в режиме реального времени.

<https://it.kelvin.pl/en/termis-district-heating-network-management-system>

- Среди других полезных инструментов – **District Energy Concept Adviser**, с помощью которого можно сравнивать различные энергетические концепции

(например, местное районное теплоснабжение и конденсаторные газовые котлы); **EME Forecast** – модель временного ряда, с помощью которой можно прогнозировать тепловые и электроэнергетические нагрузки, а также **Exergy Pass Online** – аналитический инструмент для определения эксергии потребляемых зданиями ресурсов.

- В рамках проекта IEA DHC Annex TS1 был разработан инструмент **Easy District Analysis (инструмент EDA)**. Инструмент EDA основан на оценке 12 инструментов и предназначен для использования градостроителями и коммунальными компаниями. Его можно использовать для анализа энергетических, экономических и экологических аспектов низкотемпературных энергетических систем для сравнения с другими системами теплоснабжения. Инструмент EDA также можно использовать для оценки целых районов.

- **Thermos** – разрабатываемый в настоящее время инструмент, объединяющий данные о самых современных энергетических системах, а также модели в удобном для использования картографическом общедоступном сетевом приложении.

www.thermos-project.eu/

В рамках финансируемого ЕС проекта **INDIGO** был разработан общедоступный автономный инструмент планирования для оценки эффективности, преимуществ и потенциала системы районного холодоснабжения. Инструмент позволяет выполнить анализ системы холодоснабжения для определённого района, состоящего из группы зданий.

www.indigo-project.eu/

- Инструмент **INDIGO Planning tool – IndPT:** модель для оценки финансового и экологического воздействия систем районного холодоснабжения.

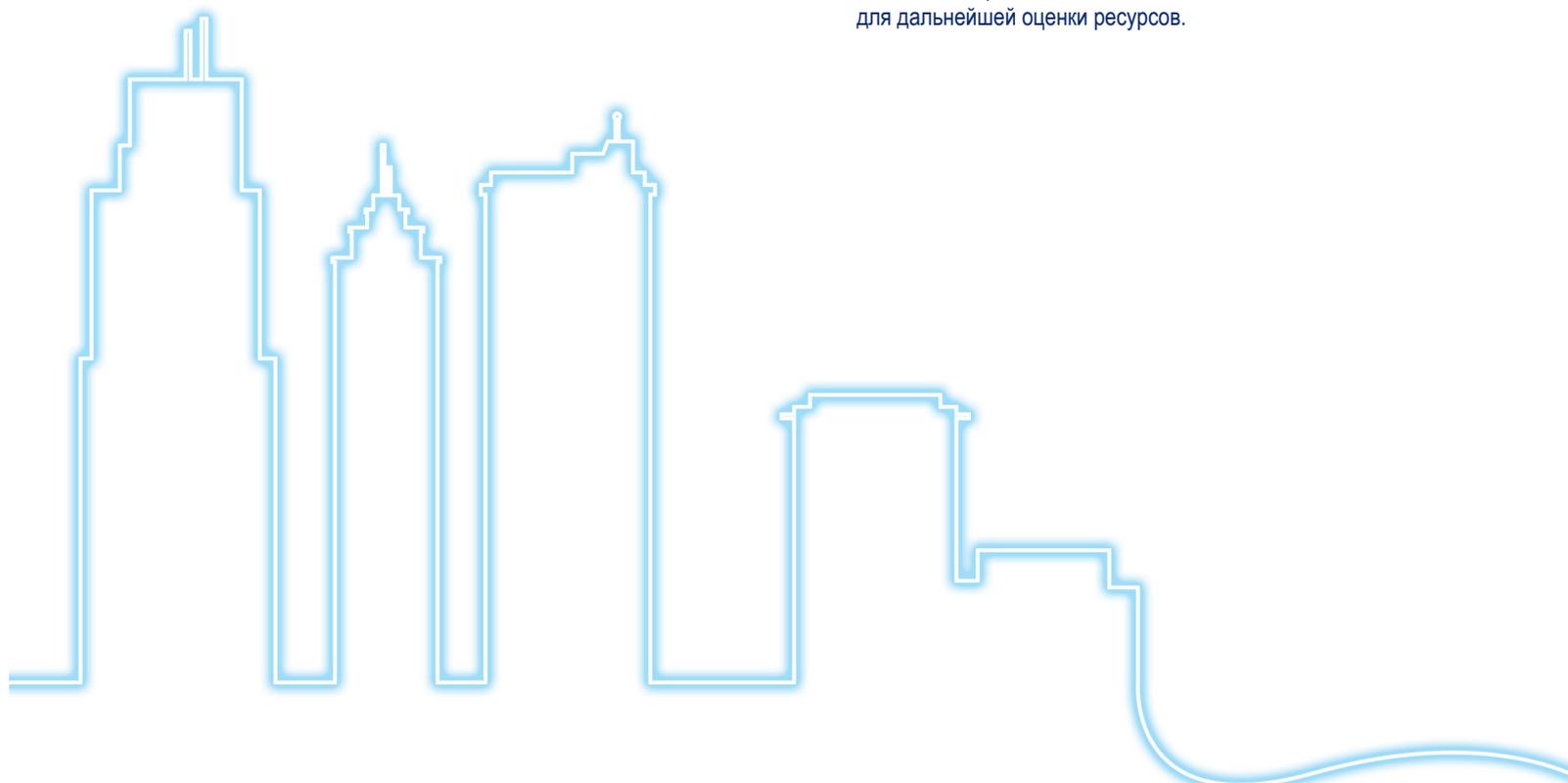
<https://zenodo.org/record/3891384>

Краткий обзор проблем и рекомендаций для оценки и картирования спроса на отопление (и охлаждение) и энергетических ресурсов

На этом этапе изложена методика проведения технической оценки отопления и охлаждения. Получение информации о спросе, предложении и потенциальной экономии, а также оценка баланса между этими элементами очень важны. Эти действия могут быть предприняты властями для содействия развитию районных энергетических систем.

→ Измерьте фактический спрос на отопление и охлаждение, чтобы получить информацию о пространственном и временном распределении потребления. Это создаст уверенность для поддержки инвестиций в проекты районной энергетики с высокими капитальными затратами и позволит проводить индивидуальные измерения и выставление счетов, что стимулирует снижение энергопотребления (особенно в пиковые часы или времена года) и участие потребителей. Если фактические измерения недоступны, смоделируйте или оцените спрос, чтобы предоставить исходные данные для принятия решений. Существуют и должны продвигаться инструменты, такие как ГИС, разработанные для помощи в оценке взаимосвязи между спросом на тепло (включая уровни температуры), доступной инфраструктурой и тепловыми ресурсами; если же их нет – то их стоит создать.

- Идентифицируйте и проведите количественную оценку ресурсов возобновляемой энергии, доступных на местном уровне для отопления и охлаждения. Доступно несколько инструментов, которые были разработаны для количественной оценки местных энергетических ресурсов и поддержки принятия решений путём сопоставления ресурсов со спросом.
- Прежде чем создавать новую инфраструктуру энергоснабжения, рассмотрите потенциал энергосбережения существующей энергосистемы. Если реализация мер по повышению энергоэффективности имеет более низкие предельные издержки, чем создание новых мощностей поставок, то следует реализовать этот вариант. Однако меры по повышению энергоэффективности не заменяют собой системы РТХС, они дополняют друг друга в долгосрочной перспективе.
- Принимайте решение о том, какие технические сценарии отопления и охлаждения стоит реализовать, исходя не только из коммерческо-экономических соображений, но и, что важнее, из социально-экономических соображений. Это обеспечит охват проектами более широких социальных целей, таких как декарбонизация, создание рабочих мест и снижение загрязнения воздуха. Для источников энергии, таких как геотермальные источники, которые являются узкоспециализированными и для которых у сотрудников местных властей может отсутствовать опыт в оценке и количественном определении, используйте передовые отраслевые методы и услуги технической помощи специализированных компаний или учреждений для анализа данных и оценки ресурсного потенциала, а также для передачи навыков и технологий, необходимых для дальнейшей оценки ресурсов.



В.4 Интеграция низкотемпературного снабжения в существующие здания и сети районного теплоснабжения

С технической точки зрения на интеграцию новых источников тепла в существующие районные энергетические системы в значительной степени влияет разница температур между расчётной температурой рабочей системы и источником тепла. Например, для интеграции средне- и высокотемпературных геотермальных ресурсов в существующие системы и здания нет препятствий. Однако могут потребоваться корректировки, если температура источника тепла ниже, чем рабочая температура сети.

Технические проблемы, возникающие при развёртывании системы районного теплоснабжения четвёртого поколения (см. раздел 1.2 части А), которая работает с более низкими температурами распределения по сравнению с системами предыдущих поколений (более 70 °С в системах первого-третьего поколения), могут быть связаны либо с трубопроводной сетью, либо с фондом зданий, и они будут зависеть от предполагаемой области применения (Volkova, Mašatin and Siirde, 2018).

Переход к системе районного теплоснабжения нового поколения требует, прежде всего, анализа совместимости с подключениями потребителей. Кроме того, необходимы учёт фонда зданий, надлежащее проектирование сети и стратегия модернизации зданий, согласованные со стратегией перехода к низкотемпературному и экологически устойчивому снабжению. Всё это будет работать, чтобы обеспечить экономически эффективную декарбонизацию и избежать эффекта укоренения технологий, несовместимых с долгосрочными целями (например, конденсаторных газовых котлов). Эта оценка также даёт возможность рассмотреть, как интегрировать охлаждение в существующую систему районного теплоснабжения.

Технические проблемы, которые необходимо учитывать для оценки такой совместимости, а также возможные решения описаны в следующих разделах.

В.4.1 Оценка совместимости с существующим фондом зданий

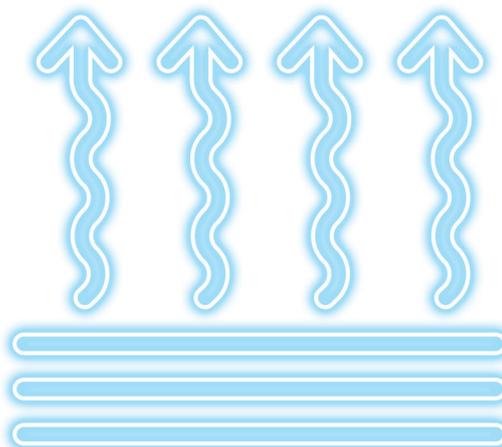
Подстанции районного теплоснабжения

Подстанции районного теплоснабжения (или станции по передаче энергии) соединяют сеть районного теплоснабжения с установками потребителей. Функция подстанций заключается в передаче тепловой энергии между сетью и установками путём теплоснабжения системы здания и приготовления БГВ.

Исправная работа подстанций принципиально важна для достижения низких температур в системе, но здесь часто возникают неисправности. Сбои в системе вынуждают операторов систем районного теплоснабжения поддерживать температуры подачи на более высоких, чем необходимо, уровнях, в результате чего температуры обратного потока также превышают необходимые показатели. Устранение таких ошибок должно стать приоритетной задачей, чтобы иметь возможность понизить температуры. Для быстрого обнаружения температурных отклонений необходимо использовать автоматические измерительные системы, позволяющие непрерывно контролировать подстанции (Frederiksen and Werner, 2013; Gadd and Werner, 2014). Ещё одним преимуществом мониторинга подстанций является возможность оплаты на основе потребления (Всемирный банк 2012; Европейский банк реконструкции и развития, 2018).

По сравнению с централизованными котлами, работающими на ископаемом топливе, важным преимуществом подстанций районного теплоснабжения является то, что они требуют гораздо меньше пространства в зданиях, как показано на фотографии 5.

Существуют различные варианты подстанций районного теплоснабжения (см., например, Frederiksen and Werner, 2013). Однако в настоящем докладе будут рассмотрены только две самые распространённые категории: с прямыми и опосредованными подключениями, как показано на рисунке 28. Их соответствующие преимущества и недостатки представлены в таблице 5. Очевидно, что системы с прямой подачей можно использовать только при условии использования потребителем водяной системы отопления. В случае воздушных систем отопления, например, в солнечном сообществе Drake Landing в Канаде (Dalla Rosa *et al.*, 2014), применяются только опосредованные соединения.



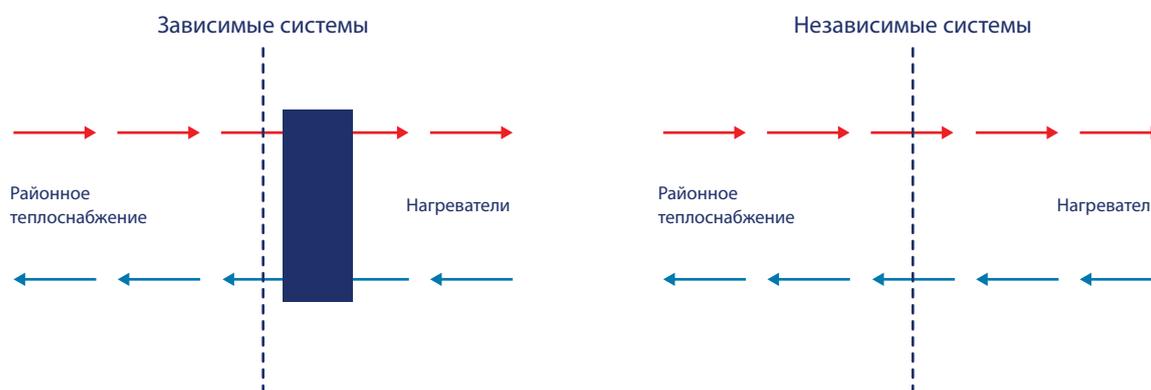
Фотография 5. Газовые котлы в газовой бойлерной (слева) и подстанция в здании в Бельгии (справа)



Источник: Shutterstock

Источник: Luis Sánchez-García

Рисунок 28. Схема систем прямого и опосредованного отопления помещений



Источник: Frederiksen and Werner (2013)

Таблица 5. Преимущества и недостатки независимых и зависимых тепловых подстанций

ТИП ПОДСТАНЦИИ	ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ
Независимые	<ul style="list-style-type: none"> • Могут функционировать при более низких температурах благодаря отсутствию теплообменника и, соответственно, потерь температуры в теплообменнике. • Они достаточно просты и поэтому менее подвержены ошибкам. • Они более экономичны благодаря простой конфигурации. 	<ul style="list-style-type: none"> • Значения давления в сети районного теплоснабжения ограничены максимальным давлением, которое выдерживают системы отопления потребителей. • Утечки могут причинить больше ущерба, так как из сети осуществляется практически бесконечная подача воды.
Зависимые	<ul style="list-style-type: none"> • Между установками районного теплоснабжения и тепловыми установками потребителей проходит чёткая граница. • Возможность применения более высокого давления в сети. • Меньшая вероятность утечки из сети в помещения потребителей. 	<ul style="list-style-type: none"> • Такие подстанции более дорогие вследствие их более сложной конфигурации: для них требуется насос, расширительный резервуар и система управления. • Они более подвержены ошибкам.

Источник: Frederiksen and Werner (2013)

Отопление помещений

Температуры, требуемые для отопления помещений жилых домов и помещений сферы услуг (коммерческого и обслуживающего сектора), зависят от ряда параметров: теплового контура здания, отопительного оборудования, системы управления и поведения потребителей. В случае водяных систем важным параметром также является гидравлическая компенсация. Поэтому для уменьшения температур теплоносителя, подаваемого в отопительную систему здания, потребуется учитывать все эти элементы.

Во-первых, плохо изолированные здания не только потребляют больше энергии для отопления и охлаждения, но также характеризуются более высокими пиковыми нагрузками вследствие их довольно низкой тепловой инерции (Frederiksen and Werner, 2013). Тепловая инерция сильно влияет на мгновенную нагрузку системы, так как в плохо изолированных зданиях энергопотребление увеличивается вскоре после падения наружной температуры, в то время как в хорошо изолированных зданиях спрос на энергию меняется медленнее.

Модернизация фонда зданий может обеспечить сокращение потребностей в энергоснабжении и существенное сокращение пиковых нагрузок. Она также может стимулировать дальнейшее уменьшение пиковых нагрузок благодаря управлению спросом (Pedersen, Hedegaard and Petersen, 2017; Johra, Heiselberg and Dréau, 2019). В последнем случае здание можно предварительно прогреть во избежание пиковых нагрузок, что обеспечивает более низкие температуры в течение всего года. В данном контексте при реализации стратегических программ модернизации зданий лица, ответственные за разработку политики, должны отдавать приоритет плохо изолированным зданиям и крупнейшим потребителям. Подход к модернизации зданий на уровне района, при котором приоритет отдаётся крупным потребителям, например, социальному жилью и общественным зданиям, может также предоставить возможность зарезервировать основной спрос на новую систему районного тепло- и(или) холодоснабжения.

Ещё одним преимуществом снижения тепловой нагрузки после модернизации здания стало бы сокращение температур, требуемых для отопительного оборудования, так как более высокие тепловые нагрузки требуют более высоких температур для тех же генераторов тепла.

Во-вторых, отопительное оборудование может быть спроектировано для высоких температур, доступных при работе на ископаемом топливе, поскольку при более высоких температурах размеры отопительного оборудования могут быть меньше и, соответственно, инвестиционные затраты уменьшаются. Такая проблема может возникнуть независимо от конкретного отопительного оборудования, используемого для обогрева здания, будь то водяная или воздушная система. В любом случае потребуются теплообменники между сетью районного теплоснабжения и внутренним воздухом, например, радиаторы в водяной системе. Например, до 1980-х годов радиаторы в Швеции проектировали для температур 60-80 °C (Frederiksen and Werner, 2013).

Следствием недостаточного размера отопительного оборудования является то, что низкотемпературные жидкости могут использоваться только в более умеренные периоды отопительного сезона (Østergaard and Svendsen, 2016a; Tunzi *et al.*, 2016; Østergaard and Svendsen, 2016b). Правила, разрабатываемые для новых и модернизируемых зданий, должны стимулировать увеличение размеров отопительного оборудования, чтобы можно было использовать жидкости с более низкой температурой. Например, новая, всё ещё обсуждаемая норма для отопительных установок в Испании, предусматривает максимальную температуру подачи 60 °C (Испания, 2020).

Для решения вопроса недостаточных размеров отопительного оборудования можно осуществить ряд действий. К ним относится модернизация, например, вышеупомянутая модернизация зданий, которая обеспечит более низкие тепловые нагрузки и, следовательно, прямо позволит использовать более низкие температуры. Кроме того, изменения в отопительном оборудовании также можно реализовать независимо от того, модернизировано ли здание или нет. И, наконец, изменения можно внести в сами устройства, а также в управляющее оборудование или привычки пользователей, которые рассмотрены ниже.

Система подогрева пола хорошо подходит для низкой температуры подачи (Averfalk and Werner, 2017; Schmidt *et al.*, 2017). Однако для неё требуется значительная модернизация, которая может оказаться чрезмерно затратной, а в случае несоответствия управляющего оборудования температуры обратного потока могут быть выше ожидаемых. Установка радиаторов большего размера может дать почти такие же преимущества низких рабочих температур при более низких затратах. Эти устройства могут работать при весьма низких температурах и также способны возвращать воду районного теплоснабжения при температурах, слегка превышающих комнатную температуру. Однако в отношении радиаторов необходимо сделать оговорку: следует избегать конвекторов и использовать высокие панельные радиаторы, обеспечивающие достаточное охлаждение в воде (Svendsen, Østergaard and Yang, 2017).

Ещё одним вариантом может быть использование воздушного обогрева, так как в этом случае теплоснабжение осуществляется при температурах, слегка превышающих заданную температуру. Тем не менее, при воздушном обогреве нельзя достичь того же уровня комфорта, как при использовании радиаторов или обогрева пола, в связи с другим температурным профилем внутри комнаты (Nilsson, 2003).

Для исправного функционирования системы отопления решающее значение имеет оборудование для управления. Эту функцию должным образом выполняют терморегулирующие клапаны и автоматические балансировочные клапаны. Они регулируют расход теплоносителя через радиатор, обеспечивая необходимую тепловую мощность и таким образом поддерживая заданную температуру в помещении, а также минимизируя температуру обратного потока в систему

районного теплоснабжения (Tunzi *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017). В случае их отсутствия температура в помещении может стать некомфортной – слишком низкой или слишком высокой, а возвратная вода может плохо охлаждаться. Последнее может негативно отразиться на эффективности системы районного теплоснабжения, так как сеть может не справиться с увеличившимся потоком.

Привычки потребителей также могут стать препятствием для развёртывания низкотемпературных систем. Частой проблемой является использование периодов дежурного отопления. Они приводят к снижению потребления энергии, объём которого сильно зависит от теплового контура, но отопительная система испытывает более высокую нагрузку, когда период дежурного отопления заканчивается (Frederiksen and Werner, 2013). Примеры такого типа поведения потребителей можно наблюдать в итальянских сетях районного теплоснабжения (Noussan, Jarre and Poggio, 2017; Manente *et al.*, 2019) или бельгийских домохозяйствах (Jebamalai, Marlein and Laverge, 2020). В этом случае радиаторы требуют более высокие температуры, чем в других ситуациях, в результате чего эффективность и гибкость сети уменьшается (либо возрастают затраты на инфраструктуру для обеспечения желаемой гибкости).

