



3. Пальтов А. Е. Инновационные образовательные технологии : учебное пособие / А. Е. Пальтов. – Владимир : ВлГУ, 2018. – 119 с.
4. Современные технологии обучения в вузе (опыт НИУ ВШЭ в Санкт-Петербурге): методическое пособие / под ред. М. А. Мальшевой. – Санкт-Петербург : Отдел оперативной полиграфии НИУ ВШЭ, 2011. – 134 с.
5. Современные образовательные технологии в учебном процессе вуза : методическое пособие / авт.-сост. : Н. Э. Касаткина, Т. К. Градусова, Т. А. Жукова, Е. А. Кагакина, О. М. Колупаева, Г. Г. Солодова, И. В. Тимонина ; отв. ред. Н. Э. Касаткина. – Кемерово : ГОУ «КРИПО», 2011. – 237 с.
6. Селевко Г. К. Педагогические технологии на основе дидактического и методического усовершенствования УВП / Г. К. Селевко. – Москва : НИИ школьных технологий, 2005. – 288 с. (Серия «Энциклопедия образовательных технологий»).
7. Красиков А. С. Оценка эффективности обучения руководителя образовательного учреждения / А. С. Красиков. – Санкт-Петербург – Вологда, 2004. – 216 с.
8. Моделирование бизнес-процессов: метод. указания к лаб. работам / сост. : Г. Н. Бояркин, К. В. Кравченко. – Омск : ОмГТУ, 2019. – Режим доступа: <https://micro-solution.ru/bp-know/regulation/IDEF0>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Создание модели процессов в BPwin. – Режим доступа: [http://www.plam.ru/compinet/bpwin\\_i\\_erwin\\_case\\_sredstva\\_dlja\\_gazrabortki\\_informacionnyh\\_sistem/r4.php](http://www.plam.ru/compinet/bpwin_i_erwin_case_sredstva_dlja_gazrabortki_informacionnyh_sistem/r4.php), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Соболева В. В. Методика автоматизированного подбора образовательных технологий для оптимизации учебного процесса в вузе / В. В. Соболева, М. И. Шикунский // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (35). – С. 81–85.
11. Кравченко Г. М. Принятие управленческих решений с использованием метода анализа иерархий : учебно-методическое пособие / Г. М. Кравченко, А. Б. Болотина, П. А. Андреев. – Мсква : РУТ (МИИТ), 2018 – 31 с.
12. Цибизова Т. Ю. Применение метода анализа иерархий в оценке качества процессов управления / Т. Ю. Цибизова, А. А. Карпунин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20847>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Садчиков П. Н. Методологические принципы построения математической модели / П. Н. Садчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 3 (9). – С. 51–53.
14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва : Радио и связь, 1993. – 167 с.
15. Карпачев А. А. Процесс формирования компетенций в учебных планах и программах третьего поколения / А. А. Карпачев, Е. Н. Бакланов, П. А. Стародубцев // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 6 (25). – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. Тесленко В. И. Методика анализа и оценка результатов тестирования / В. И. Тесленко // Вестник КГПУ им. В. П. Астафьева. – 2006. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-analiza-i-otsenka-rezultatov-testirovaniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© В. В. Соболева, П. Н. Садчиков

**Ссылка для цитирования:**

Соболева В. В., Садчиков П. Н. Модель управления качеством обучения по критерию эффективности образовательной технологии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 85–90.

УДК 681.51:004.9

DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-90-95

## **СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УМНЫХ ГОРОДОВ**

**И. Ю. Петрова<sup>1</sup>, Р. Р. Музафаров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия;*

<sup>2</sup>*Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия*

В статье кратко описывается текущее состояние рынков тепловой энергии в странах с развитыми системами централизованного теплоснабжения (страны Северной Европы, Китай и Россия). Показаны изменения в организационной структуре этих рынков в контексте смены поколений в системах централизованного теплоснабжения. В настоящее время в России и за рубежом активно развиваются системы централизованного теплоснабжения 4-го и 5-го поколений. Такие системы смогут обеспечить теплоснабжение зданий с низкими потерями в сети при низком энергопотреблении. Введено понятие «активного потребителя (prosumer)». Разработана обобщенная блок-схема системы автоматизации для активного потребителя. Сделан вывод о необходимости разработки беспроводных сенсорных систем управления централизованного теплоснабжения, отвечающих изменениям рынка. Приведена структурная схема такой системы управления.

**Ключевые слова:** умный город, системы централизованного теплоснабжения, возобновляемые источники энергии, беспроводные сенсорные сети управления.