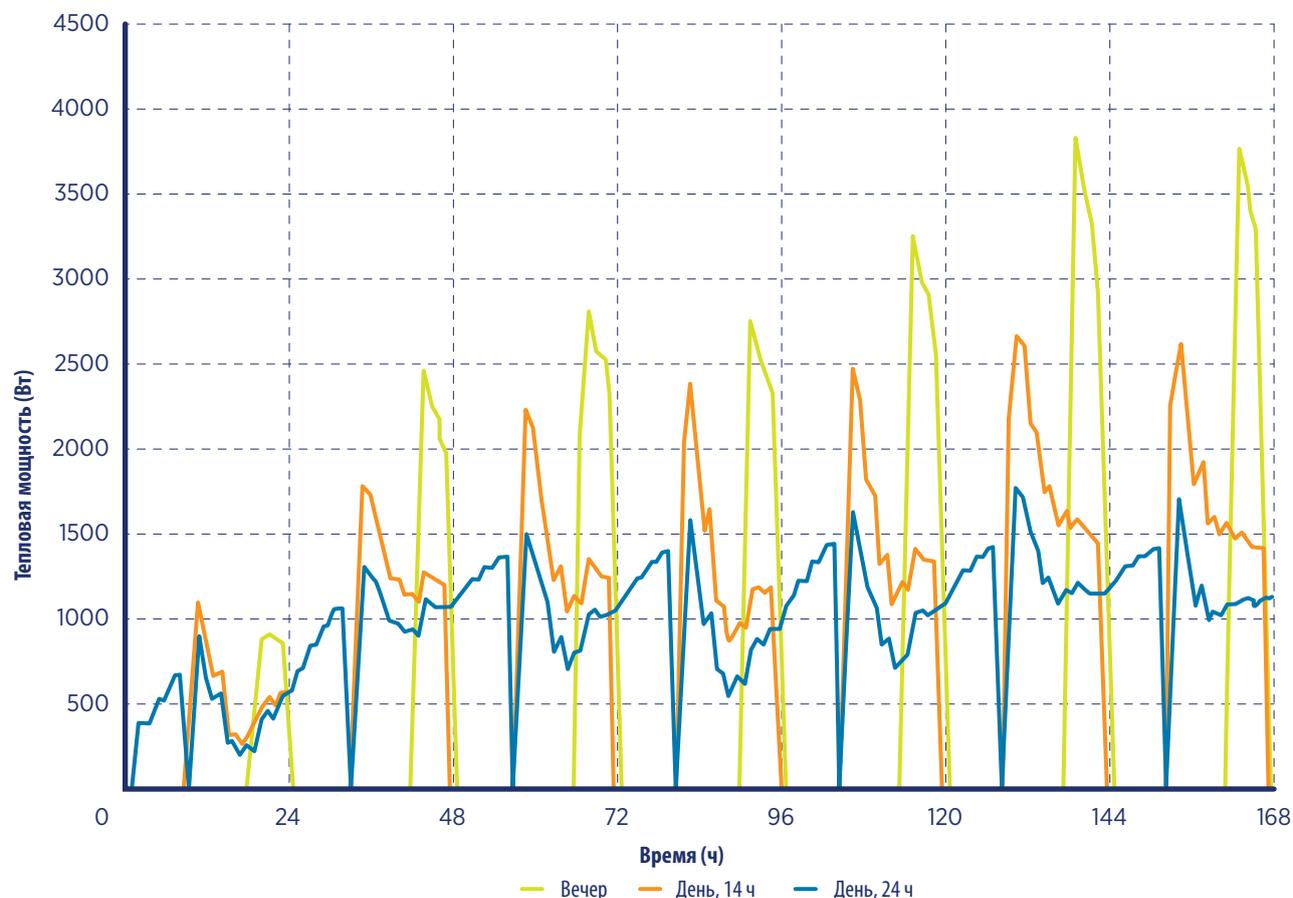
На рисунке 29 представлена тепловая мощность, требуемая для жилых домов с разными графиками отопления, и показано, как тепловая мощность (и таким образом температура) повышается, когда применяется дежурное отопление. Например, согласно вечернему графику, система отопления включена в течение нескольких часов в день (5 часов).

Когда она включается, система не только должна преодолеть тепловые потери, но и обогреть здание. Если система отопления работает в течение более длительных периодов (в режиме 14 и 24 часов), отопительное оборудование производит тепло исключительно для компенсации тепловых потерь.

Город Равне-на-Корошкем в Словении служит примером того, как изменение периодов использования привело к сокращению температур подачи. Город снизил температуру подачи с 130 °C до 80 °C, увеличив количество часов работы систем теплоснабжения.

Кроме того, в системе районного теплоснабжения используется избыточное тепло, которое вырабатывается во время охлаждения дуговой электропечи на расположенном поблизости сталелитейном заводе и которое прежде выпускалось в окружающую среду через градирни. Этот

Рисунок 29. Тепловая мощность, необходимая для плохо изолированной квартиры с различными отопительными графиками



На основе публикации: Frederiksen and Werner (2013)

объём составляет около 40% всего тепла, распределяемого потребителям в городе, и ожидается, что эта доля превысит половину общего спроса на тепло (в том числе с помощью технологии тепловых трубок, используемой для рекуперации тепла из промышленных процессов). В городе Антверпен (Бельгия) оператор системы районного теплоснабжения решил осуществлять теплоснабжение зданий при температуре 70 °С. Обычная температура подачи, обеспечиваемая газовыми котлами до соединения с сетью районного теплоснабжения, составляет 90 °С. Это было достигнуто путём исключения периодов дежурного отопления.

В исследовании была затронута ещё одна проблема – неправильное использование радиаторных термостатических клапанов (РТК). Большинство пользователей игнорируют правильный способ их использования (Liao, Swainson and Dexter, 2005). Как правило, пользователи постоянно меняют заданную температуру, что приводит к плохому охлаждению (и (или) отоплению) и некомфортным условиям. Эту проблему можно решить двумя способами: с помощью электронных РТК, в которых потребитель указывает желаемую температуру в помещении, и терморегуляторов, установленных на выходе потока из радиатора.

Различные описанные выше технические проблемы в основном были проанализированы по отдельности. Тем не менее, между ними имеются важные синергические взаимосвязи, так как усовершенствования в тепловом контуре позволяют снизить температуру радиатора без необходимости принятия каких-либо дальнейших мер.

«Лица, ответственные за разработку политики, должны интегрировать планы модернизации зданий, изменения теплоснабжения и модернизации сети для достижения оптимального уровня производительности.»

Приготовление горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд

Существуют многочисленные формы производства БГВ. Например, на некоторых подстанциях каскадом устанавливается несколько теплообменников для эффективного использования обратного потока в системе теплоснабжения (Frederiksen and Werner, 2013). Для простоты изложения в данном докладе рассматриваются только самые распространённые формы.

Независимо от конкретной формы системы приготовления БГВ можно классифицировать следующим образом: мгновенное приготовление и приготовление с хранением. В первом случае горячая вода производится и потребляется практически одновременно, в то время как во втором случае производство и потребление отделены друг от друга. Две довольно распространённые технологии – это пластинчатые теплообменники для мгновенного приготовления воды и резервуары для приготовления воды с хранением (фотография 6).

В резервуарах вода для районного теплоснабжения обычно циркулирует вдоль внутреннего змеевика для подогрева хранящейся воды, хотя для такой цели также можно использовать внешний пластинчатый теплообменник (Christiansen *et al.*, 2012). На фотографии 6 показаны две подстанции с резервуаром для горячей воды и пластинчатым теплообменником для приготовления БГВ.

В низкотемпературных системах с резервуарами для воды связаны две проблемы. Во-первых, для них требуются высокие температуры (выше 60 °С), чтобы предотвратить размножение бактерий (например, легионеллы), если не используется никакая другая обработка (Yang, 2016). Такое требование препятствует использованию температур ниже 65-70 °С. В то же время обратная вода, выходящая из резервуаров, редко имеет температуру ниже 30 °С (Thorsen and Kristjansson, 2006).

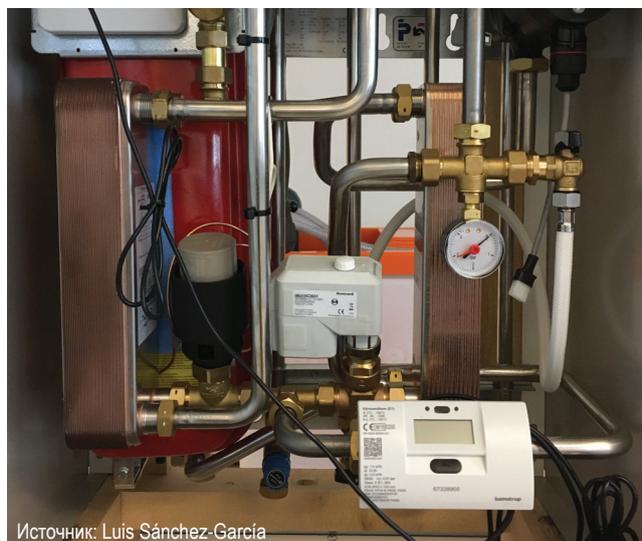
В системе районного энергоснабжения энергия, поставляемая в заданный момент времени, является результатом потока, циркулирующего через сеть, и разницы температур между поступающей и возвратной водой. Для определённого количества энергии действует правило: чем больше разница температур, тем ниже расход теплоносителя, и наоборот. Поэтому крайне важно поддерживать низкую температуру обратного потока, чтобы можно было снизить температуру подачи, не вызывая слишком высокий расход.

Сравнительно высокая температура обратного потока из резервуаров для воды приводит к небольшому изменению температуры в сети районного теплоснабжения. Следовательно, для перекачивания требуется более высокий расход и более крупные насосы при более высоком потреблении электроэнергии (Thorsen and Kristjansson, 2006), что может угрожать способности сети удовлетворять спрос со стороны потребителей во время зимних пиков нагрузки.

Фотография 6. Примеры резервуара для воды (слева) и пластинчатого теплообменника (справа) для приготовления БГВ

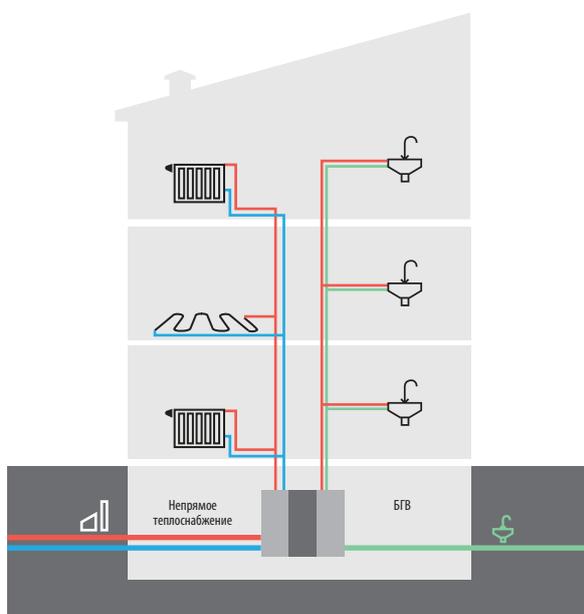


Источник: Shutterstock



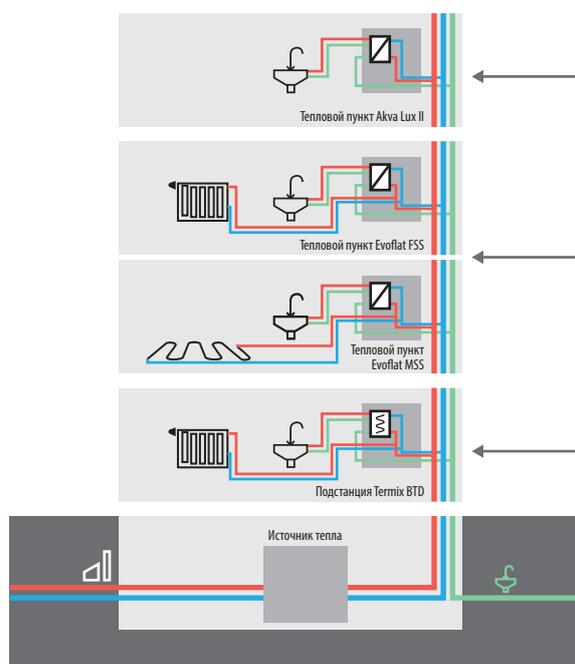
Источник: Luis Sánchez-García

Рисунок 30. Приготовление БГВ на уровне здания (слева) и на уровне квартиры (справа)



Источник: Danfoss (www.danfoss.com/)

Напротив, мгновенное приготовление БГВ хорошо подходит для низкотемпературных сетей, так как пластинчатые теплообменники могут работать при температуре подачи всего лишь 50 °С (при условии, что перекачиваемый объем между подстанцией и краном меньше трёх литров (Brand, 2014)) и одновременно возвращать воду районного теплоснабжения с температурой, максимально приближенной к температуре входящей питьевой воды (Thorsen and Kristjansson, 2006).



Однако мгновенное приготовление требует более высоких значений расхода в трубопроводах⁷, соединяющих распределительную сеть и потребителя, и, соответственно, увеличения их диаметра.

⁷ Эти соединительные трубы обычно называются служебными.

Что касается места приготовления, производство и хранение БГВ можно осуществлять централизованно, на уровне здания, или в каждой квартире / помещении, как показано на рисунке 30. В первом случае требуется циркуляционная система для поддержания подходящей температуры в самой отдалённой точке потребления. К сожалению, эти системы имеют недостатки, схожие с недостатками резервуаров для воды: для предотвращения размножения бактерий в большом объёме циркуляционных труб требуется высокая температура, поэтому потенциальная выгода от использования пластинчатых теплообменников для приготовления БГВ частично теряется. Кроме того, такие системы гораздо менее эффективны, так как значительная часть энергии теряется в циркуляционной системе (Vøhm, 2013). Циркуляционные системы не требуются при децентрализованном приготовлении с подстанциями на уровне квартир.

Поэтому предпочтительным методом реализации максимальных преимуществ низкотемпературной подачи в районных энергетических системах является децентрализованное приготовление с использованием пластинчатого теплообменника (Lund *et al.*, 2017).

Предложенные выше решения предусматривают обновление системы БГВ, что может оказаться практически невыполнимым. Доступны альтернативные технические решения. Одним из вариантов является использование химической (например, хлорирование) или физической (облучение ультрафиолетовыми лучами) обработки, которая предотвращает размножение бактерий (Yang, 2016). Ещё один вариант решения предусматривает повышение температуры с помощью электрических котлов или тепловых насосов, так что системе районного теплоснабжения не приходится подавать теплоноситель с такой высокой температурой (Elmegaard *et al.*, 2016).

В.4.2 Оценка совместимости с существующей тепловой сетью

Если не применять никаких мер к оборудованию потребителей, снижение температуры подачи будет сопровождаться одновременным повышением температуры обратной воды (Averfalk *et al.*, 2017) и, соответственно, меньшим перепадом температур между потоками поступающей и обратной воды. Такое небольшое изменение температуры, в свою очередь, приведёт к повышению расхода в сети. Если размер трубопроводов не увеличен, потери давления могут быть чрезмерными и превысить максимальное давление, выдерживаемое трубопроводами и (или) максимальное давление, которое могут создать насосы.

Поэтому очень важно обеспечить более низкую температуру обратной воды, что будет способствовать желаемому уменьшению температуры подачи. Даже если температура обратной воды будет снижена до 20-30 °С, а температура подаваемого теплоносителя будет поддерживаться

в диапазоне 50-60 °С, перепад температур будет немного меньше, чем в стандартной системе районного теплоснабжения (40-80 °С). В связи с этим в системе, снабжаемой низкотемпературными ресурсами для отопления помещений, может потребоваться увеличение температуры подачи в самые холодные дни (Tol and Svendsen, 2015).

Примером, когда снижение температуры обратного потока позволило снизить температуру подачи, служит система районного теплоснабжения г. Виборга (Дания). В этой сети за 14 лет удалось снизить температуру обратного потока с 50 °С до 40 °С (2002-2016 гг.) (Diget, 2019).

В некоторых случаях становится возможным снизить температуру системы в каком-либо конкретном районе, в то время как остальная часть сети продолжает работать при более высоких температурах. Это случается, например, когда строится новый район и его здания рассчитаны на низкие рабочие температуры системы или когда здания в каком-либо конкретном районе были модернизированы. В этих случаях температуру подаваемого потока можно снизить в таком районе с помощью смесительного клапана (рисунок 31). Именно этот способ был использован в датских городах Листруп, Сондерби и Тилст (Olsen, 2014).

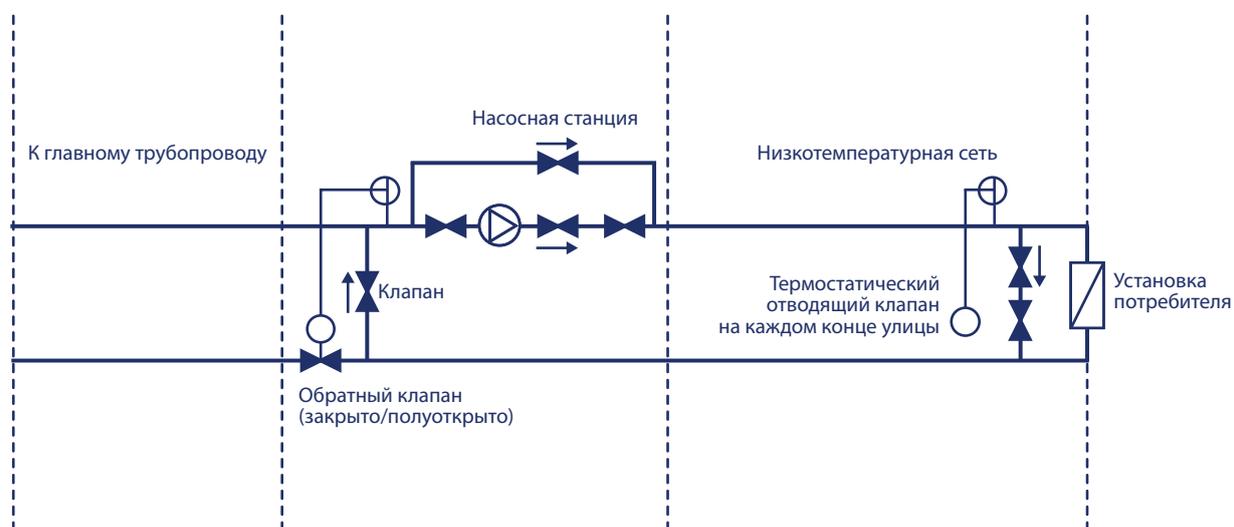
Такая стратегия позволяет уменьшить тепловые потери в конкретном районе, но не даёт реализовать максимальные преимущества низкотемпературного районного теплоснабжения, так как температура выработки остаётся неизменной. Решением данной проблемы могло бы стать использование параллельных сетей с разными уровнями температуры, каждая из которых подаёт тепло к разным потребителям в зависимости от их потребностей.

Такая стратегия применяется, например, во французской сети на окраине Парижа (вставка 11) и в испанском городе Мьересе (HUNOSA, 2019). Такое решение могло бы обеспечить экономическую выгоду низких температур в определённой части системы производства тепла.

Общераспространённой проблемой систем районного теплоснабжения является повышение температуры обратного потока в летний период. Это нежелательное явление также встречается в новых сетях, снабжающих здания, спроектированных для круглогодичной работы при низких температурах подачи. Это происходит вследствие перепуска горячей воды из подающих труб в обратные трубопроводы, что становится необходимым в периоды низкого потребления. Если бы это не делалось, температура подачи в конечном итоге упала бы настолько, что при возобновлении спроса на тепло со стороны потребителя время ожидания стало бы неприемлемо долгим.

Такое повышение температуры в обратном трубопроводе хотя и возникает по разным причинам, имеет схожие негативные последствия с перечисленными ранее: более высокие тепловые потери, снижение эффективности производства и уменьшение ёмкости хранилища.

Рисунок 31. Схема смесительного клапана для интеграции низкотемпературной сети в стандартную сеть



Источник: Olsen (2014)

В связи с этой проблемой было предложено несколько решений, в том числе, «комфортная ванная», за которую выступают Янг и Свендсен (Yang, 2016), а также трёхтрубная система, предложенная Аверфалком и Вернером (Averfalk and Werner, 2018).

Предложение комфортной ванной предусматривает охлаждение отведённого потока в системе обогрева пола ванной. После охлаждения отведённый поток возвращается в производственную установку по тому же обратному трубопроводу, что и неотведённый обратный поток. Недостатком данного решения является то, что ванная комната может нагреться до некомфортных температур, особенно в более тёплых странах. Кроме того, такое решение предполагает, что потребитель будет использовать подогрев пола в ванной круглый год, чего он возможно не пожелает делать.

Трёхтрубная система не охлаждает отведённый поток, а возвращает его в производственную установку по другому трубопроводу, что позволяет отделить охлаждённый поток (в обратной трубе) от отведённого потока (в рециркуляционной трубе). Таким образом, охлаждённая вода, образующаяся в результате приготовления БГВ, не подогревается отведённым потоком, и в течение всего года в обратной линии можно обеспечивать низкую температуру. Однако это новая концепция, которая ещё не была опробована на практике. Кроме того, включение третьего трубопровода связано с повышением затрат на строительство сети районного теплоснабжения.

Тепловые характеристики труб также могут препятствовать снижению температур подачи. Тепловые потери снизятся при использовании более низких температур. Тем не менее, если изоляция трубопровода не соответствует требованиям, а перепад температуры между производственной

установкой и потребителем высокий, температура в точке размещения объекта потребителя может упасть ниже минимума, необходимого для предоставления надлежащего теплоснабжения, когда температура подачи на производственной установке снижена. В этом случае становится необходимой модернизация сети трубопроводов.

Кроме того, новые источники сбросного тепла могут потребовать применения новой концепции сети, так как пригодные для использования температуры нельзя адаптировать к существующей системе. Технология повышения температуры, например, с помощью тепловых насосов, может стать актуальной для повышения температуры на выходе источника теплоснабжения и (или) увеличения температуры на определённых участках в сети в холодные периоды времени.

Краткий обзор технических проблем совместимости существующих тепловых сетей и зданий

Новое поколение систем районного теплоснабжения обещает использовать больше вырабатываемой энергии и позволить использовать низкотемпературные возобновляемые источники. Однако переход от существующих систем РТХС к современным требует надлежащего проектирования сетей и совместимости с подключениями потребителей и системами отопления в фонде зданий. Ниже кратко изложены рекомендации для общегосударственных и местных властей по оценке того, где и в какой степени модернизация будет наиболее выгодной, и по обеспечению её стратегического планирования.

Интегрируйте планы по модернизации зданий и изменению снабжения, а также модернизации сети, чтобы достичь оптимального уровня производительности и избежать эффекта укоренения бесперспективных технологий и отключений.

- ➔ Организуйте взаимодействие между стратегиями для обеспечения районной энергетики и энергоэффективности зданий. Рассмотрите, например, подход на уровне района к одновременной реализации мер по повышению энергоэффективности в плане предложения и спроса.
- ➔ Уделите первостепенное внимание плохо изолированным зданиям и крупнейшим потребителям, которым требуется больше энергии, для реализации политики реновации.
- ➔ Переходите к выставлению счетов на основе потребления для всех потребителей, чтобы поощрять более энергоэффективные методы.

Кроме того, операторы районного энергоснабжения могут принимать следующие меры, которые обеспечивают совместимость районных энергетических сетей с низкотемпературным снабжением.

Как для существующих, так и для новых систем районного теплоснабжения в существующих районах оцените и обеспечьте совместимость с существующим фондом зданий.

- ➔ Выполните модернизацию ограждающих конструкций существующих зданий, чтобы повысить энергоэффективность на уровне здания и снизить пиковую нагрузку на уровне энергосистемы. Это позволит интегрировать низкотемпературные местные энергетические источники, в том числе возобновляемые.
- ➔ Установленное в настоящее время отопительное оборудование (радиаторы) может не адаптироваться для низкотемпературного использования. Поэтому перепроектируйте и замените это оборудование одновременно с реновацией фонда зданий.
- ➔ Установите оборудование управления, например, термостатические клапаны, для регулирования расхода и уровня комфорта.
- ➔ Низкие температуры в системах горячего водоснабжения могут привести к размножению бактерий (например, легионеллы) в резервуаре для воды. В качестве одного из решений установите устройства для мгновенного приготовления БГВ, например, пластинчатые теплообменники. Для гораздо более низких же температур применяйте альтернативные технические решения, например, стерилизацию с использованием методов химической / физической обработки или интеграцию тепловых насосов или электрических нагревателей для повышения температуры.

- ➔ Для обеспечения перехода на низкотемпературное снабжение адаптируйте поведение пользователей к передовым методам управления отоплением в здании. Сюда может относиться избегание настройки индивидуальных регуляторов теплового режима в помещениях по периоду (например, на снижение температуры отопления в ночное время).

- ➔ Продвигайте новые концепции подстанций.

Оцените и обеспечьте совместимость с существующей тепловой сетью.