## **CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS FOR SMART CITIES**

**I. Yu. Petrova<sup>1</sup>, R. R. Muzafarov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia;*

<sup>2</sup>*Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia*

The article briefly describes the current state of heat markets in countries with developed district heating systems (Nordic countries, China and Russia). Changes in the organizational structure of these markets in the context of generational change in district heating systems are shown. Currently, in Russia and abroad, the systems of district heating of the 4th and 5th generations are being actively developed. Such systems will be able to provide heat supply to buildings with low network losses with low energy consumption. The concept of "active consumer (prosumer)" has been introduced. A generalized block diagram of an automation system for an active consumer has been developed. It is concluded that it is necessary to develop wireless sensor control systems for district heating that meet market changes. The block diagram of such a control system is given.

**Keywords:** smart city, district heating systems, renewable energies, wireless sensor control networks.

### Введение

Около 66 % населения Земли будет жить в городах в 2050 году, тогда как в 1950 году этот показатель был равен 30 % [1]. Бурное развитие городов требует внимательного отношения к вопросам экологии, выбросам углекислого газа и др.

Европейская экономическая комиссия ООН (UNECE) в 2015 году предложила следующее определение умного города:

«Умный город – это инновационный город, который использует информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) и другие средства для улучшения качества жизни, эффективности городских операций и услуг и конкурентоспособности, обеспечивая при этом удовлетворение потребностей нынешнего и будущих поколений в отношении экономических, социальных, экологических и культурных аспектов» [2].

Интеллектуализация топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и инженерной инфраструктуры – одно из основных направлений в развитии умных городов.

В статье [3] рассмотрены вопросы цифровизации электроэнергетики, где ключевыми направлениями развития являются концепция Smart Grid, возобновляемые источники энергии и интеллектуальные системы учета электроэнергии (мощности).

В сфере теплоснабжения происходят аналогичные технические и организационные преобразования по всей цепочке технологического процесса: «генерация – транспорт – потребление тепловой энергии» [4]. В России и за рубежом активно развиваются системы централизованного теплоснабжения 4-го и 5-го поколений (4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> Generation District Heating – GDH) [5, 6]. Такие системы смогут обеспечить теплоснабжение зданий с низкими потерями в сети при низком энергопотреблении (рис. 1).



Рис. 1. Поколения систем централизованного теплоснабжения (1–5 поколение)

Развитие 4-го и 5-го поколений централизованного теплоснабжения возможно на основе активного внедрения информационных технологий для формирования современной, адаптивно меняющейся инфраструктуры региональных и городских систем централизованного теплоснабжения, а также оптимизации всех стадий и функций управления взаимосвязанными процессами генерации, распространения и потребления тепловой энергии, автоматического мониторинга всех процессов в реальном времени.

### Сравнительный анализ рынков тепловой энергии

Традиционно к странам с наиболее развитым централизованным теплоснабжением относят Россию, Китай и Евросоюз. На эти страны приходится 85 % энергетических мощностей централизованного теплоснабжения, из которых 51 % приходится на здания, 45 % на промышленность и 4 % на других потребителей [4].

### Страны Евросоюза

Целью принятой в конце 2018 года Евросоюзом директивы по возобновляемым источникам энергии 2018/2001/EU (REDII) стало повышение доли использования источников возобновляемой энергии от 20 до 32 % к концу 2030 года. [7, 8]. Использование возобновляемых источников энергии имеет множество потенциальных преимуществ, включая сокращение выбросов парниковых газов, диверсификацию поставок энергии и уменьшение зависимости от рынков ископаемого топлива (угля, нефти и газа).

Применение аэротермальной, геотермальной и гидротермальной тепловой энергии в домашних хозяйствах и промышленных секторах способствует росту использования возобновляемой энергии для отопления и охлаждения.

В северных странах Европы (Дания, Швеция, Финляндия) распространены системы централи-



зованного теплоснабжения. Доля тепловой энергии, поставляемой из систем централизованного теплоснабжения, в общем потреблении тепла составляет 50 % в Швеции, 42 % – в Дании и 35 % – в Финляндии.

В целом в ЕС более высокие составляющие рециркулируемого и возобновляемого тепла (72 и 27 % соответственно) по сравнению с ситуацией во всем мире (56 % – рециркулируемое, 9 % – возобновляемое тепло), и активно используются накопители тепловой энергии в современных системах централизованного теплоснабжения и охлаждения. Поэтому европейские сети централизованного теплоснабжения относятся к 3-му и 4-му поколению [4].