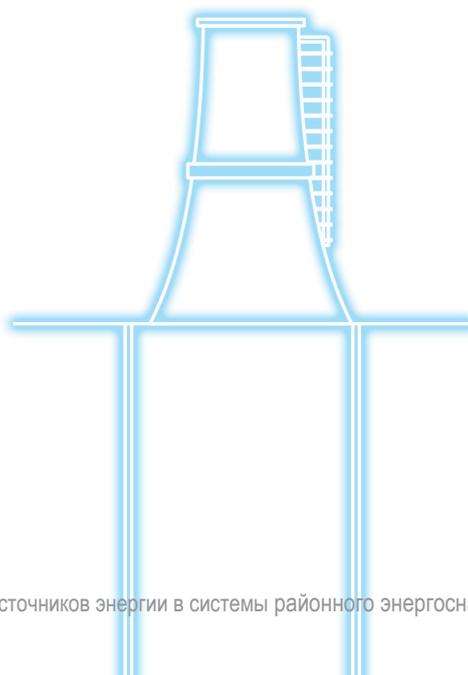
- ➔ Переключение на более низкую температуру снабжения может привести к увеличению расхода, что может повредить сеть. Чтобы этого не допустить, убедитесь, что температура обратного потока из здания в сеть также снижена (например, с помощью перехода к комфортной ванной).

- ➔ В случае, если температура снабжения слишком низкая для удовлетворения спроса на отопление, используйте технологию повышения температуры (тепловые насосы) либо для повышения температуры от источника снабжения, либо для повышения температуры в определённых местах сети в холодное время года, либо для удовлетворения требований пикового спроса.

- ➔ Уменьшите чрезмерные теплотери в сети, чтобы предотвратить недостаточный обогрев зданий. Этого можно добиться за счёт надлежащей изоляции труб.

Создайте местный потенциал для решения технических проблем по интеграции низкотемпературных источников тепла в существующие сети и фонд зданий.

- ➔ Поскольку районная энергетика и энергоэффективность в зданиях носят технический характер, властям необходимо инвестировать в повышение квалификации местных специалистов.



В.5 Решение технических проблем при использовании низкотемпературных источников энергии

Каждый низкотемпературный источник тепла, подключённый к районным энергетическим сетям, может создавать определённые проблемы. Поэтому может быть полезно изучить конкретные проблемы с учётом местных условий. Эти проблемы могут повлиять на результаты технических сценариев. Ниже представлены рекомендуемые действия по решению этих проблем применительно к каждому источнику тепла.

Ключевым фактором в решении технических проблем, связанных с использованием низкотемпературных источников энергии, является развитие местного кадрового потенциала. Как обсуждалось в разделе 3.2 части В, как и общегосударственные, так и местные власти могут использовать имеющиеся программы технической помощи для передачи знаний. Кроме того, власти могут оказывать поддержку разработчикам районных энергетических систем в плане исследования и проектирования; разработчики, в свою очередь, будут инвестировать в инновации. Потенциал может быть ещё увеличен путём задействования передовых отраслевых методов и участия в форумах для обмена опытом.

В.5.1 Геотермальная энергия

Когда лица, принимающие решения на местном уровне, рассматривают возможность использования геотермальной энергии для РТХС, очень важно, чтобы они понимали преимущества и потенциал такого ресурса. Оцениваемый потенциал геотермальной энергии должен соответствовать желаемому уровню спроса на тепло- и холодоснабжение. Однако с течением времени продуктивность пласта, из которого извлекают геотермальные жидкости, может снизиться вследствие изменения давления и объёма в резервуаре. С таким снижением продуктивности резервуара можно справиться с помощью повторного закачивания жидкостей в пласт, чтобы обеспечить устойчивость после использования энергии в системах районного теплоснабжения или других областях применения.

Стратегии обратной закачки имеют решающее значение для обеспечения устойчивости ресурса. Некоторые проекты предусматривают полную повторную закачку, в других она отсутствует, а в третьих доля возвращаемой в пласт жидкости варьируется. С течением времени опыт работы на действующих месторождениях показал, что почти полная обратная закачка является главным фактором, определяющим долгий срок службы ресурса. В результате большинство современных геотермальных разработок имеет полную или почти полную обратную закачку.

Самой распространённой конфигурацией геотермальных систем районного теплоснабжения, позволяющих выполнять обратную закачку жидкости в пласт, является система «дублет», при которой бурят две скважины: одна используется в качестве продуктивной скважины, а вторая – в качестве скважины для обратной закачки. Как отмечено выше, в большинстве современных геотермальных разработок предусмотрена полная обратная закачка не только в целях обеспечения устойчивости ресурса, но также из экологических соображений, т.е. для предотвращения тепловой нагрузки и химического загрязнения, возникающих в результате слива отработанной термальной воды на поверхность. В мире мало мест, где экологические соображения позволяют утилизировать большие количества непитьевой воды на поверхности. Модификацией системы «дублет» является система «триплет», в которой бурят третью скважину, если продуктивность уже имеющейся скважины существенно падает. Затем две существующие скважины модифицируют и превращают их в скважины для обратной закачки, в то время как новая пробурённая скважина становится продуктивной. С помощью системы «триплет» можно продлить экономический ресурс геотермального проекта (Sigfusson and Uihlein, 2015).

Большинство геотермальных систем в мире относится к низко- или среднетемпературному типу, например, осадочные бассейны. Породные формации в этих бассейнах обычно твёрдые (уплотнённые) на более глубоких участках, но в некоторых случаях, например, на Среднедунайской низменности в Центральной Европе, верхний разрез резервуара состоит из неуплотнённого и среднеуплотнённого песка или песчаника. Повторная закачка в такой тип резервуара создаёт особые проблемы. К ним относится риск повреждения среднеуплотнённой формации, обрушение формаций в ствол скважины или высвобождение частиц, которые попадают в добываемую или закачиваемую жидкость. По мере того как повторно закачанная вода течёт через пласт, она несёт свободные частицы песка, что приводит к закупориванию пористых участков и, таким образом, снижает проницаемость и, соответственно, продуктивность скважин. Кроме того, пластовые жидкости могут сильно охладиться из-за возможного быстрого движения жидкости через пласт. Необходим тщательный мониторинг пластовых температур, чтобы обнаружить температурный сдвиг, если повторно закачанная вода движется слишком быстро по направлению к продуктивной скважине.

Управление геотермальным резервуаром и повторная закачка жидкости требуют понимания гидрологических и геологических особенностей таких систем. Соответствующая система управления резервуаром поможет определить правильное давление повторно закачиваемых в пласт жидкостей, благодаря чему повреждение формации сведётся к минимуму. В то же время выбранное давление повторно закачиваемой жидкости и соответствующие фильтры, установленные в экранированные интервалы скважин, должны обеспечивать минимальную подвижность песчинок в резервуаре во избежание закупорки проницаемых зон. Кроме того, необходимо тщательно выбирать расстояние между продуктивными скважинами и скважинами для обратной

закачки жидкости, чтобы у повторно закачиваемых жидкостей было достаточно времени для нагрева, прежде чем они достигнут продуктивной скважины. Это необходимо для предотвращения быстрого развития температурного сдвига, которое может привести к значительному охлаждению в резервуаре (GeoCom, 2013). Разработка проекта и долгосрочная добыча часто требуют внесения корректировок в стратегию закачивания жидкости для предотвращения охлаждения системы. Мониторинг ресурса – это часть долгосрочного управления системой в целях обеспечения её устойчивости.

Когда вещества, растворённые в геотермальных жидкостях, осаждаются вследствие термодинамических изменений в жидкости (изменений давления и температуры), химические свойства жидкости меняются, и на поверхностях оборудования и скважин могут откладываться минералы, что приводит к солеобразованию. Неконтролируемое отложение и образование солей могут привести к значительному снижению эффективности оборудования, например, теплообменника, или к уменьшению диаметра трубопроводов и, соответственно, скорости расхода жидкости.

Отложение минералов в геотермальных скважинах или породной формации также может привести к снижению продуктивности геотермальных скважин. Аналогично, вследствие взаимодействия геотермальных жидкостей с химическими элементами под землёй, уровень кислотности жидкостей может существенно варьироваться. Кислые геотермальные жидкости реагируют с металлическим материалом, используемым в конструкции оборудования, что приводит к коррозии (IRENA, 2019a). Проблемы, связанные с геотермальными жидкостями, влекут рост затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание проектов.

Одним из способов минимизации солеотложения является строгий контроль температуры и давления жидкости. Если геотермальная жидкость охлаждается до температур ниже температуры насыщения (или давление снижается ниже давления насыщения) растворённых веществ, начинается солеотложение. За несколькими исключениями действует правило: чем сильнее падение температуры, тем выше интенсивность отложения. Во избежание мгновенного испарения газов рекомендуется следить за тем, чтобы геотермальные жидкости всегда находились под давлением.

Падение давления приводит к изменению уровня кислотности, что может запустить процесс отложения растворённых веществ. Кроме того, не рекомендуется смешивать жидкости конкретного геотермального резервуара с жидкостями других резервуаров, так как известно, что это приводит к интенсивному отложению осадков.

С наибольшей вероятностью это происходит при извлечении и закачивании жидкости в системах осадочных бассейнов. Геологические формации над продуктивным пластом и под ним имеют разные химические характеристики, и смешивание может привести к отложению минералов.

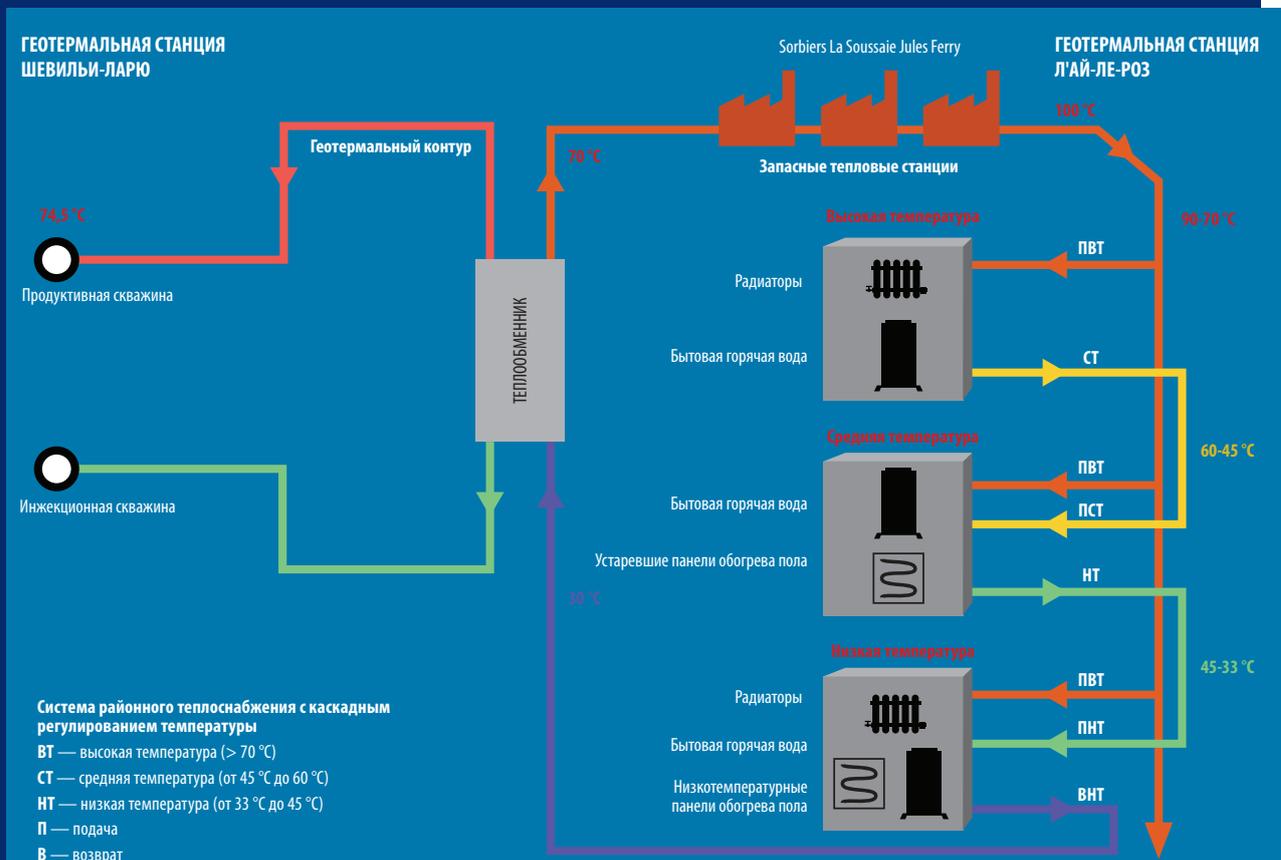
Для предотвращения ухудшения работы оборудования отложения на поверхности теплообменника можно удалять механическим путём через заданные интервалы времени или с помощью растворяющих химических реагентов. Кроме того, уменьшить интенсивность отложений, в том числе в геотермальных скважинах и формации, можно с помощью химических методов, например, регулируя уровень кислотности геотермальной жидкости и вводя средства против отложения солей (Brown, 2013). В случае высокоагрессивных геотермальных жидкостей оборудование для теплообменника и, возможно, обсадной трубы и устьевого арматуры, должно быть изготовлено из коррозионноустойчивых материалов, например, титана.

Освоение и использование геотермальной энергии может вызвать микросейсмичность, что является большой проблемой, особенно для проектов, расположенных вблизи районов застройки. Среди причин микросейсмичности – извлечение и повторная закачка жидкостей, стимуляция резервуара и бурение. Лучшее понимание геологических свойств резервуара, т.е. породы и жидкости, может способствовать минимизации и контролю сейсмичности (GEOENVI, 2020).

Для повышения эффективности и использования максимально возможного количества тепла из геотермального ресурса можно спроектировать каскадную геотермальную сеть районного теплоснабжения из двух или даже трёх уровней. Каскады работают с определённой очерёдностью, при которой горячая вода сначала поступает в промышленные процессы или здания, требующие более высокой температуры, затем в процессы и здания, для которых требуется средняя температура, и, наконец, в самые новые здания, для которых требуются самые низкие уровни температуры. Пример из района Парижа описан во вставке 11.

Международное сотрудничество и многосторонние партнёрства, например Международный геотермальный альянс, могут сыграть важнейшую роль в передаче знаний, преодолении препятствий и поддержании развивающихся рынков. Примером такого сотрудничества служат сербские геотермальные пилотные проекты по тепло- и электроснабжению (GOSPEL), которые финансируются из бюджетных средств Франции и используют промышленный опыт Франции и знания местных сербских специалистов с целью определения по крайней мере трёх осуществимых проектов по освоению геотермальной энергии (Mouchot *et al.*, 2019). В качестве альтернативы страны могут использовать технические вспомогательные возможности, предлагаемые институтами развития. В качестве примера можно привести программу «Развитие геотермальной энергии» (GeoFund – The Geothermal Energy Development Program), предоставленную Всемирным банком в 2006 г. для Европы и Центральной Азии. Эта программа состояла из фонда в размере 25 миллионов долларов, из которых 1,5 миллиона долларов было использовано на техническую поддержку геотермального проекта в Армении, а ещё 810 000 долларов было выделено на предоставление региональной технической поддержки через Международную геотермальную ассоциацию (МГА) (Wang *et al.*, 2013).

ВСТАВКА 11. КАСКАДНАЯ СТРУКТУРА: СИСТЕМА РАЙОННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ПАРИЖЕ (ФРАНЦИЯ), ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ



Подпочвенный слой региона Иль-де-Франс богат геотермальной энергией. Коммунальная энергетическая компания SEMNACH работает в пригородных муниципалитетах Парижа Шевильи-Ларю, Л'Ай-ле-Роз и Вильжоиф и реализует каскадную многотемпературную систему районного теплоснабжения, в которой существуют пять разных температурных уровней, включая температуру транспортного трубопровода.

Термальная вода в сети районного теплоснабжения идёт от энергетических установок, собирает тепло из котлов, а затем, уже имея высокую температуру, поступает сначала в теплообменники самых старых зданий, для которых требуется более высокая температура. Обратный поток имеет среднюю температуру, достаточную для подачи тепла в другие старые здания, потребляющие меньшее количество тепла, чем первая группа зданий, и, соответственно, требующие более низкой температуры теплоносителя. И, наконец, второй обратный поток воды с более низкой температурой поступает в самые энергоэффективные здания, а также в теплицы и бассейны, которые являются низкотемпературными установками.

Таким образом, последняя обратная вода, возвращающаяся на установку, имеет очень низкую температуру 30 °С. Что касается БГВ, она во всех случаях подаётся при высокой температуре и возвращается в сеть с низкой и очень низкой температурой.

Такая каскадная система стимулирует использование геотермальной энергии, так как конечная температура в обратном трубопроводе (второй возврат) достаточно низка для извлечения большего количества геотермального тепла из энергетической установки. Разнообразие температурных уровней позволяет потребителям выбирать наиболее подходящую температуру для своих нужд (радиаторов, систем тёплого пола, панелей и т.д.). Самым важным является то, что благодаря такой структуре сети эффективность использования вырабатываемой энергии максимально повышается.

V.5.2 Солнечная тепловая энергия

Солнечная тепловая энергия по своему характеру является сезонным и переменным ресурсом. Это может привести к ситуации, в которой количество вырабатываемой солнечной энергии будет недостаточным для удовлетворения высокого спроса на отопление помещений в зданиях в зимний период. В летний период, когда тепловая нагрузка обычно низкая, солнечные установки имеют самую высокую производительность. Однако благодаря такой особенности солнечные тепловые установки могут быть пригодны для районного холодоснабжения. Если требуются большие объёмы солнечной энергии, в систему может быть интегрировано крупное хранилище тепловой энергии. В Дании с этой целью было построено несколько систем аккумулирования тепла в водоёмах, например, в Дроннинглунде или Марстале. Ещё один пример – солнечное сообщество Drake Landing в провинции Альберта, Канада, где избыточная солнечная энергия хранится в близлежащих горных породах и грунте в летний период и используется зимой для обогрева жилых и коммерческих зданий (солнечное сообщество Drake Landing, без даты). Для удовлетворения части спроса на теплоснабжение солнечную тепловую энергию в сочетании с другими источниками энергии можно использовать в гибридных системах. Примером этого может служить г. Саласпис в Латвии, где солнечная тепловая установка для районного теплоснабжения мощностью 5 МВт объединена с котлом мощностью 3 МВт, работающим на биомассе, и эта гибридная система обеспечивает 85% потребностей города в районном теплоснабжении.

Ещё одной проблемой, возникающей при использовании солнечной тепловой энергии, является необходимость больших открытых пространств в городах для установки крупномасштабных наземных солнечных станций теплоснабжения. Одним из вариантов решения проблемы могло бы стать размещение солнечных систем в районах, примыкающих к городам, и их подключение к системе районного теплоснабжения (Lund *et al.*, 2018). Когда для устройства солнечной системы районного теплоснабжения требуется покупка земли, на стоимость такой системы могут влиять особенности спроса и предложения, например планы местных землевладельцев касательно землепользования. Цена земли может быть выше на участках, примыкающих к городским районам, поэтому требуется определить оптимальное расстояние, на котором следует размещать

солнечные коллекторы. Это расстояние потребует дополнительных исследований и, вероятно, будет иметь смысл для более масштабных проектов (Trier *et al.*, 2018). Альтернативным местом размещения солнечных тепловых коллекторов и систем аккумулирования тепла в городах могли бы, помимо прочего, стать большие крыши торговых центров и крытых автостоянок (хотя такое решение очень трудно интегрировать в системы районного теплоснабжения, и оно должно относиться только к передовым установкам), загрязнённая земля, участки вдоль маршрутов движения транспорта и бассейны для очистки сточных вод (Battisti, 2018) (фотография 7).

Начиная реализацию проекта районного теплоснабжения на основе солнечной энергии в городах с существующей системой районного теплоснабжения, приходится решать две основные проблемы. Первая проблема – нагрузка в летний период обычно уже полностью «занята», так как коммунальная компания РТХС использует тепло от производства электроэнергии или из других источников сбросного тепла, что приводит к избытку солнечной тепловой энергии. Второй проблемой являются сложности и высокие издержки, связанные с поиском места для размещения солнечных панелей (Sørensen, 2017). Чтобы справиться с этими сложностями, часто приходится предусматривать хранилище тепловой энергии в качестве части системы РТХС. В этом случае крупномасштабная солнечная тепловая энергетика может быть экономически выгодным решением, так как это одна из самых дешёвых технологий теплоснабжения.

Температура компонентов солнечной тепловой системы может сильно различаться в ночное и дневное время. Использование более высокой рабочей температуры может сделать эту разницу ещё больше. Необходимо, чтобы все компоненты и соединения в системе могли выдерживать расширение и сжатие, связанные с изменениями температуры (Schmidt and Miedaner, 2012). Кроме того, солнечная тепловая система должна быть способной функционировать при худшем сценарии, когда сильное солнечное излучение может длиться долгие периоды времени. Во избежание перегрева системы (с последующим повреждением) контур коллектора может работать в ночное время, охлаждая часть объёма резервуара. В примере показано, что принципы проектирования могут быть пересмотрены с включением ночного охлаждения. Однако данная рекомендация может применяться только для установок с определённым объёмом хранилища тепловой энергии (Heller, 2001).

Фотография 7. Установка солнечного районного холодоснабжения, г. Скотсдейл, Аризона (США) (слева) и часть парка коллекторов районной теплоцентрали в г. Граце (Австрия) (справа)



В.5.3 Сбросное тепло

Согласно результатам недавнего исследования (Schmidt, Geyer and Lucas, 2020) можно выделить следующие технические барьеры: i) временное несоответствие доступности сбросного тепла и спроса на тепло, включая конкуренцию по поставкам с большинством возобновляемых источников энергии в летний период; ii) несоответствие качества. Последнее относится к некоторым источникам сбросного тепла, для которых характерен один или более из следующих аспектов: низкий уровень температуры, относительно небольшой объём (или) непостоянное наличие. Использование технологий тепловых хранилищ и тепловых насосов в целом может решить эти технические проблемы, однако это требует дополнительных инвестиционных затрат, что может вызвать финансовые проблемы.

Повышенная операционная сложность может быть обусловлена необходимостью установки резервных мощностей для управления риском случайных перебоев в поставках сбросного тепла, включая низкотемпературное сбросное тепло, зависящее от работы теплового насоса. Другие сложности могут возникнуть в результате ограниченной стандартизации (и контрактных, и технических аспектов), а также привлечения дополнительных заинтересованных сторон.

В.5.4 Естественное охлаждение

Технические проблемы, которые необходимо решать при использовании воды из озёр, рек или моря в целях естественного охлаждения, в основном касаются безопасности водной флоры и фауны, качества воды, обрастания и коррозии (CELSIUS Project, 2019). Качественная система фильтрации защищает водную флору и фауну и уменьшает последствия обрастания. Другими решениями по защите против обрастания могут быть: i) использование химических реагентов, например, хлора; ii) усовершенствованные процессы окисления и iii) нехимические методы обработки, например, термические удары. Исследования также показали, что увеличение скорости потока охлаждающей воды может препятствовать скоплению отложений внутри теплообменника.

Оценка наиболее подходящей системы защиты против обрастания должна учитывать экологические аспекты и существующие нормы в отношении допустимого количества выбросов химических веществ. Систему защиты от обрастания следует оптимизировать в различные сезоны, так как количество органических веществ в воде зависит от времени года. Благодаря такой оптимизации выбросы в окружающую среду можно снизить до минимума (проект CELSIUS, 2019).

Краткий обзор технических проблем и рекомендаций по использованию низкотемпературных источников энергии

Ниже приведены основные рекомендации общегосударственным и местным властям и операторам систем РТХС по решению технических проблем при использовании низкотемпературных источников энергии.

Наращивайте потенциал для решения технических проблем при использовании низкотемпературных возобновляемых источников или источников сбросного тепла.

- ➔ Наберите достаточное количество экспертов, включая государственные органы, в области технологий возобновляемой энергии, например, геотермальной энергии и солнечной тепловой энергии.
- ➔ Инвестируйте в повышение квалификации местных специалистов для обеспечения бесперебойной работы районных энергетических сетей. Это не только способствует оптимизации работы сетей, но и гарантирует решение технических проблем с минимальным нарушением энергоснабжения.

Для бесперебойной работы районных энергетических систем операторам необходимо реализовать в своих проектах следующие меры.

Придерживайтесь передовых методов эксплуатации энергетических систем, использующих геотермальные источники.

- ➔ Придерживайтесь передовых отраслевых методов в отношении управления резервуарами, а также эксплуатации и технического обслуживания оборудования в районных энергетических системах, использующих геотермальные источники. Эти передовые методы включают в себя повторную закачку отработанных геотермальных жидкостей для обеспечения экологической устойчивости резервуара, а также стратегии проектирования, призванные минимизировать отложение солей и коррозию.

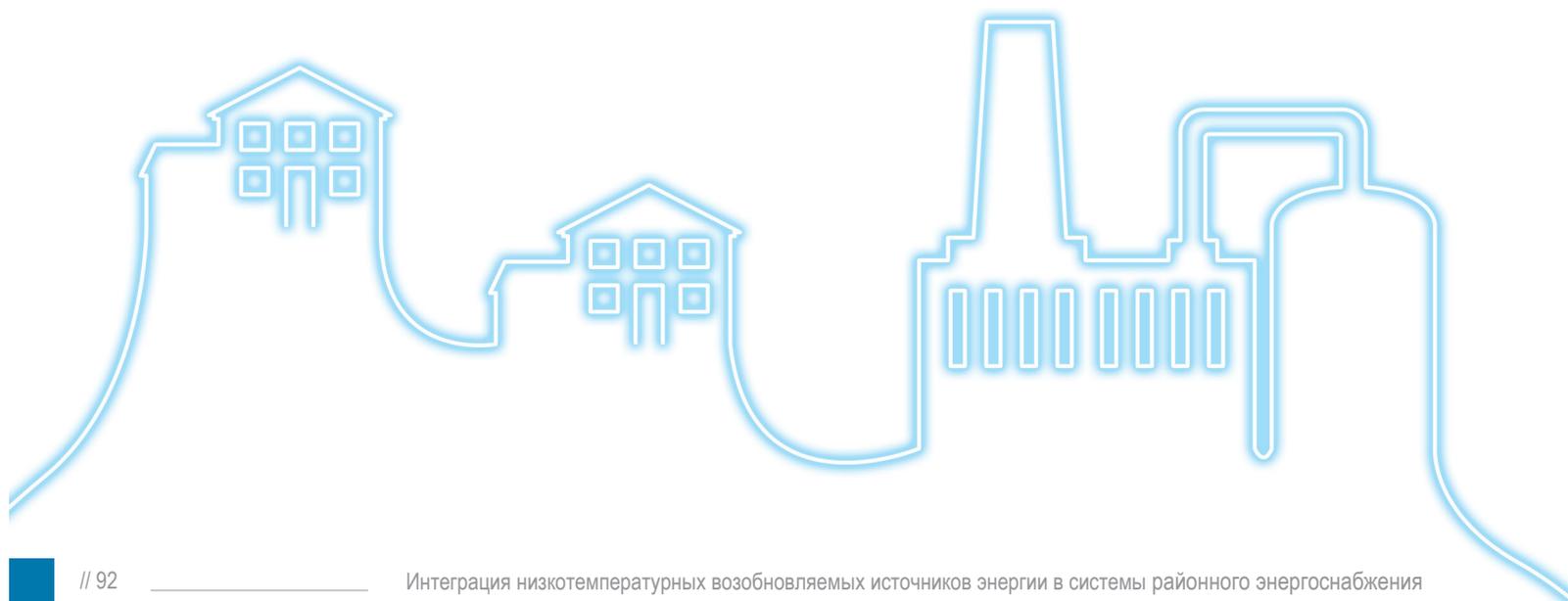
Используйте решения для управления колебаниями в подаче солнечной тепловой энергии и сбросного тепла, чтобы избежать нестабильности в сети.

- ➔ Интегрируйте крупномасштабные накопители тепловой энергии в сети РТХС, чтобы улавливать излишки тепла, например, солнечное тепло и сбросное тепло, производимое в периоды низкого спроса, и сохранять их для будущего использования при росте спроса.
- ➔ Разработайте стратегии, обеспечивающие бесперебойное районное энергоснабжение, например, заключение долгосрочных контрактов на поставку сбросного тепла в районную энергетическую сеть.
- ➔ Колебания производительности и температуры на стороне предложения – очень вероятный сценарий для местных низкотемпературных источников энергии. В этом случае используйте тепловые насосы для повышения температуры, чтобы обеспечить удовлетворение спроса потребителей на отопление.

В таблице 6 в сводной форме представлены основные технические проблемы и возможные решения для геотермальной и солнечной тепловой энергии, а также сбросного тепла.

Таблица 6. Основные проблемы и возможные решения для использования низкотемпературных возобновляемых источников энергии или источников сбросного тепла в РТХС

ИСТОЧНИК	ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ	ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ
Геотермальная энергия	<p>Высокая инвестиционная стоимость</p> <p>Риск осложнений при бурении по геологическим причинам</p> <p>Риск снижения производительности со временем</p> <p>Риск отложения солей и коррозии</p>	<p>Создание схем гарантий по рискам геотермальных ресурсов и по производительности скважин</p> <p>Проведение обширных геонаучных исследований</p> <p>Мониторинг резервуаров и управление ресурсами (особенно в отношении закачки)</p> <p>Поддержание температуры геотермальной жидкости выше температуры насыщения растворённых веществ во время теплообмена, регулярное обслуживание теплообменников и другого оборудования, обработка геотермальных жидкостей химическими методами (например, средствами против отложения солей) для уменьшения интенсивности осадков и отложения солей</p>
Солнечная тепловая энергия	<p>Разница между сезонной доступностью и спросом</p> <p>Высокие инвестиционные затраты</p> <p>Ограничивающая температура</p> <p>Ограничение пространства</p>	<p>Обеспечение использования в системах со спросом на БГВ</p> <p>Использование солнечной тепловой энергии для охлаждения при несоответствии спроса и предложения на отопление</p> <p>Использование тепловых аккумуляторов для сбережения избыточной солнечной тепловой энергии</p> <p>Использование альтернативных пространств, например, крыш, канализационных бассейнов, бывших мусорных свалок и т.п.</p>
Сбросное тепло	<p>Экологическая устойчивость ресурса</p> <p>Переменные условия энергоснабжения</p>	<p>Разработка договорных соглашений для обеспечения энергоснабжения</p> <p>Включение аккумулирования тепловой энергии в сети</p> <p>Комбинирование соединений для подачи высокой температуры в линию подачи и более низкой температуры в линию возврата</p>
Естественное охлаждение	<p>Сохранение качества воды и водной флоры и фауны</p> <p>Риск обрастания и коррозии</p>	<p>Фильтрация</p> <p>Процессы предотвращения обрастания</p>



В.6 Благоприятные нормативные условия, модели финансирования и бизнес-модели

Проект РТХС регулируется стандартами и нормами, разработанными и (или) применяемыми на местном, государственном или региональном уровне (провинции / штата). Помимо этого, на конкретный проект также влияют общие нормы отопления и строительства, а также законодательство, регулирующее добычу ресурсов подземных вод (в случае геотермальных проектов), землепользование (особенно для проектов солнечной тепловой энергии) и энергетические системы. Проекты районного тепло- и холодоснабжения часто перекрывают несколько различных предметных областей, таких как тип здания и его модернизация, зонирование, энергоснабжение, содержание дорог для прокладки труб и т.п. Законодательство также определяет все эти элементы политики на всех правительственных уровнях, как показано на рисунке 32.

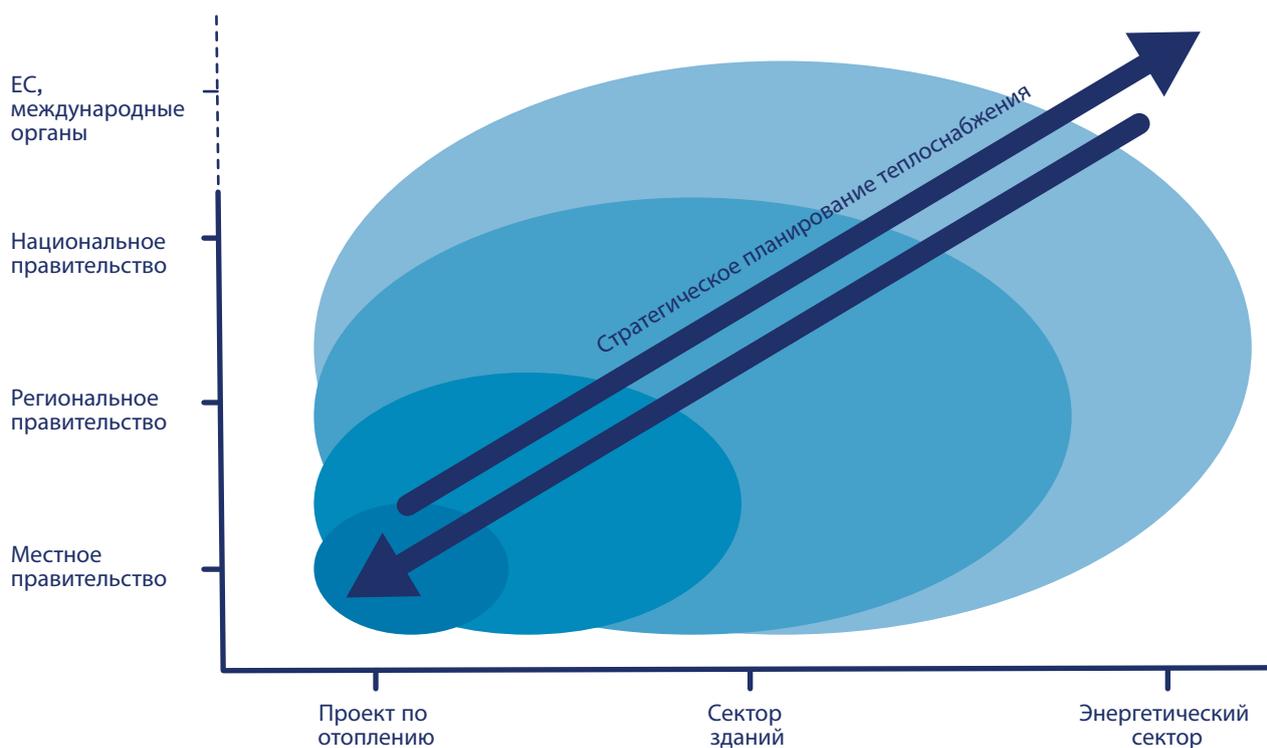
Общегосударственным и местным органам власти необходимо принять как финансовые, так и нормативные меры для обеспечения отражения преимуществ систем РТХС в установленных режимах ценообразования. В то же время существующие режимы должны гарантировать, что системы РТХС не окажутся в невыгодном положении из-за субсидий (прямых или косвенных) в отношении других источников энергии.

Реализация нового проекта районной энергетики (или перехода от ископаемых видов топлива на другие виды топлива) обычно требует значительных инвестиций, которые должны вноситься одним инвестором, в отличие от затрат на индивидуальное оборудование, которые распространяются на большую группу потребителей / инвесторов. По сравнению с другими вариантами районные энергетические системы, основанные на источниках сбросного тепла и возобновляемых источниках энергии, могут оказаться в невыгодном положении из-за режимов формирования цен на энергию, рыночных структур и высоких авансовых капитальных затрат. Таким образом, важно оценивать проект районной энергетики в долгосрочной перспективе, поскольку в короткие сроки может быть сложно выйти на уровень окупаемости.

Районные энергетические системы, основанные на низкотемпературной солнечной тепловой энергии, геотермальной или гибридной системах, требуют бизнес-моделей, адаптированных под каждый конкретный проект. Подобная модель должна гарантировать финансовую отдачу для всех заинтересованных сторон, а также вести к достижению любых более значительных преследуемых социально-экономических выгод.

С учётом вышесказанного выбор структуры собственности и моделей регулирования цен влияет на варианты, которые могут применяться для интеграции низкотемпературных источников энергии в районные энергетические системы.

Рисунок 32. Местное / стратегическое планирование теплоснабжения в контексте государственного и международного регулирования и согласование с множественными интересами и потребностями



В.6.1 Структуры собственности

Для районных энергетических систем предусмотрены четыре основные модели собственности: собственность потребителей, государственная и частная (коммерческая) собственность, а также частно-государственные партнёрства (ЧГП) (Djøgur *et al.*, 2019a). На практике можно встретить гибридные виды этих четырёх форм, особенно в категории государственно-частной собственности. Такие структуры собственности могут существовать на конкурентном рынке или в качестве монополий. Вопрос собственности применяется к двум основным компонентам районной энергетической системы: сети передачи и распределения энергии и производственным установкам.

Собственность на сети передачи и распределения

На рисунке 33 представлена роль районной энергосети как жизненно важной инфраструктуры, с помощью которой производители могут поставлять и распределять выработанное районное тепло и холод потребителям. Сети являются инфраструктурой, обеспечивающей функционирование системы.

Ключевой вопрос районных энергетических систем относится к собственности на сети передачи и распределения. Именно этот вопрос в основном составляет ситуацию монополии, так как от него зависит доступ к поставке энергии. Стоит учитывать два важных фактора: во-первых, кому принадлежит мажоритарная доля, и, во-вторых, ожидаемую рентабельность инвестиций. Прежде всего, необходимо определить, находятся ли распределительные сети районного энергоснабжения в частной или государственной собственности и кому принадлежит мажоритарная доля. Государственная собственность обычно гарантирует, что сети используются в качестве общественной инфраструктуры, в то время как частные компании рассматривают сети как объект инвестиций и предъявляют к ним требование рентабельности. Это ведёт ко второму аспекту: требуемая рентабельность инвестиций. Поскольку районные энергетические сети характеризуются капиталоемкостью и долгим сроком эксплуатации, требование высокой внутренней нормы доходности (ВНД)⁸ может стать

препятствием для внедрения общегородских районных энергосетей. Более подробно этот вопрос рассмотрен в разделе 6.4 части В. В то время как частные компании будут применять ВНД в размере около 10-15%, государство в целях инвестирования может считать приемлемым ВНД около 3-5%, учитывая социально-экономический аспект. Это радикальным образом меняет возможности и бизнес-модели для расширения районных энергосетей.

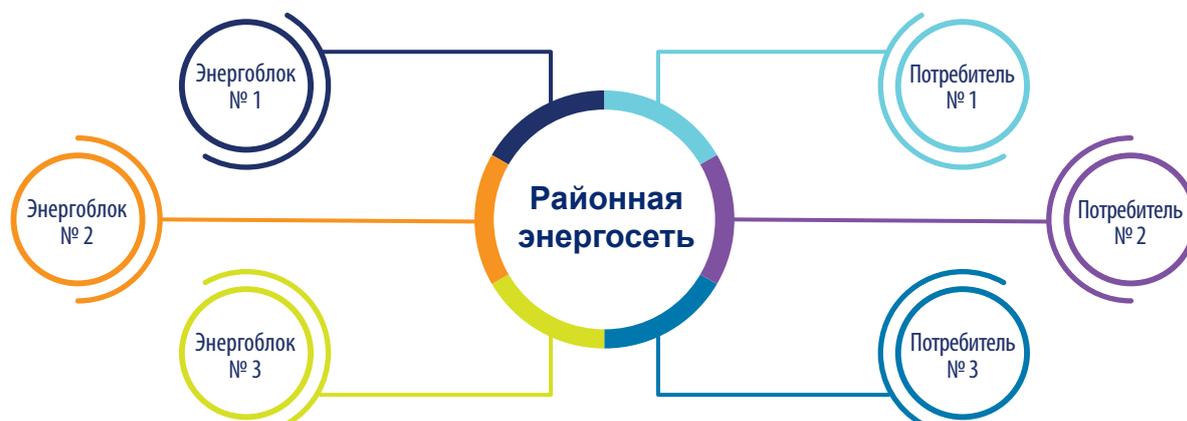
Управление операциями распределительной сети является центральным аспектом, который необходимо рассмотреть для ослабления монополистических тенденций, когда распределительная сеть принадлежит единственному субъекту, что встречается очень часто. Монополии в области инфраструктуры – общераспространённое явление, и зачастую управление ими отличается высокой эффективностью. Примерами могут служить электрические, газовые и водопроводные сети, а также автомагистрали. Важно то, что ими управляют с целью всеобщего блага, а не для получения максимальной прибыли.

Собственность на производственные установки

В крупных сетях с несколькими производителями конкуренцию можно обеспечить в определённых условиях, которые позволяют системе в целом функционировать максимально эффективно, но это трудно реализовать в меньших по размеру сетях с единственным производителем. Поэтому производственная часть РТХС также зачастую будет монополией, которая на большинстве рынков столкнётся с конкуренцией со стороны индивидуальных источников (например, тепловых насосов и (или) индивидуальных котлов). В сетях РТХС, снабжаемых низкотемпературной энергией, такая ситуация может измениться. С внедрением новых геотермальных ресурсов, тепловых насосов, тепловой солнечной энергии и сбросного тепла гораздо больше производителей смогут подавать ресурсы в сеть РТХС, тем самым ограничивая монопольную ситуацию на стороне снабжения.

⁸ ВНД – это величина, рассчитываемая для оценки доходности потенциальных инвестиций. Её можно сравнить с минимальной ставкой доходности или учётной ставкой, и, чтобы считать какой-либо проект потенциально выгодным капиталовложением, она должна быть по крайней мере на уровне, сравнимом со средневзвешенной стоимостью капитала.

Рисунок 33. Районная энергосеть: жизненно важная инфраструктура, соединяющая источники энергоснабжения и потребителей



Правильный тип собственности

Модель собственности может существенно влиять на достижение целей проекта, в частности, на желание потребителей заключать договор на подключение услуг. Мотивы государственных и частных проектов РТХС зачастую фундаментально различаются в части инициирования, разработки и финансирования. Например, принадлежащий государству проект РТХС, скорее всего, будет ориентирован на более низкие цены на тепло и экологические и социально-экономические преимущества, чем проект, находящийся в частной собственности, который будет в основном нацелен на получение максимальной прибыли. Проекты в сфере РТХС, принадлежащие потребителям, часто стремятся к самым низким ценам на тепло.

При условии согласования интересов монопольные структуры могут не представлять проблемы при собственности государства или потребителей. Структуры, находящиеся в собственности государства или потребителей, должны быть заинтересованы в поставке тепловой энергии с минимально возможными затратами. Увеличение цены на теплоснабжение с целью получения выгоды приведёт лишь к возврату прибыли потребителям тепла (при условии сочетания с регулированием цен на основе истинной себестоимости).

Что касается структур, находящихся в государственной собственности, полученная ими прибыль может использоваться на другие общественные нужды, например, школы, транспорт или здравоохранение. Если это допускается, потребители тепла по сути субсидируют другие государственные сферы посредством своих счетов за отопление. В конечном счёте, это политический вопрос, который, в случае принятия, может привести к негативному восприятию районных энергетических систем, если цены на теплоснабжение вырастут из-за других расходов на общественные нужды.

Независимо от того, какая модель и тип будут выбраны, очень важным условием является прозрачность финансирования, ценообразования и кредитования. Для создания и поддержания доверия общественности к монопольным инфраструктурам необходимо публично раскрывать информацию о том, как используются финансовые средства. Также в качестве полезного инструмента можно использовать статистику цен внутреннего рынка, в которой по разным параметрам сравниваются коммунальные энергетические компании. Это позволит потребителям оценить свою коммунальную энергетическую компанию, сравнив её с другими предприятиями коммунального обслуживания.

Основной целью частных структур, как правило, будет такое регулирование цен, которое обеспечит им максимальную прибыль. Это приводит к конфликту с потребителями, которые заинтересованы в максимально низких ценах. Также это является типичной проблемой монополий. Оба аспекта – государственный разработчик, тратящий средства на другие общественные нужды, и частные разработчики, желающие получить максимальную прибыль, – можно контролировать с помощью регулирования цен.

Государственная собственность

- **Преимущества:** интересы часто совпадают с интересами местного населения, но также могут быть направлены на решение более масштабных проблем, таких как энергетическая бедность, декарбонизация или чистый воздух. Государственная собственность даёт потенциальное преимущество в виде более лёгкого согласования с интересами общественности и инвестиционными и планировочными решениями. В то время как частные компании стремятся к максимальному повышению прибыли, государственные компании в своих решениях могут опираться на интересы общества.
- **Проблемы:** если продажа тепловых ресурсов способствует получению средств на другие общественные нужды, например, образование, здравоохранение или дорожные работы, местные органы власти могут быть заинтересованы в получении максимальной прибыли. Также могут возникнуть проблемы с доверием общественности к местным органам власти, если она не считает их способными управлять проектом районного теплоснабжения. В случае низкого доверия к органам власти или неэффективных государственных структур репутация структур с государственной собственностью, несомненно, пострадает. В любой принадлежащей государству коммунальной энергетической компании ключевыми факторами, обеспечивающими эффективную работу РТХС, будут прозрачность, демократическое управление и подотчётность.

Собственность потребителей

- **Преимущества:** поскольку собственниками являются сами потребители, их интересы совпадают, и нет причины включать маржу прибыли в цену продаваемого тепла, так как она напрямую вернётся к самим потребителям.
- **Проблемы:** привлечение достаточного количества, или критической массы, местных потребителей может быть трудной задачей. Системы районного теплоснабжения, находящиеся в собственности потребителей, также требуют профессиональных знаний и навыков для обеспечения оптимальной работы и развития системы.

Частная собственность

- **Преимущества:** если обеспечена достаточная конкуренция, частные компании будут мотивированы на оптимальную эксплуатацию, развитие системы и вложение в неё инвестиций. Зачастую частные компании имеют доступ к капиталу, который может быть недоступен для структуры в собственности государства или потребителей. Но данный аспект также зависит от режима регулирования, и в некоторых странах (например, в Дании) коммунальные предприятия в государственной собственности имеют доступ к гарантированным государством займам.

- **Проблемы:** в районных энергетических системах обеспечение достаточной конкуренции и структур, подобных рыночным, может быть трудной задачей. Поэтому частные структуры, вероятно, будут контролироваться нормативными положениями по защите прав потребителей. Мониторинг и исполнение таких правил ценообразования может быть затруднён, так как государственные органы могут не иметь доступа ко всей оперативной информации, находящейся в распоряжении частной компании.