#### *Россия*

Российская Федерация занимает первое место в мире по протяженности тепловых сетей, а также четвертое место по объему производства тепловой энергии и расходу топлива на эти цели. Сегодня на долю российских систем централизованного теплоснабжения приходится более 40 % от совокупного мирового производства тепловой энергии, при этом по данным на 2018–2019 годы в отрасли теплоснабжения вырабатывается более 60 % всей производимой энергии в РФ [9]. Доля тепловой энергии, поставляемой из систем централизованного теплоснабжения, в России составляет 80 %, т. е. в 1,5–2 раза выше, чем в странах ЕС. В 2018 году в Российской Федерации действовало 566 тепловых электростанций мощностью от 500 кВт и выше, около 74,8 тыс. отопительных котельных, суммарная протяженность теплопроводов составляет 168 тыс. км [10].

Традиционные системы централизованного теплоснабжения позволяют управлять тепловой нагрузкой на источники тепла, что позволяет контролировать температуру теплоносителя в диапазоне от 70 до 150 °С, в зависимости от температуры наружного воздуха при постоянном потоке теплоносителя. Поэтому большинство систем централизованного теплоснабжения в России можно отнести к 3-му поколению.

#### *Китай*

Быстро расширяется система централизованного теплоснабжения в Китае. Сегодня это вторая по масштабам система централизованного теплоснабжения в мире (после России). На сегодняшний день доля тепловой энергии, поставляемой из систем централизованного теплоснабжения, достигает 55 %, причем на 15 северных провинций Китая приходится 98 % от объема потребления тепловой энергии. Китайские системы централизованного теплоснабжения в основном работают на угле при температуре от 70 до 150 °С [11].

Высокая составляющая ТЭЦ (около 50 %) в России и Китае оказывает существенное влияние на низкий мировой уровень рециркулируе-

мого тепла. Это еще раз подтверждает, что фундаментальная идея 4-го и 5-го поколений централизованного теплоснабжения в этих двух странах полностью не реализована, так как очень высока доля прямого использования ископаемого топлива.

Для обеспечения значительного снижения потерь энергии, эффективного использования ресурсов, высокой экологичности систем теплоснабжения все более активно внедряются умные технологии. Повышение эффективности использования ресурсов происходит за счет совершенствования технологий производства, доставки и хранения тепловой и электрической энергии, управления энергосистемами на основе не только традиционной генерации, но и возобновляемой энергетики. Сбор, обработка и хранение большого количества данных, необходимых для управления инфраструктурой энергетических сетей, производится в специализированных дата-центрах. [12].

#### **Интеллектуальная энергетическая система (ИЭС)**

Интеллектуальные энергетические системы (ИЭС) рассматриваются как полностью интегрированные, саморегулирующиеся и самовосстанавливающиеся энергетические системы, управляемые единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени. Интеллектуальные энергетические системы (ИЭС) основаны на единстве всех инженерно-энергетических систем (электричество, тепло, газ).

С помощью ИЭС осуществляется взаимодействие потребителей и энергоснабжающих организаций для активного регулирования нагрузки. В таких системах конечный потребитель энергии рассматривается в качестве активного партнера (prosumer) субъектов энергетики. (рис. 2). В представленной схеме у активного конечного потребителя ИЭС происходит переход к управлению на основе взаимосвязи системы теплоснабжения и системы электроснабжения [13]. Такие системы управления отоплением позволяют потребителям контролировать микроклимат в помещении и свои затраты на потребление энергии.

Новейшие технологии управления микроклиматом в помещении используют нейронные сети, методы нечетких вычислений и др. [14, 15].

Повышение энергоэффективности и стимулирование перехода к возобновляемым источникам энергии и вторичным тепловым ресурсам возможно достигнуть с помощью больших и точных данных, полученных с интеллектуальных приборов учета. Умные счетчики у потребителей позволяют автоматически дистанционно передавать текущие показания и режим потребления тепла, электричества, воды в бытовую

компанию, подают сигнал об аварии и о несанкционированном вмешательстве. Это позволяет значительно упростить работу с элементами

ИЭС и повысить их управляемость. Поэтому интеллектуальные приборы учета – важный инструмент для решения задач в интеллектуальной энергетической системе.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы автоматизации активного потребителя

Основные направления развития ИЭС:

- широкое использование возобновляемых источников энергии;
- массовая замена скалярных приборов учета на интеллектуальные приборы учета всех видов энергии;
- появление энергетических хранилищ (электрической и тепловой энергии);
- появление активных потребителей, способных генерировать и хранить как электрическую, так и тепловую энергию;
- развитие систем низкотемпературного централизованного теплоснабжения;
- строительство и развитие мощных дата-центров обработки данных с облачными хранилищами;
- разработка программного обеспечения для систем управления и моделирования работы крупных ИЭС.