ЧГП

- **Преимущества:** государственный сектор может принимать на себя риски, неприемлемые для частного сектора; в то же время частный сектор осуществляет инновационные разработки. Проект также может привлекать такие источники финансирования, как гранты и льготные кредиты, к которым у частного сектора может не быть доступа.
- **Проблемы:** сложность финансирования, ценообразования и механизмов управления может вызвать недоверие к такому типу структуры собственности.

Во вставке 12 представлено несколько случаев, иллюстрирующих разные категории собственности.

ВСТАВКА 12. НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ МОДЕЛЕЙ СОБСТВЕННОСТИ

- В городе Ольборге (Дания) предприятие коммунального теплоснабжения принадлежит муниципалитету, который также владеет тепловой сетью и отвечает за подведение тепла. После покупки главной теплогенерирующей установки у частной энергетической компании находящейся в собственности муниципалитета коммунальное предприятие приступило к реализации стратегии получения энергии из экологически чистых источников, рассчитанной на период до 2050 года. Её промежуточной целью на 2028 год является производство тепла без использования ископаемого топлива, что фактически означает замену работающей на угле установки ТЭЦ.
- Город Гамбург (Германия) решил вернуть себе контроль над системой районного теплоснабжения после её продажи частной энергетической компании. При поддержке общественности местный орган власти в рамках городской политики инициировал переговоры с частным продавцом, в результате которых электростанция и распределительная сеть были выкуплены. Основной причиной такого решения стала декарбонизация городского сектора теплоснабжения и содействие Немецкой политике перехода к альтернативным источникам энергии («Энергетический поворот» – Energiewende). С сентября 2019 г. новоучреждённая муниципальная компания отвечает за систему районного теплоснабжения и контролирует примерно 80% сектора теплоснабжения в границах города. Переход на альтернативные источники энергии предполагает замену угля и внедрение сбросного тепла и возобновляемых источников тепла.
- Город Виборг (Дания) выделяется в качестве интересного примера в связи с распределителем тепловой энергии, находящимся в собственности потребителей. Он активно продвигает использование новых, энергоэффективных технологий для подачи тепла своим клиентам в рамках перехода на низкотемпературное районное теплоснабжение. Это было сделано по тем соображениям, что слияние производства и распределения позволило бы инвестировать в децентрализованные возобновляемые источники тепла, что в противном случае привело бы к конфликту с интересами отдельной структуры. Коммунальная энергетическая компания убедила городской совет продать свою долю в ТЭЦ для РТХС, находившейся в собственности муниципалитета.
- В городе Лендава (Словения) система РТХС находится под управлением частной компании (Petroil), владеющей трубопроводной сетью и системой по производству геотермальной энергии (геотермальная продуктивная скважина, скважина для обратной закачки), а также котлами для покрытия пиковых нагрузок. Управление системой районного теплоснабжения осуществляет ЧГП (в рамках концессионного договора). Что касается цен, Энергетическое агентство Словении ввело регулирование цен на районное теплоснабжение. Такое регулирование выполняется в соответствии с постановлением о методике установления цен на районное теплоснабжение, в которой заданы критерии и основания для начальной цены на тепло и её изменений вследствие изменений допустимых расходов.

В.6.2 Ценообразование для РТХС

Большинство систем районного энергоснабжения требуют той или иной формы регулирования цен для защиты потребителей от монопольной ситуации. Очень важно, чтобы цены отражали полученный энергоресурс и чтобы структура и уровни ценообразования были прозрачными. Без такой прозрачности и уверенности в правильных ценах потребители потеряют доверие к системе районного энергоснабжения, которая затем будет испытывать негативные последствия от плохого управления и, возможно, целой череды негативных событий – отключений, повышения цен и неудовлетворённости потребителей.

Уплачиваемая потребителем цена должна покрывать все необходимые затраты, связанные с тепло- и (или) холодоснабжением. Следовательно, тарифы на теплоснабжение должны включать в себя постоянные и переменные затраты.

Постоянные затраты:

- инвестиции в производственный объект;
- инвестиции в сеть РТХС;
- стоимость финансирования;
- амортизация оборудования;
- административные издержки.

Переменные затраты:

- затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание производственного объекта;
- затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание сети РТХС;
- затраты на топливо.

На стоимость теплоснабжения могут влиять КПД производственных объектов, тепловые потери в сети, цены на топливо и электроэнергию, налоги, финансовая поддержка и гранты. В целом самую большую часть издержек составляет стоимость топлива с учётом налогов. Следовательно, ценообразование должно также строиться, опираясь на уровень потребления помимо издержек при полном использовании генерирующих мощностей и постоянных затрат. Для стимулирования энергоэффективности и удовлетворения спроса на энергию потребители должны платить, исходя из количества использованной энергии (оплата на основе потребления), а не только по твёрдому тарифу (Djørgen et al., 2020). Это, например, является центральным элементом Директивы ЕС по энергоэффективности (Статьи 9-11) (Европейский парламент, 2018b), направленной на внедрение счётчиков энергии там, где это экономически целесообразно.

В целом существуют три основные модели регулирования цен: на основе истинной себестоимости, максимального тарифа и отсутствие регулирования цен (Djørgen et al., 2019a).

«Для поддержания доверия потребителей механизмы ценообразования должны обеспечивать прозрачность.»

Ценообразование на основе истинной себестоимости

Оно используется, например, в секторе районного теплоснабжения в Дании. Согласно такой модели в цену отопления могут быть включены только затраты, относящиеся к производству и распределению тепла для потребителей. Сюда входят амортизация активов и финансовые затраты на поддержание деятельности компаний районного теплоснабжения и обеспечение возможности их развития в кратко- и долгосрочной перспективе.

- **Преимущества:** данная модель работает исправно, когда стремления сторон к поддержанию цен на низком уровне совпадают. Положительная сторона заключается в том, что это удерживает органы государственной власти от использования прибыли, полученной от районного энергоснабжения на другие общественные нужды.
- **Проблемы:** эта модель не предусматривает контроля возрастающих расходов, связанных, например, с эксплуатацией и техническим обслуживанием, увеличением времени амортизации или заработной платой. Эти аспекты представляют собой области, где можно ввести максимизацию прибыли. Успех ценообразования на основе истинной себестоимости зависит от равного доступа сторон к информации о том, каким образом устанавливаются цены, поскольку в тех ситуациях, когда государственные регулирующие органы не имеют доступа ко всей необходимой информации о структуре ценообразования, могут возникнуть проблемы.

Максимальный тариф

Принцип максимального тарифа используется в датских системах районного теплоснабжения. В данной модели это максимально допустимая цена на продаваемое тепло, которая, как правило, устанавливается в сопоставлении с другими типами систем теплоснабжения. В Нидерландах максимальный тариф устанавливается путём сопоставления с затратами на теплоснабжение на основе природного газа. Он предусматривает, что цена на отопление от поставщика районного теплоснабжения не может превышать стоимость поставляемого эталонного источника тепла. Разброс верхнего предела цен позволяет владельцам получить определённый процент прибыли.

- **Преимущества:** это простая модель, гарантирующая, что цены останутся на уровне, не превышающем заданный политикой предельный уровень. Она также способствует эффективности затрат в компаниях РТХС, так как инвестиции или затраты, в результате которых цены на тепло превысят пороговое значение, не смогут быть покрыты.
- **Проблемы:** это довольно жёсткая модель, которая зачастую не учитывает местные условия. Она также не учитывает влияние мировых цен на природный газ и то, как падающие цены могут негативно отразиться на стоимости услуг теплоснабжения в тех случаях, когда капитальные и операционные затраты по проекту были заложены исходя из более высоких цен. Такая ситуация может регулироваться специальными законами. Такая модель также вызывает вопрос о том, что представляет собой экономически целесообразная базисная цена. Является ли природный газ полезным ориентиром на мировом рынке и существует ли механизм включения цены на углерод? Может ли цена быть задана как стоимость работающих на возобновляемых источниках энергии индивидуальных установок теплоснабжения или тепловых насосов? Данная модель также даёт стимул устанавливать цены РТХС чуть ниже базисной цены для максимизации дохода. Ценообразование на основе максимального тарифа опирается на равный доступ к информации о том, как устанавливаются цены, и в тех ситуациях, когда компании имеют больше информации, чем органы государственной власти, могут возникнуть проблемы.

Отсутствие регулирования цен

Модель с отсутствием регулирования цен обычно сочетается с отсутствием регулирования обязательных подключений. Поэтому потребители, уплачивающие высокие тарифы в одной сети РТХС, вправе выбрать другие варианты теплоснабжения, в том числе индивидуальные системы. В этом случае компании, предоставляющие услуги РТХС, будут вынуждены убеждать потребителей в качестве и низкой цене их продукта, прежде чем потребители подключатся к ним. Примером этого служит город Гётеборг в Швеции.

- **Преимущества:** это простой метод, который не требует тщательного регулирования и потенциально может приводить к эффективным ценам при наличии надлежащих механизмов (конкуренции).
- **Проблемы:** такая модель не учитывает в достаточной степени невозполнимые издержки разработчиков или затраты, понесённые потребителями, которые подключаются к системам РТХС. Сменить системы теплоснабжения обычно нелегко, и такой шаг станет прибыльным только с течением длительного периода времени. Данная модель также содержит значительную долю риска для компаний по РТХС, так как они не знают с уверенностью ёмкость своего рынка. Это также влечёт риск неэффективного решения проблемы монопольной ситуации в системах РТХС.

В странах без традиции систем районного энергоснабжения определение тарифов на тепло и составление соглашений о покупке тепла может быть затруднительным. Принципиально важно, чтобы эти цены и тарифы устанавливались с соблюдением принципа прозрачности, чтобы потребитель видел всё, за что он платит. Сюда входит указание затрат на топливо, инвестиции, эксплуатацию и техническое обслуживание, прибыль, заработную плату и т.д. Также важно обеспечить наличие независимого органа, который может сравнить цены разных коммунальных энергетических компаний и выявить завышенные цены или нарушения в ценообразовании и наказать за это виновные стороны.

Основной вопрос при определении правил ценообразования – способность обязать соблюдать такие цены, а также наличие информации. Принцип истинной себестоимости ограничен неравным доступом к информации о затратах на производство, финансирование, эксплуатацию и техническое обслуживание, и для независимого регулирующего органа может быть затруднительно оценить цены надлежащим образом. Поэтому важно рассматривать вопрос собственности вместе с вопросом регулирования цен. Кроме того, очень важно иметь доступ к статистике цен, так как это позволяет сравнивать разные коммунальные предприятия.

В конечном счёте, установление цен на поставки РТХС будет зависеть от местных условий, регулирования и практики. В целом важно то, чтобы лица, ответственные за разработку политики, выбирали механизмы ценообразования, которые отражают себестоимость и затраты на обеспечение мощности, остаются конкурентоспособными и обеспечивают прозрачность, позволяя заслужить доверие потребителей к вариантам районного снабжения.

V.6.3 Регулирование

Регулирование РТХС

Законодательство и регулирование в сфере РТХС – это обширная тема, которую невозможно полностью охватить в данном докладе. Вместо этого здесь будет представлен общий отчёт о различных подходах.

В целом можно выделить три типа управления районным тепло- и холодоснабжением (Werner, 2004):

- специальное законодательство в сфере районного тепло- и холодоснабжения;
- отсутствие специального законодательства в сфере районного теплоснабжения, но наличие некоторых налоговых рычагов;
- отсутствие специального законодательства в сфере районного теплоснабжения и отсутствие налоговых рычагов.

Некоторые страны с длительной историей районного теплоснабжения, такие как Польша, Венгрия или Эстония, разработали специальное законодательство в сфере районного теплоснабжения (Werner, 2004). Другие страны

регулируют сектор районного тепло- и (или) холодоснабжения либо с помощью общего законодательства в сфере тепло- и (или) холодоснабжения, либо других законов, например, законодательства в сфере энергоэффективности, энергоснабжения или охраны окружающей среды. В некоторых странах регулирование теплоснабжения отсутствует вовсе.

Регулирование должно обеспечивать единые «правила игры», долгосрочную стабильность, проектирование системы и энергопоставок с наименьшими издержками, а также управление преимуществами и вредными последствиями для окружающей среды. Единые «правила игры» должны, например, регулировать ценовые диспропорции в разных типах энергопоставок, например субсидированные цены на газ для населения. Как было упомянуто ранее, сети РТХС должны рассматриваться как инфраструктура наравне с электрическими, газовыми или водопроводными сетями.

В некоторых странах предусмотрены сложные требования к подаче заявок, а также длительные процессы оценки и одобрения, включая заявки на модернизацию существующих систем. Это повышает инвестиционную неопределённость, которая может выразиться в более высоких затратах. Следовательно, лица, ответственные за разработку политики на общегосударственном и местном уровнях, должны гарантировать облегчённые и быстрые процедуры выдачи разрешений.

Лица, ответственные за разработку политики, также могут рассмотреть способы повышения прозрачности и стимулирования представления правдивой информации потребителям с помощью регулирования. Например, обновлённая версия Директивы ЕС о возобновляемых источниках энергии (Статья 24.1 Директивы 2018/2001/ЕС) требует, чтобы национальные органы власти стран ЕС обеспечивали информирование конечных потребителей энергии об эффективности и доле возобновляемых источников энергии в снабжающих их системах РТХС. Данная информация должна быть легко доступна, например, на счетах за электроэнергию, на сайтах поставщиков или по запросу. Такая мера может подтолкнуть лица, ответственные за разработку политики, вне ЕС повышать осведомлённость потребителей об использовании возобновляемых источников энергии и улучшениях в области энергоэффективности.

Кроме того, регулирование должно обеспечивать такую структуру рынка, которая стимулирует проектирование энергетических систем с наименьшими издержками и с учётом социально-экономических аспектов. Это сложная задача, которая требует периодического пересмотра. Но структура рынка должна стимулировать технологии, которые были определены как экономически целесообразные для общества при установлении технических сценариев, как было описано в предыдущих разделах. И, наконец, регулирование и структура рынка должны учитывать крупнейшие внешние факторы и управлять ими. Принципиально важно, чтобы лица, ответственные за разработку политики, разработали такую структуру рынка, которая отражает важные социальные цели, такие как чистый воздух, декарбонизация или доступ к энергии.

Регулирование геотермальной энергии

Разработка геотермальных ресурсов в целях обеспечения теплом, холодом и электроэнергией в большинстве стран регулируется горным и водным законодательством, законами об охране окружающей среды, законодательством в сфере геологических и возобновляемых ресурсов, а также нормативно-правовыми актами по землепользованию. В некоторых случаях были приняты отдельные законы о геотермальной энергии (Rupprecht et al., 2017).

Ключевым элементом регулирования геотермальных ресурсов является определение геотермальной энергии. В ЕС (Статья 2 Директивы 2009/28/ЕС), геотермальная энергия определяется как «энергия, хранящаяся в форме тепла под поверхностью Земли». Однако на национальном уровне стандартного юридически закреплённого определения нет, так как данный ресурс определяется по-разному разными органами.

Собственность на геотермальные ресурсы в большинстве юрисдикций принадлежит национальным или региональным правительствам.

Самыми распространёнными лицензиями, выдаваемыми органами власти с целью регулирования деятельности в сфере геотермальной энергии, являются лицензии на разведку, разработку, бурение и на производство энергии. Применительно к геотермальной энергии регулируются такие аспекты, как право на доступ к ресурсу, права и обязательства по использованию геотермальной воды (в части её извлечения и обратной закачки), бурения и защиты окружающей среды.

Для целей нормативно-правовых актов геотермальные ресурсы классифицируются по-разному, чтобы обеспечить надлежащий уровень регулирования. Классификация учитывает различные аспекты ресурса, такие как:

- термодинамические свойства геотермальной воды (температура, давление и т.д.);
- глубина бурения и извлечения;
- конечное потребление (генерация электроэнергии, тепло- и (или) холодоснабжение);
- установленная мощность тепловой и (или) энергетической установки.

Законы и нормативные акты, регулирующие выдачу лицензий на извлечение геотермального ресурса (или минерала, или воды), играют ключевую роль в стимулировании перехода на геотермальную энергию. Однако они иногда считаются слишком неэффективными или слишком сложными и обременительными, чтобы привлечь инвестиции.

Во многих странах отсутствует специальная политика (например, дорожные карты или специальные правила лицензирования) в отношении использования геотермальных ресурсов для тепло- и (или) холодоснабжения. Первым шагом является чёткое определение и классификация геотермальных ресурсов.

В этом отношении хорошим примером может служить Италия, где было выделено три класса геотермальных энергетических систем. Это высокотемпературные системы (> 150 °C), среднетемпературные системы (150-90 °C) и низкотемпературные системы (< 90 °C). Кроме того, все геотермальные тепловые насосные системы тепловой мощностью < 2 МВт и со скважинами, пробуренными на глубину до 400 м, считаются «водными ресурсами» и не требуют лицензии на разведку и добычу (Angelino et al., 2016). Такая классификация может потребоваться для того, чтобы небольшие проекты и более мелкие скважины (например, глубиной до 400 м) могли воспользоваться упрощенными

процедурами получения разрешений по сравнению с более масштабными проектами по добыче высокоэнтальпийных ресурсов.

Введение специального упрощенного режима получения лицензий для разработки геотермальных ресурсов могло бы способствовать привлечению большего объема инвестиций и стимулировать разработку проектов. В этой связи в рамках финансируемого ЕС проекта GeoDH была предложена идеальная нормативная база для геотермального районного теплоснабжения, которая может быть адаптирована к конкретным условиям (см. вставку 13).

ВСТАВКА 13. НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ РАЙОННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ: ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ, СОСТАВЛЕННЫЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА GEODH

- Общегосударственные и местные правила должны включать в себя определение геотермальных энергетических ресурсов и сопутствующих терминов.
- Должны быть гарантированы права собственности.
- Административные процедуры по выдаче лицензий на разработку геотермальных ресурсов должны соответствовать цели: быть по возможности упрощены, и возлагаемая на заявителя нагрузка должна отражать сложность, затраты и возможные последствия предлагаемого освоения геотермальной энергии.
- Правила, регулирующие процедуры выдачи разрешений и лицензий, должны быть соразмерными и упрощенными и в соответствующих случаях передаваться на региональный (или местный) уровень управления.
- Административный процесс должен быть сокращен.
- Правила в отношении районного теплоснабжения должны быть максимально децентрализованы с целью адаптации к местным условиям, а также должны предусматривать использование обязательной минимальной доли энергии из возобновляемых источников.
- Должен быть создан специальный орган по лицензированию деятельности в сфере геотермальных ресурсов.
- Информация о геотермальных ресурсах, пригодных для использования в геотермальных системах районного теплоснабжения, должна быть легкодоступна.
- Геотермальное районное теплоснабжение должно быть включено в общегосударственное, региональное и местное планирование и стратегии в сфере энергетики.
- Лица, ответственные за разработку политики, и должностные лица должны быть хорошо информированы о геотермальной энергии.
- Технические специалисты и энергосервисные компании (ЭСК) должны быть обучены геотермальным технологиям.
- Для содействия признанию общественностью разработки проектов в сфере геотермального районного теплоснабжения необходимо обеспечивать информацию и консультироваться с гражданами по вопросам, связанным с такими проектами.
- Законодательство должно быть направлено на защиту окружающей среды и расстановку приоритетов в отношении использования недр.

<http://geodh.eu/wp-content/uploads/2012/07/D-3.5-GEODH-Regulatory-Framework-17-02-2014.pdf>

Источник: GeoDH (2014)

Регулирование солнечной тепловой энергии

Для установки солнечных коллекторов обычно требуется разрешение местных властей. В случае монтажа солнечных коллекторов на крышах зданий могут применяться определённые ограничения (особенно в отношении старых зданий и зданий в исторических районах). Как правило, требуется только разрешение на строительство (Sørensen *et al.*, 2012).

Что касается солнечных установок наземного монтажа, чувствительным вопросом может быть визуальное воздействие устанавливаемых систем вследствие особенностей ландшафта и вытекающих из этого ограничительных законов касательно визуального воздействия и защиты внешнего вида местности. Способом решения этого вопроса могла бы стать региональная стандартизация процедур выдачи разрешений, необходимых для разработки проекта районного теплоснабжения на основе солнечной энергии. Конечно, достижение такого серьёзного результата зависит от политической воли и целенаправленных усилий, а также полномочий региона и его муниципалитетов. Довольно часто органы власти на нижних уровнях не могут разрабатывать законодательные акты, идущие вразрез с национальным законодательством в области визуального воздействия и защиты внешнего вида местности (Trier, 2018).

Чтобы предотвратить или свести к минимуму воздействие солнечных систем на землю, можно использовать различные стратегии. Среди них – использование деградированных земель или совмещение солнечных систем с сельскохозяйственными землями (Fritsche *et al.*, 2017).

Для установки солнечной системы районного теплоснабжения требуется разрешение природоохранных органов, так как такие установки обычно содержат гликоль. Также важно определить конкретные условия, в которых у государственного органа власти есть право вето. Примером такого вида условий являются интересы в области питьевой воды. Если система требует длительного хранения тепла, например, аккумулирования тепла в водоёмах или скважинах, также потребуются специальное разрешение, обеспечивающее защиту питьевой воды (Sørensen *et al.*, 2012).

Регулирование в сфере сбросного тепла

Каких-либо правил, ограничивающих интеграцию сбросного тепла в сети РТХС, нет. Однако, ситуация на рынке РТХС в разных странах различается, что обуславливает различные рекомендации политики в зависимости от местных условий.

Например, в ЕС были приняты законы, стимулирующие государства-члены ускорить декарбонизацию сектора тепло- и холодоснабжения и признающие роль сбросного тепла. Однако в новой Директиве о возобновляемых источниках энергии (Европейский парламент, 2018а), источники тепла, например, сбросное тепло из туннелей и метро, процессы переработки энергии в газ и т.д. не могут включаться в национальные целевые показатели в области возобновляемой энергии, что может иметь эффект несбалансированного

режима. Кроме того, в определении сбросного тепла термин «вынужденного использования» сложно определить, так как он может относиться как к экономической, так и к технической осуществимости. В Директиве ЕС по энергоэффективности зданий (Европейский парламент, 2010) прогнозируются минимальные требования к коэффициенту первичной энергии новых и модернизированных зданий. Однако этот коэффициент вводят государства-члены, и иногда он неблагоприятен для сбросного тепла.

Длительные периоды окупаемости приводят к экономическим и финансовым препятствиям. Это связано с вероятно возросшими затратами на инвестирование и довольно низкими доходами от продажи тепловой энергии, особенно летом. Таким образом, отсутствие долгосрочных гарантий касательно наличия сбросного тепла в будущем создаёт риск инвестиционных убытков. Кроме того, максимальные периоды амортизации промышленных компаний варьируются от 2 до 3 лет, в то время как компании РТХС ориентированы на длительные сроки, т.е. здесь зачастую приемлемы периоды амортизации длительностью до 20 лет. Кроме того, мнения о стоимости сбросного тепла разнятся, т.е. частные компании обычно стремятся получить максимальную прибыль. Для обеспечения доступности сбросного тепла с течением времени рекомендуется заключать долгосрочные контракты. Приглашение к участию в тендере на поставку тепла также может гарантировать, что тепло будет продолжать поставляться в сеть при любых обстоятельствах.

Строительные нормы

Во многих странах правила в отношении тепло- и холодоснабжения включены в нормы, регулирующие здания и энергоэффективность. Как правило, такой тип регулирования направлен на одно здание и его энергопотребление, а не на роль здания в более широкой энергетической системе, как и в случае с сертификацией экологических зданий, например, в соответствии с «Руководством по энергоэффективному и экологическому проектированию» (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) или «Методом экологической оценки эффективности зданий» (Building Research Establishment Environmental Assessment Method – BREEAM).

Чтобы строительные нормы также стимулировали районное энергоснабжение, необходимо, чтобы лица, ответственные за разработку политики, и регуляторы на общегосударственном и местном уровнях рассматривали энергетическую систему в целом, а не просто фокусировались на отдельных зданиях. Подход интеллектуальных энергетических систем представлен в разделе 1.2 части А, а подход к энергоэффективности с позиций системы – в разделе 3.3 части В.

Центральным элементом является вопрос, какую энергию рассматривают правила и стандарты, относящиеся к минимальным требованиям энергоэффективности зданий, – конечную или первичную. Конечное энергопотребление, измеряемое на уровне здания, не учитывает более значительное повышение эффективности на уровне энергетической системы.

При использовании первичной энергии (в качестве оценки роста эффективности) также рассматриваются улучшения эффективности, выявленные, например, в производственной части, где установки РТХС улучшают эффективность энергосистемы.

К тому же лица, принимающие решения, могут обеспечить, чтобы минимальные требования к энергоэффективности и энергетические паспорта для зданий не только повышали ценность выработки возобновляемой электроэнергии в местах потребления, но также учитывали положительное воздействие возобновляемого тепла и холода, вырабатываемых на внешних технологических объектах и поставляемых системой РТХС. Свидетельства об энергоэффективности также должны повышать ценность зданий с системой РТХС, работающей на экологически устойчивых источниках, т.е. это должно быть четко указано.

Что касается самого здания, правила должны требовать, чтобы здание было оснащено оборудованием, спроектированным для работы при низких температурах, независимо от текущего наличия районной энергетической системы в районе. Это облегчит подключение здания к районной энергосети в будущем.

Кроме того, на зрелых рынках, где доверие к РТХС достаточно высокое, может быть введено обязательство подключения к такой сети. Такая ситуация имеет место в Италии, где новые здания должны быть подготовлены к районному теплоснабжению и подключаться к такой сети, если система находится в пределах 1 км от здания (Министерство экономического развития, 2015; Costanzo *et al.*, 2018).

В.6.4 Финансирование

Новые районные энергетические системы, основанные на возобновляемой энергии, модернизация и переход на низкотемпературные возобновляемые источники энергии в существующих системах

Для строительства и модернизации сети РТХС, а также некоторых проектов в сфере возобновляемого теплоснабжения, требуются существенные начальные капитальные затраты. Хотя сети РТХС должны, в конечном итоге, окупаться, может пройти десяток лет или больше, прежде чем будут возвращены начальные затраты (например, на проектирование и строительство) и получена какая-либо прибыль. Поэтому такие проекты – хороший вариант вложений для инвесторов, ищущих сравнительно надёжный долгосрочный источник дохода, а не быструю отдачу на вложенные средства.

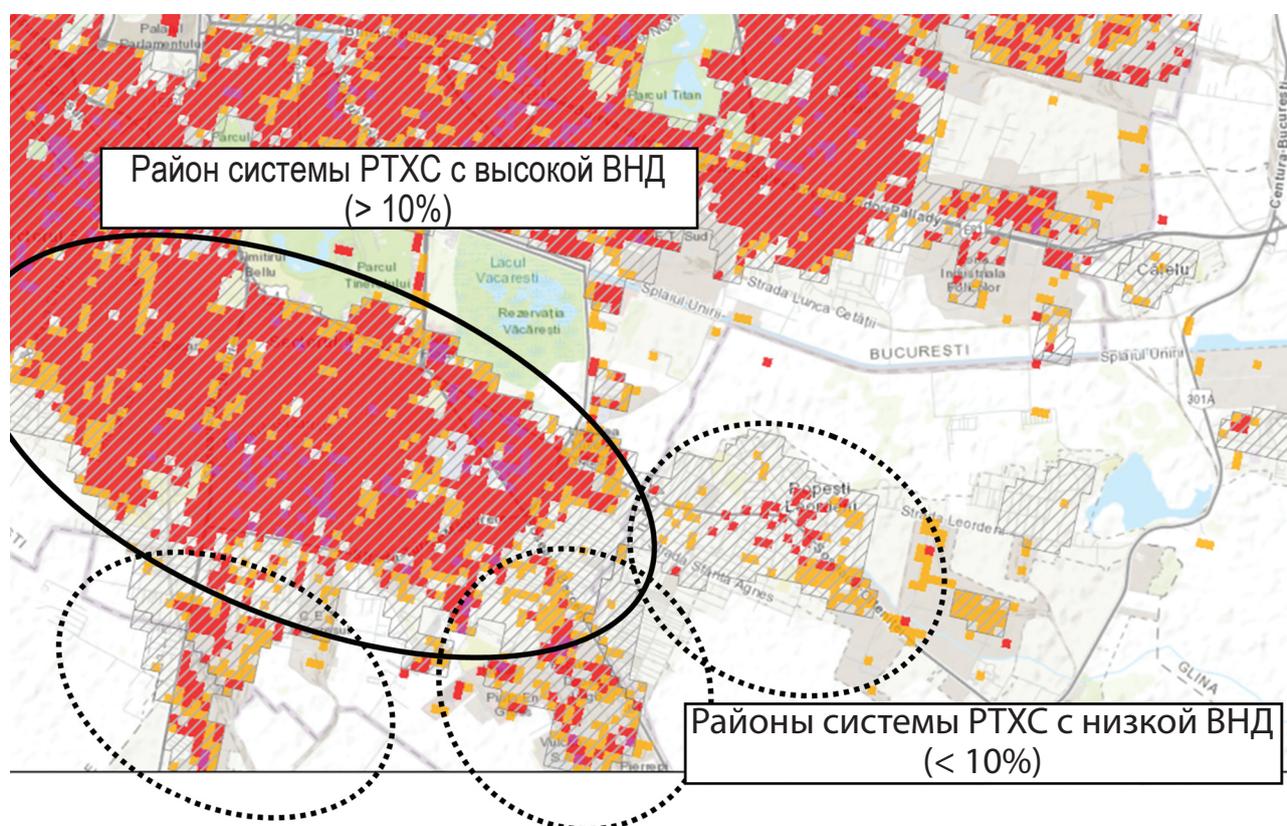
«Районные энергетические проекты – хороший вариант для инвесторов, ищущих сравнительно надёжный долгосрочный источник дохода, а не быструю отдачу на вложенные средства.»

Существенным препятствием для инвестиций в системы РТХС может стать неопределённость, связанная со спросом на тепло, потенциалом возобновляемых ресурсов или сбросного тепла, возможными потребителями или тарифами за подключение. Поскольку инвестиции в сети районного теплоснабжения рассчитаны на длительный срок окупаемости, необходимо обеспечить долгосрочную стабильность. Это можно сделать, например, с помощью концессионных договоров, зонирования и обязательных подключений либо подключения государственных учреждений-потребителей, а также пользователей с высоким спросом.

Один из способов управления риском в новых проектах разработки – начать с хорошо известных клиентов с высоким спросом, например, с больниц, промышленных предприятий, бассейнов или других объектов, чья плотность спроса на тепло предсказуемо стабильна и высока. Отдельные клиенты с высоким спросом повышают надёжность инвестиций, если они соглашаются на долгосрочные контракты. Такую стратегию также можно назвать «выполнением наиболее доступных задач».

Преимуществом таких стратегий является то, что начало реализации с районов с высоким спросом позволит начать строительство сети. Благодаря таким примерам новые компании районного теплоснабжения смогут набраться опыта и впоследствии расширить свою деятельность. В примерах с высокой ВНД зачастую больше возможностей для обучения, чем в примерах с низкой ВНД. Поэтому начало работы по новым разработкам с самых рентабельных районов может служить важным способом создания новых систем.

Рисунок 34. Пример разработки районного теплоснабжения для районов с высокой и низкой ВНД



Примечание. Районы даны лишь как общий пример, они не представляют собой конкретный пример. РТ: районное теплоснабжение

Источник: Ольборгский университет, на основе данных РЕТА 4 (без даты)

Проблема, связанная с начальным выбором самых прибыльных районов, заключается в том, что разработчики могут исключить менее выгодные районы и никогда не подключить их к сетям районного теплоснабжения. Пример представлен на рисунке 34. На нём показан район с высоким спросом на тепло и три подключённых района с более низким спросом на тепло. Все четыре района согласно карте РЕТА 4 являются возможными районами для поставок и могут быть подключены к системе районного теплоснабжения (Фленсбургский университет, Хальмстадский университет и Ольборгский университет, 2018). Если район с высоким спросом будут осваивать первым, без обязательства освоения остальных трёх районов, последние могут оказаться нерентабельными после реализации районного теплоснабжения в самом рентабельном районе.

Планировщики в сфере РТХС и лица, принимающие решения, должны учитывать эту дилемму, например, при планировании новых районов, проведении новых тендеров, выполнении нового зонирования для РТХС и т.д. Они должны обеспечить развитие РТХС для районов, считающихся рентабельными с социально-экономической точки зрения (см. часть В.3.4 «Создание сценариев теплоснабжения»), а не только для районов, рентабельных с коммерческо-экономической точки зрения.

Освоение низкотемпературных ресурсов (например, геотермальной энергии) также считается финансово рискованным, особенно на раннем этапе разработки, в условиях недостаточной информации о подземных слоях. Геологический риск, присутствующий на раннем этапе освоения геотермальных ресурсов, связан с бурением сухих скважин вследствие низкой или нулевой проницаемости.

Геотермальный проект может испытывать сложности с привлечением финансирования до того, как наличие ресурса будет подтверждено путём успешного заверочного бурения. Кроме того, начальные инвестиции, требуемые для развития системы районного теплоснабжения на основе геотермальной энергии, обычно гораздо выше, чем для других ресурсов. Это объясняется, как правило, капиталоемкой фазой бурения. Кроме того, у геотермальных проектов более длительный срок развёртывания.

Традиционными источниками финансирования для районного теплоснабжения являются муниципальные ресурсы, а также гранты и льготные кредиты. Гранты и льготные кредиты обычно поступают из международных, местных или национальных фондов или из инициативных программ на уровне города (Leoni, Geyer and Schmidt, 2020).

Правительству стоит предпринимать меры по повышению привлекательности возобновляемой энергии в системах РТХС. Экономические и финансовые инструменты могут включать в себя прямые инвестиции (государственные закупки, гранты), например, те, которые принесли пользу городу Цзинаню в Китае (см. вставку 14); фискальные и финансовые стимулы («зелёные» тарифы, налоги или освобождение от них); либо рыночные инструменты («зелёные» или «белые» сертификаты, «зелёные» облигации).

Кроме того, программы банков развития могут внести вклад в поддержку финансирования (а также проведение технико-экономических расчётов). Программа фонда районного энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии на Западных Балканах (ReDEWeB) Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР; без даты) направлена на содействие инвестициям в районную энергетику на основе возобновляемых источников на Западных Балканах (см. вставку 15).

ВСТАВКА 14. ЦЗИНАНЬ (КИТАЙ)



С 1980-х гг. районное теплоснабжение является основной технологией, разработанной правительством г. Цзинаня для обеспечения должного теплоснабжения горожан. До недавних пор политика и государственные инвестиции стремились удовлетворить растущий спрос на тепло путём расширения сети и развития мощностей в системе, работающей на угле.

В 2015 году формирование политики в сфере районного теплоснабжения вступило в новую стадию, в ходе которой была поставлена цель ускорить достижение сверхнизких выбросов от котлов на угольном топливе. Вскоре после этого нормативная база стала более конкретной и полной: в ней были указаны действия, направленные на замену тепловой энергии на основе угля «чистым отоплением». Соответственно, выросло и финансирование.

В последние годы Китай в целом придаёт большое значение экологически чистому теплоснабжению, был принят ряд политических мер для продвижения, поддержки

и ускорения реализации «чистого» отопления. Будучи одним из городов, где была реализована национальная пилотная программа «чистого зимнего отопления», Цзинань в течение 3 лет ежегодно получал 100 миллионов долларов США в качестве специальной финансовой поддержки от центрального правительства.

При содействии национальной политики чистого теплоснабжения Цзинань разработал план достижения свободной от загрязнения системы теплоснабжения к 2020 году. Помимо демонтажа или замены котлов на угольном топливе этот план предусматривает использование альтернативных источников тепла, таких как передаваемое на дальние расстояния сбросное тепло и геотермальная энергия. В плане также рассматривается управление на стороне спроса с помощью интеллектуальных счётчиков и принятия мер по обеспечению энергоэффективности фонда зданий.

Данный пример демонстрирует эффективное использование национальной политики в энергетическом секторе и субсидий для местных проектов районной энергетики на основе возобновляемых источников.



Источник: Shutterstock

Город Цзинань, столица провинции Шаньдун (Китай)

ВСТАВКА 15. ПРОГРАММА ЕБРР ПО РАЙОННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ЗАПАДНЫХ БАЛКАНАХ

Программа ReDEWeB была создана ЕБРР с целью поддержки развития рынка районной энергетики на основе возобновляемых источников на Западных Балканах. В эту программу вошли Албания, Босния и Герцеговина, *Косово, Северная Македония, Черногория и Сербия.

Программа нацелена на развитие устойчивых городских энергетических систем в конкретных местных условиях западно-балканских стран путём принятия следующих мер:

- поддержки стран Западных Балкан в разработке планов действий для систем РТХС, работающих на основе возобновляемых источников энергии, и выполнении их контрактных обязательств, связанных с возобновляемой энергией и энергоэффективностью;
- поддержки внедрения мер городской политики, которые стимулируют генерацию, хранение и использование возобновляемой энергии в районных энергетических системах;

- поддержки муниципалитетов и частного сектора в подготовке инвестиционных предложений в сфере районной энергетики, технико-экономических обоснований и предварительных проектов;
- организации мероприятий для поощрения обмена опытом и лучшими методами развития и эксплуатации районных энергетических систем;
- финансирования или софинансирования отвечающих соответствующим критериям проектов районной энергетики на Западных Балканах (Lukić, 2018).

С помощью программы ReDEWeB ЕБРР предоставляет следующие виды финансовой поддержки для проектов в сфере районной энергетики: гарантированные государством кредиты национальным правительствам, гарантированные муниципалитетом муниципальные займы или целевые кредиты на сферу ЖКХ местному правительству, квазикорпоративные займы энергосбытовым компаниям на развитие коммунального хозяйства и займы для ЧГП или частного сектора.

* Обозначение Косово не исключает и не умаляет позиции по статусу и Резолюцию 1244 Совета Безопасности ООН (1999).

Рисунок 35. Связь между схемой снижения рисков и зрелостью геотермального рынка



Источник: Seyidov and Weimann (2020)

Частный сектор также может предоставлять финансирование, необходимое для разработки проектов районной энергетики. Однако нормативно-правовая база должна предусматривать возможность участия частного сектора, она также должна быть прозрачной и предсказуемой. Кроме того, структура тарифа на тепло должна позволять инвесторам покрыть все свои операционные расходы и получить прибыль, а также мотивировать более эффективных поставщиков тепла. Наконец, меры политики, такие как «зелёные» тарифы и налоговые льготы (например, освобождение от налогов, тепловое зонирование и привилегированный доступ к сети), могут стимулировать частный сектор инвестировать в РТХС (МФК, 2014).

Что касается конкретно геотермальной энергии, государственная поддержка и государственно-частные схемы взаимодействия, обеспечивающие производительность скважин, способствовали значительному росту доли геотермального тепла в таких странах, как Франция и Нидерланды (см. вставку 16). Как было продемонстрировано в финансируемом ЕС проекте GeoRisk, тип вспомогательных механизмов, используемых для снижения рисков геотермальных проектов, может зависеть от зрелости рынка страны / региона, как показано на рисунке 35.

Для молодых рынков могут быть предпочтительны механизмы, основанные на проектах, например, безвозмездные субсидии или конвертируемые займы. Это объясняется тем, что привлечение частного капитала может быть трудной задачей без вмешательства государственного сектора, особенно в целях снижения проектных рисков. Более развитые рынки с более богатым портфелем проектов могут принять схемы государственного страхования, схемы государственно-частного страхования и частные системы страхования (Seyidov and Weimann, 2020).

«Выбор механизмов поддержки для снижения рисков геотермальных проектов зависит от зрелости рынка.»

ВСТАВКА 16. СХЕМЫ СНИЖЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РИСКОВ



Источник: (Boissavy, 2019)

Нидерланды

Основанная на страховании схема смягчения геотермальных рисков компенсирует разработчикам недостаточно высокую, по сравнению с ожидаемой, производительность пробуренных геотермальных скважин, тем самым защищая от геологического риска геотермальных проектов. В соответствии с этой схемой застрахованному лицу выплачивается компенсация, если количество геотермической энергии, полученное из пробуренной скважины, меньше, чем ожидаемое количество такой энергии, рассчитанное с 90-процентной вероятностью (P_{90}), как показано на рисунке выше.

Для отвечающих соответствующим критериям проектов разработчик уплачивает премию, эквивалентную 7% от всех затрат на бурение, в соответствии со схемой. В случае полной неудачи проекта разработчик получает компенсацию в размере 85% от всех затрат, с верхним ограничением 11,05 миллионов евро (13,26 миллионов долларов) для неглубоких геотермальных проектов и 18,7 миллионов евро для глубоких геотермальных проектов.

С 2009 года, когда была введена данная схема, было успешно реализовано 11 проектов (по состоянию на май 2020 г.) и подано четыре требования о получении компенсации. Общая сумма субсидий, предоставленных в течение девяти раундов подачи заявок на использование схемы, на сегодняшний день составляет 146 миллионов евро (Ramsak, 2020).

Франция

Во Франции в 2009 г. был основан фонд возобновляемого тепла, после того как прекратила действовать схема смягчения рисков, существовавшая с 1980-х гг. Фонд тепла состоит из двух компонентов. Один из них покрывает геологический риск с помощью краткосрочного фонда, из которого разработчикам выплачиваются компенсации в случае безуспешного бурения. Другой компонент представляет собой долгосрочный фонд, из которого покрываются расходы на ремонтные работы (например, на повторное бурение инъекционных скважин в различных местах), проводимые для геотермальной системы с целью обеспечения её непрерывной работы. Этот фонд предназначен для страхования проектов, разрабатываемых в водоносном горизонте Доггер в Париже, а также в других регионах, таких как Эльзас, речное русло реки Роны, районы Средиземного моря и бассейн Аквитании.

С момента создания фонда возобновляемого тепла по состоянию на 2019 год было разработано десять новых проектов. Кроме того, геотермальные проекты, разрабатывавшиеся в 1980-х гг., также могут быть пригодны для дальнейшего бурения при задействовании фонда с целью продления их эксплуатационных сроков службы (Boissavy, 2019).

Ещё один пример выбора финансирования можно найти в Канаде. Большие площади страны лежат над осадочными бассейнами, про которые известно, что они содержат низкотемпературные геотермальные ресурсы. Однако здесь отсутствует производство геотермальной электроэнергии и стандартное прямое использование глубоко залегающих геотермальных ресурсов. Национальное правительство Канады инвестирует более 75 миллионов долларов США в несколько геотермальных проектов (для стандартного, нестандартного и комбинированного производства), чтобы доказать, что разработка геотермальных ресурсов может помочь стране сократить углеродные выбросы и уменьшить её зависимость от углеводородов и угля (Hickson *et al.*, 2020a).

На уровне проекта появились инновационные способы финансирования развития и расширения районной энергетической системы.

Например, районные энергетические компании, объединив усилия с энергосервисной компанией (ЭСК), могут предлагать потребителям энергосберегающие программы напрямую (Leoni, Geyer and Schmidt, 2020). Такой способ был реализован оператором районного теплоснабжения Toplana-Šabac в городе Шабац в Сербии (Jovanović, 2019). В рамках таких программ обычно предусматривается энергетический аудит жилища или здания, а клиентам предлагается финансирование, которое погашается через счета за коммунальные услуги. По окончании срока окупаемости инвестиций потребители пожинают плоды экономии в виде меньших сумм в счетах за энергию, что позволяет энергетической компании удерживать клиентов. Кроме того, благодаря достижению высокого уровня эффективности, поиск вариантов устойчивого энергоснабжения, например, РТХС на основе сбросного тепла или возобновляемых источников энергии, может принять форму экономически эффективного способа удовлетворения остающегося спроса на энергию. Это означает наличие возможности расширения районной энергосети без увеличения установленной тепловой мощности, но с переходом на низкотемпературные источники энергии.

Предлагаемые идеи касательно инновационных бизнес-моделей, нацеленных на оптимизацию систем РТХС с помощью мер, принимаемых на стороне здания, предполагают согласованные действия для преодоления ключевых экономических, социальных, технологических и регуляторных препятствий для снижения температур подачи (Leoni, Geyer and Schmidt, 2020). Такие решения опираются на следующие три аспекта:

- Привлечение клиентов для достижения операционной эффективности на уровне здания. Этого можно достичь путём построения лучших отношений и предоставления информации, добавления новых структур тарифов и предложения услуг с персонализированными промо-акциями.
- Финансирование мер оптимизации и обнаружение неисправностей. Этого можно достичь путём налаживания стратегических партнёрств и платформ краудфандинга.

- Заключение контрактов об энергосбережении. Это важнейшее условие для решения проблем, связанных с конфликтами интересов в арендном жилье. Экономия энергии в здании ведёт к уменьшению счетов за энергию для жильцов. Однако если жилец является арендатором, владелец здания может не хотеть инвестировать в повышение энергоэффективности, если это не приносит ему выгоды. Такая ситуация приводит к так называемому конфликту интересов.

Кроме того, что касается финансирования, с помощью стратегических партнёрств с заинтересованными сторонами можно извлечь экономическую выгоду из более низкой рабочей температуры. Согласно исследованию Leoni, Geyer and Schmidt (2020), к таким потенциальным партнёрским структурам относятся:

- промышленный сектор и такая коммерческая деятельность, как центры обработки данных, которые могут поставлять низкотемпературную энергию, например, сбросное тепло, в систему РТХС;
- собственники технологий, подходящих для работы РТХС при низкой температуре обратного потока, например, солнечных тепловых систем и тепловых насосов;
- собственники информационных и коммуникационных систем для предоставления операционной поддержки в системах РТХС;
- собственники технологий и оборудования, позволяющих осуществлять низкотемпературную подачу в зданиях;
- Бизнес-схемы, в рамках которых выпускаются ваучеры, которые предприятие РТХС может приобрести и выдавать «добродетельным» потребителям, если такой метод мотивации приветствуется (Leoni, Geyer and Schmidt, 2020).

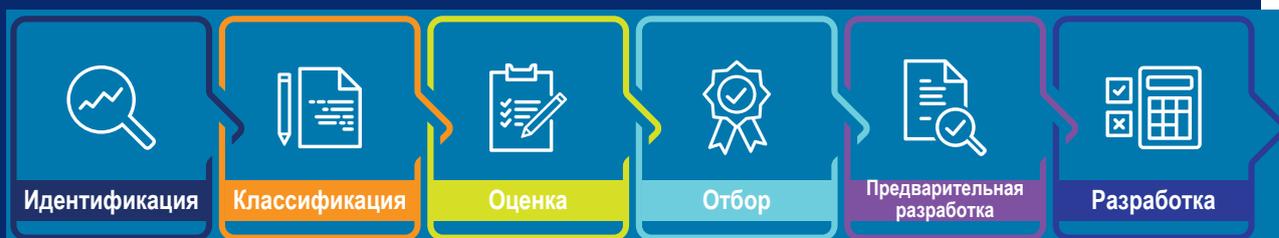
Такие заинтересованные стороны могут предоставлять финансирование для реализации снижения температуры в РТХС. Доход от таких инвестиций может принимать разные формы: для инвесторов в поставки сбросного тепла – продажа сбросного тепла, для разработчиков и поставщиков технологий – предоставление технологий коммунальной энергетической компании или клиентам, для инвесторов в рамках бизнес-схем, предоставляющих ваучеры, – продажа ваучеров. Другие возможные виды сотрудничества могут подразумевать создание совместных предприятий.

Проекты РТХС обычно привлекают инвесторов, которые стремятся не просто получить максимальную прибыль на свои инвестиции, но также содействовать деятельности, направленной на достижение этических, социальных и экологических целей. В связи с этим, потенциально конкурентоспособный вариант бизнес-модели финансирования районной энергетики даёт гражданам возможность принять участие в бизнесе, связанном с РТХС, с помощью платформ краудфандинга и пенсионных фондов (Candelise, 2018; Leoni, Geyer and Schmidt, 2020).

Краудфандинг представляет собой форму альтернативного финансирования, в которой разные люди предоставляют относительно небольшие суммы денег для проекта через веб-платформы. Это решение было выбрано в дополнение к государственным субсидиям с целью финансирования проекта геотермального районного теплоснабжения GeoMarne в муниципалитетах Шан-сюр-Мар и Нуазель в районе Большого Парижа во Франции (Richter, 2020). Таким образом жители региона Иль-де-Франс собрали 1 миллион евро, который стал частью инвестиций на общую сумму 40 миллионов евро.

Доступ к финансированию также может быть затруднён из-за низкого уровня институциональных и технических знаний, особенно в развивающихся странах. Такие знания требуются для обеспечения инвестиционной привлекательности проектов возобновляемой энергии. К числу инструментов, разработанных для решения такой задачи, относится проект Navigator от агентства IRENA (IRENA, без даты). Это онлайн-платформа, которая предоставляет поэтапное практическое руководство для разработки инвестиционно привлекательных проектов в сфере возобновляемой энергетики, включая проекты районной энергетики, как показано во вставке 17.

ВСТАВКА 17. РАЗРАБОТКА ИНВЕСТИЦИОННО ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ: РУКОВОДСТВО PROJECT NAVIGATOR ОТ IRENA



Разработанное агентством IRENA руководство Project Navigator содержит важнейшую информацию в помощь разработчикам проектов при составлении инвестиционно привлекательных предложений для проектов в сфере возобновляемой энергии. Это руководство проводит разработчиков проекта через типовые этапы разработки проекта. На каждом этапе описываются конкретные шаги, в том числе указываются результаты, которые должны быть достигнуты в конце каждого этапа разработки.

В Project Navigator описаны важнейшие шаги в общем жизненном цикле разработки проекта, начиная с идеи проекта, затем строительство, эксплуатация, техническое обслуживание и вывод из эксплуатации, включая действия и ожидаемые результаты.

Project Navigator также предоставляет примеры из реальной жизни, передовые отраслевые методы и соответствующие инструменты финансирования для каждой технологии. Кроме того, разработчикам предоставляется рабочее место и инструменты для подготовки проектов, отслеживания их прогресса и выявления недостатков. Результаты можно экспортировать для их дальнейшей обработки, используя такие инструменты, как финансовые модели или контрольные перечни.

<https://navigator.irena.org/index.html>



Краткий обзор проблем и рекомендаций по благоприятным нормативным условиям, моделям финансирования и бизнес-моделям

В данном разделе представлены различные модели и проблемы, связанные со структурой собственности, ценообразованием, финансированием и регулированием систем РТХС. Эти различные факторы тесно связаны и обычно влияют друг на друга. Таким образом, государственный или частный разработчик или компания РТХС должны одновременно учитывать все эти факторы для создания доверия к районной энергетической системе.

Из этой взаимосвязи следует, что комплексная схема управления РТХС должна включать в себя сочетание мер. Гораздо больше аспектов, чем представлено на рисунке 36, будет влиять на работу и функционирование систем РТХС в соответствии со схемами управления. К ним относятся знание местных условий, восприятие и принятие РТХС, эксплуатация систем, знания и практика проектирования, а также доступ к ресурсам. Выбранная схема управления должна обеспечивать рентабельность инвестиций, выгоду потребителя за счёт конкурентоспособных цен, а также способствовать прозрачности ценообразования.

Создайте комплексную схему управления районной энергетикой.

Общегосударственные и местные органы власти могут применять различные меры управления в секторе районной энергетики для достижения конкретных экономических и социальных целей.

- ➔ Определите и внедрите такую схему управления, которая гарантирует, что районная энергетическая система принесёт наибольшую социальную пользу. Такая схема может означать сочетание различных аспектов, таких как регулирование цен, структура собственности и законодательство. Например, принцип истинных затрат привёл к низким ценам в сочетании с государственной или общественной структурой собственности в датских системах районного теплоснабжения.

Обеспечьте равные условия игры.

Чтобы сделать районные энергетические проекты, основанные на возобновляемой энергии, конкурентоспособными по сравнению с другими существующими вариантами тепло- и холодоснабжения, общегосударственные и местные органы власти играют ключевую роль.

- ➔ Рассматривайте районные энергосети как объект жизнеобеспечения населения. Часто рекомендуется инфраструктура, которая хотя бы частично находится в государственной собственности, поскольку для успешного создания районной энергетической компании и связанной с ней инфраструктуры нередко требуются значительные инвестиции. Благодаря этому проекты могут привлекать недорогие и долгосрочные варианты финансирования, что способствует снижению стоимости энергии.
- ➔ Продвигайте конкуренцию на местных рынках тепловой энергии, например, путём тендеров на производство тепловой энергии. Множество теплогенераторов, конкурирующих по цене на энергоснабжение, устраняет опасность естественной монополии и поощряет инновации и эффективность производства, что приводит к удешевлению энергии.

Рисунок 36. Факторы, формирующие схему управления районным теплоснабжением



- ➔ Внедряйте различные инструменты на общегосударственном и местном уровнях для обеспечения равных условий игры: тарифы на тепловую энергию, налоговые рычаги, оптимизированное законодательство в сфере РТХС, регулирование и мониторинг цен, а также инструменты в отношении факторов внешнего порядка, например, формирование цен на CO₂. Все варианты развития экологически устойчивых систем следует рассматривать на комплексной основе, например, те, которые касаются строительных норм.
- ➔ Создайте благоприятную среду для возобновляемых источников энергии, таких как источники геотермальной и солнечной тепловой энергии, путём устранения нормативных барьеров, а также путём оптимизации и упрощения регулирования на местном и общегосударственном уровнях. Это может повлечь за собой нормы о доступе, разведке и эксплуатации геотермальных ресурсов, а также лицензировании проектов по солнечной тепловой энергии.

Устраните препятствия на пути следования инвестиций для обеспечения капиталоемкого перехода.

Общегосударственные и местные органы власти могут поддерживать операторов районного энергоснабжения, сводя к минимуму определённые риски, связанные с энергоресурсами, для привлечения дальнейшего финансирования.

- ➔ Поддерживайте разработку схем страхования для снижения риска, связанного с возобновляемыми источниками энергии, например, геотермальными источниками, путём выплаты компенсации инвесторам за бурение непродуктивных скважин и (или) за снижение продуктивности скважин.

- ➔ Обеспечьте прямое финансирование из государственного сектора или разработайте программы технического содействия. Эти средства могут использоваться для оценки целесообразности проектов, развития районной энергетической инфраструктуры на новых рынках или для оценки вариантов поставок возобновляемой энергии.

На уровне проекта можно принять следующие меры для привлечения финансирования:

- ➔ Оцените варианты по линии наименьшего сопротивления. Начните с потребителей с высоким спросом или общественных зданий. При этом убедитесь, что потенциал может быть использован в полную силу. Эта стратегия обеспечивает устранение неопределённости, связанной со спросом в новых застраиваемых районах, с целью разблокирования финансирования.
- ➔ Изучите инновационные методы финансирования, предполагающие партнёрство. Меры по повышению энергоэффективности на уровне здания могут финансироваться с помощью партнёрства с ЭСК или поставщиками технологий, а краудфандинг может использоваться для извлечения выгод от недорогого капитала, например, из пенсионных фондов.

ПАМЯТКА

Обеспечение интеграции низкотемпературных возобновляемых источников энергии в РТХС

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ЛИЦ И ИХ ВОВЛЕЧЕНИЕ	КАРТИРОВАНИЕ СПРОСА И РЕСУРСОВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОЕКТОВ	РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ С ФОНДОМ ЗДАНИЙ, СЕТЯМИ И ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ	БЛАГОПРИЯТНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ УСЛОВИЯ, МОДЕЛИ ФИНАНСИРОВАНИЯ И БИЗНЕС-МОДЕЛИ
<ul style="list-style-type: none"> ☑ Уточнение основных движущих факторов и целей ☑ Определение заинтересованных сторон и их интересов ☑ Разработка стратегии вовлечения заинтересованных сторон, включающей граждан ☑ Осуществление процесса вовлечения 	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Картирование спроса на отопление и охлаждение с использованием данных измерений и (или) смоделированного / оценочного спроса с помощью инструментов пространственного анализа ☑ Картирование источников энергии и анализ их потенциала для районного энергоснабжения с учётом наилучших доступных технологий для использования имеющихся низкотемпературных источников энергии ☑ Балансирование теплосбережения и перепроектирования снабжения для избежания избыточных мощностей ☑ Создание сценариев с нужным уровнем детализации, необходимым для принятия решений, с учётом социальных целей, мотивировавших процесс стратегического энергетического планирования (СЭП) ☑ Применение итеративного подхода для продвижения к всё более детализированному проекту 	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Оценка совместимости существующего фонда зданий и сети для областей с существующими системами районного теплоснабжения ☑ Интеграция, при необходимости, планов модернизации РТХС и ремонта зданий, включая улучшение систем управления, измерение потребления и выставление счетов на основе потребления, а также предоставление консультаций для населения ☑ Внимание к приготовлению БГВ и другим второстепенным мерам по снижению рабочего диапазона температуры системы ☑ Оценка того, является ли диаметр труб слишком большим или требуется ли замена в существующих системах РТХС ☑ Решение технических проблем при использовании низкотемпературных источников энергии ☑ Геотермальная энергия: оценка рисков бурения, образования накипи и закачки, а также температуры и расхода ☑ Солнечная энергия: оценка наземной или кровельной доступности и накопления ☑ Сбросное тепло: определение температуры и расхода, доступности во времени, местоположения и временного несоответствия 	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Выбор модели формы собственности, которая будет эффективно учитывать различные интересы заинтересованных сторон ☑ Выбор правильного варианта регулирования ценообразования для обеспечения конкурентоспособных цен на рынке тепловой энергии ☑ Снижение рисков благодаря инновационным схемам финансирования / страхования и использованию, прежде всего, того, что само идёт в руки ☑ Обеспечение равных условий игры при помощи фискальных рычагов и законодательства с учётом факторов внешнего порядка

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Aalborg Varme A/S (2020), Årsrapport 2019 (Annual report 2019), Aalborg, Denmark, www.aalborgforsyning.dk/privat/arsrapporter/.

Allansdottir, A., A. Pellizzone and A. Sciuolo (2019), Geothermal Energy and Society, Lecture Notes in Energy, Vol. 67, A. Manzella, A. Allansdottir and A. Pellizzone (eds.), Springer International Publishing, <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-78286-7>.

Andrews, D. et al. (2012), Background report on EU-27 district heating and cooling potentials, barriers, best practice and measures of promotion, <https://setis.ec.europa.eu/system/files/1.DHCpotentials.pdf>.

Angelino, L. et al. (2016), "Regulatory frameworks for geothermal district heating: A review of existing practices", European Geothermal Congress 2016 (2014), pp. 19-24.

Averfalk, H. et al. (2017), Transformation roadmap from high to low temperature district heating systems: Annex XI final report.

Averfalk, H. and S. Werner (2020), "Economic benefits of fourth generation district heating", Energy, Vol. 193, Elsevier, article 116727, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727>.

Averfalk, H. and S. Werner (2018), "Novel low temperature heat distribution technology", Energy, Vol. 145, pp. 526-539, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157>.

Averfalk, H. and S. Werner (2017), "Essential improvements in future district heating systems", Energy Procedia, Vol. 116, pp. 217-225, <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069>.

Battisti, R. (2018), "How to identify suitable areas for SDH", Solar thermal world.

Belot, C. and J.-M. Juilhard (2006), Rapport d'information fait au nom de la délégation du Sénat à l'aménagement et au développement durable du territoire (1) sur les énergies locales, (Information report made on behalf of the Senate delegation for regional planning and sustainable development on Paris, France). www.vie-publique.fr/rapport/28420-rapport-dinformation-fait-au-nom-de-la-delegation-du-senat-lamenagem.

Bøhm, B. (2013), "Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions. Analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings", Energy Conversion and Management, Vol. 67, pp. 152-159, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.002>.

Boissavy, C. (2019), Report reviewing existing insurance schemes for geothermal, www.georisk-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/D3.1_Report-reviewing-geothermal-risk-mitigation-schemes-v2.pdf.

Brand, M. (2014), Heating and domestic hot water systems in buildings supplied by low-temperature district heating, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, Lyngby.

Brown, K. (2013), Mineral scaling in geothermal power production, Report 39, United Nations University Geothermal Training Programme.

Brückner, S. et al. (2014), "Using industrial and commercial waste heat for residential heat supply: A case study from Hamburg, Germany", Sustainable Cities and Society, Vol. 13, <https://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.004>.

Bühler, F. et al. (2017), “Industrial excess heat for district heating in Denmark”, *Applied Energy*, Vol. 205, pp. 991-1001, <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.032>.

Calderoni, M. et al. (2019), Sustainable district cooling guidelines, www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XII/2020_IEA_DHC_Sustainable_District_Cooling_Guidelines_new_design.pdf.

Candelise, C. (2018), Crowdfunding as a novel financial tool for district heating projects, <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27847.75682>.

Cerema (2012), Réseau de chaleur très basse température à sources multiples, reseaux-chaleur.cerema.fr/reseau-de-chaleur-tres-basse-temperature-a-sources-multiples (Районное теплоснабжение на основе сверхнизкотемпературных различных источников энергии). (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Chambers, J. et al. (2019), “Mapping district heating potential under evolving thermal demand scenarios and technologies: A case study for Switzerland”, *Energy*, Vol. 176, Elsevier, pp. 682-692, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.044>.

Christiansen, C.H. et al. (2012), “Results and experiences from a 2-year study with measurements on a low-temperature DH system for low energy buildings”, in *The 13th International Symposium on District Heating and Cooling*, Copenhagen, pp. 86-93.

Čižman, J. and J. Bugarova (2019), Improving the performance of district heating systems in Central and Eastern Europe: Work Package No. 5, Development of multi-level policy plans.

Connolly, D. et al. (2015), Enhanced heating and cooling plans to quantify the impact of increased energy efficiency in EU member states (Heat Roadmap Europe 3), <https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-3-stratego-translating-the-heat-roadmap-europ>.

Connolly, D. et al. (2013a), Heat Roadmap Europe 2: Second pre-study for the EU27, Aalborg University, Halmstad University, Ecofys Germany GmbH, PlanEnergi, and Euroheat & Power, [https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-2050\(306a5052-a882-4af9-a5da-87efa36efeea\).html](https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-2050(306a5052-a882-4af9-a5da-87efa36efeea).html).

Connolly, D. et al. (2013b), Smart energy systems: Holistic and integrated energy systems for the era of 100% renewable energy, Sustainable Energy Planning Research Group, Aalborg University, Denmark, https://vbn.aau.dk/files/78422810/Smart_Energy_Systems_Aalborg_University.pdf.

Connolly, D. et al. (2012), Heat Roadmap Europe 1: First pre-study for the EU27, Aalborg University, Halmstad University, and Euroheat & Power, https://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_1.pdf.

Costanzo, E. et al. (2018), EPBD implementation in Italy: Status in December 2016, <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/06/CA-EPBD-IV-Italy-2018.pdf>.

Dalla Rosa, A. et al. (2014), EA DHC Annex X report: Toward 4th generation district heating: Experience and potential of low-temperature district heating, https://orbit.dtu.dk/files/105525998/IEA_Annex_X_Toward_4th_Generation_District_Heating_Final_Report.pdf.

Decarb Europe (2020), Grupo Hunosa: районное теплоснабжение из заброшенной угольной шахты, <https://decarb-europe.org/2020/03/25/grupo-hunosa-district-heat-from-abandoned-coal-mine/> (по состоянию на 25 марта 2020 г.).

Diget, T. (2019), “Motivation tariff – The key to a low temperature district heating network”, *Hot & Cool Magazine*, pp. 19-22.

Djørup, S. et al. (2020), “District heating tariffs, economic optimisation and local strategies during radical technological change”, *Energies*, Vol. 13, <https://dx.doi.org/10.3390/en13051172>.

- Djørup, S.R. et al. (2019a)**, Definition & experiences of strategic heat planning: Handbook I, <https://vbn.aau.dk/da/publications/definition-amp-experiences-of-strategic-heat-planning-handbook-i>.
- Djørup, S. et al. (2019b)**, Guidance for the comprehensive assessment of efficient heating and cooling, https://vbn.aau.dk/ws/files/302317295/Handbook_2_Guidance_for_comprehensive_assessment_of_efficient_heating_and_cooling.pdf.
- Duffie, J.A. and W.A. Beckman (2013)**, Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, <https://dx.doi.org/10.1002/9781118671603>.
- Dyrelund, A. et al. (2010)**, Varmeplan Danmark 2010 (Heat plan for Denmark 2010), Ramboll Denmark, Copenhagen.
- Elmegaard, B. et al. (2016)**, "Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating", Energy and Buildings, Vol. 124, pp. 255-264, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.003>.
- Engie (2020)**, Event: IRENA, веб-сайт IRENA, <https://irena.org/events/2020/May/Integration-of-low-temperature-energy-sources-into-existing-district-energy-networks-and-buildings> (accessed 26 May 2020).
- Epp, B. (2019)**, 15 MW SDH plant inaugurated in Latvia, www.solarthermalworld.org/news/15-mw-sdh-plant-inaugurated-latvia (accessed 18 August 2020).
- Fjernvarme Fyn A/S (2020)**, Årsberetning 2019 (Annual report 2019), Odense, Denmark, www.fjernvarmefyn.dk/media/1597/fjernvarme_fyn_aarsberetning_2019.pdf.
- Frederiksen, S. and S. Werner (2013)**, District heating and cooling, Studentlitteratur, Lund, Sweden.
- Fritsche, U.R. et al. (2017)**, Global land outlook working paper: Energy and land use, <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24905.44648>.
- Gadd, H. and S. Werner (2014)**, "Achieving low return temperatures from district heating substations", Applied Energy, Vol. 136, pp. 59-67, <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.022>.
- Galindo Fernández, M. et al. (2016)**, Efficient district heating and cooling markets in the EU: Case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://dx.doi.org/10.2760/371045>.
- GeoCom (2013)**, Презентация технология повторной закачки в песчаные коллекторы, <https://geothermalcommunities.eu/downloads/14>.
- Hansen, K. (2019)**, "Decision-making based on energy costs: Comparing levelized cost of energy and energy system costs", Energy Strategy Reviews, Vol. 24 <https://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.003>.
- Hassan, H.Z. and A.A. Mohamad (2012)**, "A review on solar cold production through absorption technology", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.049>.
- Heller, A. (2001)**, Large scale solar heating: Evaluation, modelling and designing, S. Svendsen and S. Furbo (eds), PhD thesis for Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark, https://orbit.dtu.dk/files/5300211/R-046_PhD_Thesis.pdf.
- Herold, K.E., R. Radermacher and S.A. Klein (2016)**, Absorption Chillers and Heat Pumps, CRC Press, <https://dx.doi.org/10.1201/b19625>.
- Hickson, C. et al. (2020)**, "Alberta #1: The Province's first electrical geothermal project", in Proceedings World Geothermal Congress 2020.

- HUNOSA (2019)**, Районное теплоснабжение «Barredo Colliery», www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2019/09/19GDECA-Desc-DHeating-BarredoColling-Spain.pdf.
- Inayat, A. and M. Raza (2019)**, “District cooling system via renewable energy sources: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 107, Elsevier, pp. 360-373, <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.023>.
- IRENA (2020a)**, Глобальный прогноз по возобновляемым источникам энергии: преобразование энергетической системы к 2050 г., Международное агентство по возобновляемым источникам, Абу-Даби.
- IRENA (2020b)**, Обзор инноваций: аккумулирование тепловой энергии, Международное агентство по возобновляемым источникам, Абу-Даби.
- IRENA (2019a)**, Ускорение принятия геотермального теплоснабжения в агропродовольственном секторе: ключевые уроки и рекомендации, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби, www.irena.org/publications/2019/Jan/Accelerating-geothermal-heat-adoption-in-the-agri-food-sector.
- IRENA (2019b)**, Преобразование глобальной энергетической системы: дорожная карта до 2050 г. (Издание 2019 г.), Международное агентство по возобновляемым источникам, Абу-Даби.
- IRENA (2018)**, Поставки твёрдой биомассы для тепло- и энергоснабжения: краткое описание технологии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
- IRENA (2017a)**, Геотермальная электроэнергия: краткое описание технологии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
- IRENA (2017b)**, Возобновляемая энергия в районном тепло- и холодоснабжении: отраслевая дорожная карта REmap, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
- IRENA (2017c)**, Неудействованный потенциал для борьбы с изменением климата: возобновляемая энергия в определяемых на национальном уровне вкладах, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
- IRENA (2016)**, Возобновляемая энергия в городах, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
- IRENA (без даты)**, Руководство Project Navigator от IRENA, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби, <https://navigator.irena.org/index.html> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).
- IRENA, МЭА и REN21 (2020)**, Политика в области возобновляемой энергетики во время энергетического перехода: тепло- и холодоснабжение, IRENA, ОЭСР/МЭА и REN21.
- IRENA, ОЭСР/МЭА и REN21 (2018)**, Политика в области возобновляемой энергетики во время энергетического перехода, www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf.
- Jebamalai, J.M., K. Marlein and J. Laverge (2020)**, “Influence of centralized and distributed thermal energy storage on district heating network design”, *Energy*, Vol. 202, Elsevier, article 117689, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.117689>.
- Johra, H., P. Heiselberg and J. Le Dréau (2019)**, “Influence of envelope, structural thermal mass and indoor content on the building heating energy flexibility”, *Energy and Buildings*, Vol. 183, pp. 325-339 <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.012>.
- Jones, N. (2018)**, “How to stop data centres from gobbling up the world’s electricity”, *Nature*, Vol. 561, pp. 163-166, <https://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-06610-y>.

Jovanović, S. (2019), Šabac district heating operator to upgrade residential buildings under ESCO model, Balkan Green Energy News, <https://balkangreenenergynews.com/sabac-district-heating-operator-to-upgrade-residential-buildings-under-esco-model/> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Kganyapa, M. (2019), SA's first solar district heating system in operation at Wits Junction, <http://witsvuvuzela.com/2019/08/20/wits-solar-district-heating-system-in-operation/> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Klein, S.A. and G. Nellis (2012), Thermodynamics, Cambridge University Press, Cambridge.

Köfinger, M. et al. (2018), "Simulation based evaluation of large scale waste heat utilization in urban district heating networks: Optimized integration and operation of a seasonal storage", Energy, Vol. 159, Elsevier, <https://dx.doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.06.192>.

Køhler Pedersen, M. and C. Holm Christiansen (2019), Interconnection schemes for producer installations – RELaTED D2.3, www.relatedproject.eu/wp-content/uploads/2019/03/RELaTED_D2_3_Interconnection-producers_v1.6.pdf.

Konovšek, D. et al. (2017), "Process of optimization of district heat production by utilizing waste energy from metallurgical processes", in AIP Conference Proceedings, Vol. 1866/1, article 050003, <https://dx.doi.org/10.1063/1.4994527>.

Krog, L. and K. Sperling (2019), "A comprehensive framework for strategic energy planning based on Danish and international insights", Energy Strategy Reviews, Vol. 24, Elsevier, pp. 83-93, <https://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.005>.

Leoni, P., R. Geyer and R.R. Schmidt (2020), "Developing innovative business models for reducing return temperatures in district heating systems: Approach and first results", Energy, Vol. 195, article 116963, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.116963>.

Lettenbichler, S. and A. Provaggi (2019), 100% renewable energy districts: 2050 vision, www.euroheat.org/wp-content/uploads/2019/08/RHC-ETIP_District-and-DHC-Vision-2050.pdf.

Liao, Z., M. Swainson and A.L. Dexter (2005), "On the control of heating systems in the UK", Building and Environment, Vol. 40/3, pp. 343-351, <https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.014>.

Limberger, J. et al. (2018), "Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 961-975, <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.084>.

Lukic, M. (2018), Financing possibilities: ReDEWeB Fund, 17th Energy Efficiency Coordination Group Energy Community Secretariat, 6 June 2018, Belgrade, www.energy-community.org/dam/jcr:ae5ebc44-82f3-4d1d-92e6-5ace563b8614/EECG_EBRD_ReDEWeB_062018.pdf.

Lund, H. et al. (2018), "The status of 4th generation district heating: Research and results", Energy, Vol. 164, pp. 147-159, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>.

Lund, H. et al. (2017), "Smart energy and smart energy systems", Energy, Vol. 137, pp. 556-565, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>.

Lund, H. et al. (2016), "Energy storage and smart energy systems", International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol. 11, Aalborg University Press, Aalborg, pp. 3-14, <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.11.2>.

Lund, J.W. and P.J. Lienau (2009), "Geothermal district heating", International Geothermal Days, pp. 18.

Lund, R. et al. (2017), "Comparison of low-temperature district heating concepts in a long-term energy system perspective", International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol. 12, pp. 5-8, <https://dx.doi.org/10.5278/ijsepm.2017.12.2>.

Manente, G. et al. (2019), "Optimization of the hydraulic performance and integration of a heat storage in the geothermal and waste-to-energy district heating system of Ferrara", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 230, Elsevier, pp. 869-887, <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.146>.

Mathiesen, B.V. et al. (2019), Towards a decarbonised heating and cooling sector in Europe: Unlocking the potential of energy efficiency and district energy, Department of Planning, Aalborg University, Aalborg, www.districtenergyinitiative.org/sites/default/files/publications/towardsadecarbonisedhcsectorineufinalreport-111220191046.pdf.

Mathiesen, B.V. et al. (2016), Future green buildings - A key to cost-effective sustainable energy systems, Department of Development and Planning, Aalborg University, Aalborg, <https://vbn.aau.dk/en/publications/fremtidens-byggeri-n%C3%B8glen-til-et-omkostningseffektivt-og-b%C3%A6redygt>.

Mathiesen, B.V. et al. (2015), "Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions", *Applied Energy*, Vol. 145, Elsevier, pp. 139-154, <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.075>.

Mathiesen, B.V. and K. Hansen (2017), The role of solar thermal in future energy systems: Country cases for Germany, Italy, Austria and Denmark, International Energy Agency, Paris, http://vbn.aau.dk/files/265304574/IEA_SHC_Task_52_STA_AAU_report_20170914.pdf.

Mathiesen, B.V., H. Lund and D. Connolly (2012), "Limiting biomass consumption for heating in 100% renewable energy systems", *Energy*, Vol. 48/1, Elsevier, pp. 160-168, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.07.063>.

Mendelow, A.L. (1981), Environmental scanning - The impact of the stakeholder concept, ICIS 1981 Proceedings, <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=icis1981> (paywall).

Mijnwater B.V. (2014), Minewater: Circular energy network of the future, www.mijnwater.com/?lang=en (accessed 18 August 2020).

Mirakyan, A. and R. De Guio (2013), "Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, Elsevier, pp. 289-297, <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.033>.

Miró, L., S. Brückner and L.F. Cabeza (2015), "Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH) potentials for different countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 51, Elsevier, pp. 847-855, <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.035>.

Moller, B. et al. (2018), "Heat Roadmap Europe: Identifying local heat demand and supply areas with a European thermal atlas", *Energy*, Vol. 158, Elsevier, pp. 281-292, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.025>.

Mouchot, J. et al. (2019), "Geothermal energy development in Serbia: A French-Serbian collaborative project", paper presented at the European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands, 11-14 June, <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/160.pdf>.

Nador, A. et al. (2019), "Cascades and Calories: Geothermal Energy in the Pannonian Basin for the 21st Century and Beyond", *Resources*, interreg Danube Transnational Programme, pp. 27-50

Nilsson, P.E. (2003), Achieving the Desired Indoor Climate: Energy Efficiency Aspects of System Design, Studentlitteratur AB, https://books.google.dk/books?id=IMu_tgAACAAJ.

Noussan, M., M. Jarre and A. Poggio (2017), "Real operation data analysis on district heating load patterns", *Energy*, Vol. 129, Elsevier, pp. 70-78, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.079>.

Olsen, P.K. (2014), Guidelines for low-temperature district heating, EUDP 2010-II: Full-scale demonstration of low-temperature district heating in existing buildings, https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zI-RNXpmAEsJ:https://www.danskfjernvarme.dk/-/media/danskfjernvarme/gronenergi/projekter/eudp-lavtemperatur-fjv/guidelines-for-ltdh-final_rev1.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ae.

Østergaard, D.S. and S. Svendsen (2016a), “Replacing critical radiators to increase the potential to use low-temperature district heating – A case study of 4 Danish single-family houses from the 1930s”, *Energy*, Vol. 110, Elsevier, pp. 75-84, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.140>.

Østergaard, D.S. and S. Svendsen (2016b), “Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s”, *Energy and Buildings*, Vol. 126, Elsevier, pp. 375-383, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.034>.

Paardekooper, S. et al. (2020), “Heat Roadmap Chile: A national district heating plan for air pollution decontamination and decarbonisation”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 272, Elsevier, article 122744, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122744>.

Paardekooper, S. et al. (2018), Quantifying the impact of low-carbon heating and cooling roadmaps, Heat Roadmap Europe, Deliverable 6.4, Aalborg University, Aalborg, https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/288075507/Heat_Roadmap_Europe_4_Quantifying_the_Impact_of_Low_Carbon_Heating_and_Cooling_Roadmaps.pdf.

Paardekooper, S., H. Lund and R.S. Lund (2018), “Smart energy systems”, in *Energy Storage Options and Their Environmental Impact*, R. Hester and R. Harrison (eds.), Royal Society of Chemistry, pp. 228-260, <https://doi.org/10.1039/9781788015530-00228>.

Papapetrou, M. et al. (2018), “Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 138, Elsevier, pp. 207-216, <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043>.

Pauschinger, T. (2016), “Solar thermal energy for district heating”, in *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, R. Wiltshire (ed.), Woodhead Publishing, pp. 99-120 <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7>.

Pedersen, T.H., R.E. Hedegaard and S. Petersen (2017), “Space heating demand response potential of retrofitted residential apartment blocks”, *Energy and Buildings*, Vol. 141, Elsevier, pp. 158-166, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.035>.

Persson, U. and H. Averfalk (2018), “ReUseHeat: Accessible urban waste heat”.

PETA 4 (n.d.), Peta, Пан-Европейский тепловой атлас: возобновляемая энергия – интерактивная веб-карта.

Petersen, A.B. (2017), Handbook - Experiences from other urban waste heat recovery investments, Kolding.

PlanEnergi (2017), Long term storage and solar district heating, https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2017/06/sol_til_fjernvarme_brochure_endelig.pdf.

Popovski, K. (2003), “Political and public acceptance of geothermal energy”, Geothermal Training Programme (September), United Nations University, pp. 31-41, www.geothermalcommunities.eu/assets/elearning/10.7.UNU-GTP-2003-01-03.pdf.

Ramsak, P. (2020), Geothermal energy in the Netherlands, presentation for IRENA webinar “Energy Solutions for Cities of the Future”, 14 May, <https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/May/Developing-enabling-frameworks-for-geothermal-heating---The-case-of-The-Netherlands.pdf?la=en&hash=1CB15D2845FDCC1DFDCD1EC813963940C836E9F5> (accessed 16 May 2020).

Reiter, P., H. Poier and C. Holter (2016), “BIG Solar Graz: Solar district heating in Graz – 500,000 m² for 20% solar fraction”, in *Energy Procedia*, Vol. 91, Elsevier, pp. 578-584, <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.204>.

REN21 (2019), Глобальный отчёт о состоянии возобновляемых источников энергии за 2019 год., всемирная сеть по возобновляемой энергетической политике 21-го века, www.ren21.net/gsr-2019/.

Riahi, L. et al. (2017), Waste for heating and cooling: How district energy transforms losses into gains: Study on district energy in cities to support Korea’s Eco Energy Towns approach.

Richter, A. (2020), Two wells for geothermal heat project successfully drilled in Champs-sur-Marne, ThinkGeoEnergy, www.thinkgeoenergy.com/two-wells-for-geothermal-heat-project-successfully-drilled-in-champs-sur-marne/ (accessed 18 August 2020).

Ridjan, I. (2015), Integrated electrofuels and renewable energy systems, Aalborg University, Aalborg.

Sanner, B. et al. (2011), Common vision for the renewable heating & cooling sector in Europe, RHC-Platform, <https://dx.doi.org/10.2788/20474>.

Schmidt, D. et al. (2017), "Low temperature district heating for future energy systems", Energy Procedia, Vol. 116, Elsevier, pp. 26-38, <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052>.

Schmidt, R.R., R. Geyer and P. Lucas (2020), The barriers to waste heat recovery and how to overcome them? www.euroheat.org/wp-content/uploads/2020/06/Discussion.pdf.

Schmidt, T. and O. Miedaner (2012), Solar district heating guidelines - Fact sheet 7.2 - Storage, www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/06/SDH-WP3_FS-7-2_Storage_version3.pdf.

Seyidov, F. and T. Weimann (2020), Proposal for a transition in the Risk Mitigation Schemes.

Sigfusson, B. and A. Uihlein (2015), 2014 JRC geothermal energy status report, JRC99284/EUR 27623 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Sørensen, P.A. (2017), Implementation of solar district heating integrated in existing district heating systems in cities.

Sørensen, P.A. et al. (2012), "Solar district heating guidelines: Collection of fact sheets", Solar District Heating, www.solar-district-heating.eu/en/knowledge-database/.

Støchkel, H.K., B.L. Paaske and K.S. Clausen (2017), Inspirationskatalog for store varmpumpeprojekter i fjernvarmesystemet, (Inspiration catalog for large heat pump projects in the district heating system), https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/inspirationskatalog_for_store_varmepumper.pdf.

Svendsen, S., D.S. Østergaard and X. Yang (2017), "Solutions for low temperature heating of rooms and domestic hot water in existing", in Book of abstracts: 3rd International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating, B.V. Mathiesen and H. Lund, (eds.), Aalborg Universitet, Copenhagen, pp. 151.

Terés-Zubiaga, J. et al. (2015), "Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain", Energy and Buildings, Vol. 86, pp. 194-202, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.018>.

Tester, J.W. et al. (2015), "Deep geothermal energy for district heating: Lessons learned from the U.S. and beyond", in Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Elsevier, pp. 75-98, <https://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00004-5>.

Thellufsen, J.Z. et al. (2019), "Smart energy cities in a 100% renewable energy context", in Proceedings for 14th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia.

Thorsen, J.-E. and H. Kristjansson (2006), "Cost considerations on storage tank versus heat exchanger for hot water preparation", in Lectures - 10th International Symposium on District Heating and Cooling, Hanover University of Technology, Hanover.

Tol, H.İ. and S. Svendsen (2015), "Effects of boosting the supply temperature on pipe dimensions of low-energy district heating networks: A case study in Gladsaxe, Denmark", Energy and Buildings, Vol. 88, Elsevier, pp. 324-334, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.067>.

Trier, D. (2018), Solar district heating: Instruments for policy and legal framework, www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/10/SDHp2m_Market-monitoring_version1.0.pdf.

Trier, D. et al. (2018a), Guidelines for the energy system transition - Final heat roadmap Europe guidelines for local, national, and EU lead-users.

Trier, D. et al. (2018b), Solar district heating trends and possibilities - Characteristics of ground-mounted systems for screening of land use requirements and feasibility.

Tunzi, M. et al. (2016), "Method to investigate and plan the application of low temperature district heating to existing hydraulic radiator systems in existing buildings", *Energy*, Vol. 113, Elsevier, pp. 413-421, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.033>.

Verhoeven, R. et al. (2014), "Minewater 2.0 project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a geothermal mine water pilot project into a full scale hybrid sustainable energy infrastructure for heating and cooling", in *Energy Procedia*, Vol. 46, Elsevier, pp. 58-67, <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.158>.

Vermilion Energy (2019), «Показатели имеют значение: отчёт по устойчивому развитию Vermilion за 2019 год», <http://sustainability.vermilionenergy.com/files/pdf/2019-Vermilion-Sustainability-Report-Web.pdf>.

Volkova, A., V. Mašatin and A. Siirde (2018), "Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks", *Energy*, Vol. 150, Elsevier, pp. 253-261, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.123>.

Wallquist, L. and M. Holenstein (2015), "Engaging the public on geothermal energy", in *World Geothermal Congress 2015*.

Wang, X. et al. (2013), "Case study: Geothermal funds in Eastern Europe and Africa", in *Unlocking Commercial Financing for Clean Energy in East Asia*, World Bank, pp. 277-284, <https://documents.worldbank.org/curated/en/212781468037508882/pdf/811120PUB0Unlo00Box0379830B0PUBLIC0.pdf>.

Werner, S. (2017), "International review of district heating and cooling", *Energy*, Vol. 137, Elsevier, pp. 617-631, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>.

Werner, S. (2004), "District heating system institutional guide".

Wiltshire, R. (ed.) (2016), *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, Elsevier, <https://dx.doi.org/10.1016/c2014-0-01422-0>.

Xiong, W. et al. (2015), "Heat roadmap China: New heat strategy to reduce energy consumption towards 2030", *Energy*, Vol. 81, Elsevier, pp. 274-285, <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.039>.

Xu, J., R.Z. Wang and Y. Li (2014), "A review of available technologies for seasonal thermal energy storage", *Solar Energy*, Vol. 103, Elsevier, pp. 610-638, <https://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.06.006>.

Yang, X. (2016), Supply of domestic hot water at comfortable temperatures by low-temperature district heating without risk of Legionella, S. Svendsen and H. Li (eds.), Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

Zhang, L. et al. (2017), "Method for achieving hydraulic balance in typical Chinese building heating systems by managing differential pressure and flow", *Building Simulation*, Vol. 10/1, pp. 51-63, <https://dx.doi.org/10.1007/s12273-016-0307-2>.

Британская геологическая служба (2020), Геотермальная энергия, www.bgs.ac.uk/geology-projects/geothermal-energy/ (по состоянию на 12 октября 2020 г.).

ВОЗ (2019), «Загрязнение воздуха в Монголии», Бюллетень Всемирной организации здравоохранения, Всемирная организация здравоохранения, <https://dx.doi.org/10.2471/BLT.19.020219>.

Всемирный альянс по вопросам строительства зданий и сооружений, МЭА и ЮНЕП (2019), Глобальный отчёт о состоянии зданий и сооружений за 2019 год.: переход к безотходным, эффективным и устойчивым зданиям и строительной отрасли, Программа Организации Объединённых Наций по окружающей среде, <https://worldgbc.org/news-media/2019-global-status-report-buildings-and-construction>.

Всемирный альянс по вопросам строительства зданий и сооружений, Программа ООН по окружающей среде и МЭА (2018), Глобальный отчёт о состоянии в 2018 году: переход к безотходным, эффективным и устойчивым зданиям и строительной отрасли, сс. 73, www.worldgbc.org/news-media/2018-global-status-report-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and.

Всемирный банк (2012), «Модернизация систем районного теплоснабжения на Украине: тепловой учёт и оплата на основе потребления», ESMAP, сс. 1–72, <https://euea-energyagency.org/wp-content/uploads/2012/03/UkraineDHreport2012e.pdf>.

Город Ванкувер (без даты), Районная энергетическая компания в Фолз-Крике, <https://vancouver.ca/home-property-development/southeast-false-creek-neighbourhood-energy-utility.aspx> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Датское энергетическое агентство (2016a), Технологические данные – энергетические установки для выработки электричества и районное теплоснабжение (обновлено в ноябре 2019 г.), Копенгаген.

Датское энергетическое агентство (2016b), Технологические данные для энергетических установок (обновлённые главы), август 2016 г., Копенгаген.

Европейский банк реконструкции и развития (2018), Внедрение районного теплоснабжения: расширение возможностей пользователей с помощью справедливого измерения электроэнергии, www.ebrd.com/documents/admin/making-district-heating-happen-empowering-users-through-fair-metering.pdf.

Европейский банк реконструкции и развития (без даты), Программа районного энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ReDEWeB) на Западных Балканах, www.ebrd.com/work-with-us/projects/tcpsd/renewable-district-energy-in-the-western-balkans-redeweb-programme.html (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Европейский парламент (2018a), Директива (ЕС) 2018/2001 Европейского парламента и Совета от 11 декабря 2018 г. о содействии использованию энергии из возобновляемых источников, Европейская комиссия, Брюссель.

Европейский парламент (2018b), Директива (ЕС) 2018/2002 Европейского парламента и Совета от 11 декабря 2018 г. о внесении поправок в Директиву 2012/27/ЕС по энергоэффективности, Европейская комиссия, Брюссель.

Европейский парламент (2010), Директива 2010/31/ЕС Европейского парламента и Совета от 19 мая 2010 г. об энергетических характеристиках зданий, Европейская комиссия, Брюссель.

Испания (2020), “Propuesta de real decreto que modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por le que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios” (Предложение издания королевского декрета-закона с целью внесения поправок в королевский декрет-закон 1027/2007 от 20 июля и утверждения регулирования тепловых установок в зданиях). <https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Documents/proyecto-RD-modifica-RD-reglamento-instalaciones-termicas/Modificacion-RITE.pdf>.

МГА и МФК(2014), Руководстве по передовой практике проведения разведки геотермальных ресурсов, www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_handbook_geothermal-bp-2ed.

Министерство экономического развития (2015), Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici - Allegato 1 (articoli 3 e 4) Criteri generali e requisiti delle prest, Italy (Применение методик расчёта энергоэффективности и определение предписаний и минимальных требований для зданий – Приложение 1 (статьи 3 и 4) Общие критерии и требования к эффективности), Италия). www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032966-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti.

МЭА (2019a), Возобновляемые источники энергии за 2019 г.: анализ и прогноз рынка за период с 2019 г. до 2024 г., Международное энергетическое агентство, Париж, www.iea.org/reports/renewables-2019/heat (по состоянию на 15 июля 2020 г.).

МЭА (2019b), Как районное теплоснабжение может способствовать декарбонизации тепловой отрасли к 2024 году? Международное энергетическое агентство, Париж, www.iea.org/articles/how-can-district-heating-help-decarbonise-the-heat-sector-by-2024 (по состоянию на 16 июля 2020 г.).

МЭА (2018), Будущее холодоснабжения: возможности для энергоэффективного кондиционирования воздуха, Международное энергетическое агентство, Париж, <https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>.

ООН (2019), Перспективы мировой урбанизации по состоянию на 2018 год, Организация Объединённых Наций, <https://population.un.org/wup/> (по состоянию на 15 июля 2020 г.).

ООН (2016), «Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой», Организация Объединённых Наций, https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/10/20161015_03-23_PM/Ch_XXVII-2.f.pdf.

ООН (2015), Цели в области устойчивого развития, Организация Объединённых Наций, <https://sdgs.un.org/goals>.

Программа ООН по населённым пунктам (2019), Стратегический план на 2020–2023 гг: лучшее качество жизни в урбанизирующемся мире для всех, Программа ООН по населённым пунктам, https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf.

Проект CELSIUS (2019), Естественное охлаждение из воды, <https://celsiuscity.eu/free-cooling-from-water/> (по состоянию на 12 октября 2020 г.).

Проект CELSIUS (2020a), Центр обработки данных поставляет местное тепло в Мянтсяля, Финляндия, <https://celsiuscity.eu/datacentre-supplies-local-heating-in-mantsala-finland/> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Проект CELSIUS (2020b), Регенерация тепла из Лондонского метрополитена для поставки в Ислингтон, Великобритания, <https://celsiuscity.eu/heat-recovery-from-the-london-underground-in-islinton-united-kingdom/> (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Проект GEODH (2014), Законодательная база для геотермального районного теплоснабжения в Европе. <http://geodh.eu/wp-content/uploads/2012/07/D-3.5-GEODH-Regulatory-Framework-17-02-2014.pdf>.

Проект GEOENVI (2019), GEOENVI: Рассмотрение экологических проблем с целью использования геотермальной энергии в Европе, www.geoenvi.eu/ (по состоянию на 18 августа 2018 г.).

Проект Hotmaps (2020), Hotmaps: общедоступный инструмент картирования и планирования для тепло- и холодоснабжения, www.hotmaps-project.eu/ (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

Солнечное сообщество Drake Landing (без даты), Солнечное сообщество Drake Landing: система районного теплоснабжения, www.dlsc.ca/district.htm (по состоянию на 18 августа 2020 г.).

ЮНЕП (2015), Районное энергоснабжение в городах: раскрытие потенциала энергоэффективности и возобновляемых источников энергии, Программа Организации Объединённых Наций по окружающей среде, <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9317>.





 **IRENA**
International Renewable Energy Agency



www.irena.org

Copyright © IRENA 2021