#### Интеллектуальные датчики для систем теплоснабжения 4–5 поколения

Развитие систем теплоснабжения 4-го и 5-го поколения подразумевает использование интеллектуальной датчиковой аппаратуры. Датчики, работающие в таких системах, обладают определенными характеристиками:

- интеллектуальность, умение обрабатывать полученную информацию с последующей передачей в информационный центр, обмен информацией с другими датчиками системы;
- надежность, помехозащищенность, устойчивость к внешним воздействиям;
- автономность, работа от внутренних источников энергии;
- точность;
- быстродействие.

Датчик – это элемент технической системы, предназначенный для измерения, сигнализации, регулирования и управления различными элементами и устройствами этой системы. Дат-

чик преобразует контролируемую входную величину различной физической природы в выходную величину, удобную для измерения, передачи, преобразования или хранения с целью регистрации информации о состоянии объекта [16]. Сенсоры (датчики), применяемые в сенсорных сетях для систем теплоснабжения, делятся на проводные и беспроводные, а по принципу действия и использованию физических эффектов или явлений в этих сенсорах подразделяются на физические (электрические, магнитные, тепловые, оптические, акустические), химические и комбинированные (физико-химические, электромеханические, биоэлектрические и т. п.). Датчики, выполненные с использованием MEMS технологии и использующие беспроводную связь, становятся интеллектуальными все более дешевыми, маломощными, миниатюрными. Такие датчики могут быть расположены в широком географическом пространстве и связываются через интернет или специальные беспроводные каналы связи.

В системах отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения обычно измеряются следующие параметры: температура (внешняя, в помещении, теплоносителя и т. д.), расход, давление, перепад давления, влажность.

Для качественной обработки огромного объема информации, которая передается и принимается в реальном времени от большого количества интеллектуальных приборов учета и разнообразных датчиков, а также для оперативного управления исполнительными механизмами ИЭС целесообразно использовать облачные хранилища данных [17].

#### Интеллектуальная система управления теплоснабжением на основе беспроводных сенсорных сетей

В систему управления централизованным теплоснабжением на базе беспроводных сенсорных сетей входит множество различных датчиков,

устанавливаемых на объектах управления (зданиях и сооружениях). Такие датчики передают данные посредством проводных или беспроводных технологий на концентраторы. Далее данные с концентраторов через глобальные вычислительные сети, обладающие большей пропускной способностью, передаются в дата-центры сбора и обработки данных, где происходит их агрегация и анализ на основе методологии больших данных.

После обработки этих данных система в автоматическом режиме или лицо, принимающее решение, передает управляющие команды исполнительным устройствам и механизмам для коррекции настроек, включения/выключения теплопроводов, насосов и т. д. Структурная схема такой интеллектуальной системы управления теплоснабжением на основе беспроводных сенсорных сетей представлена на рисунке 3.

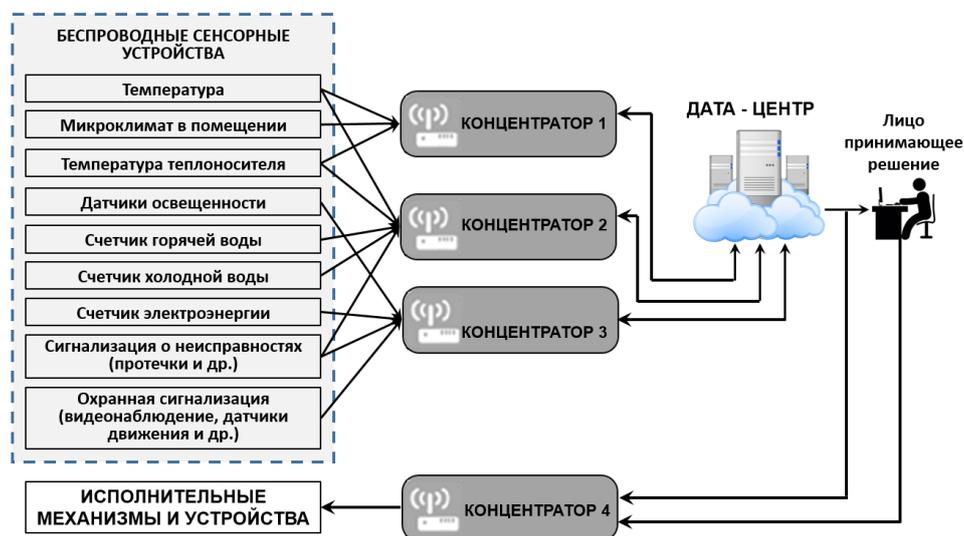


Рис. 3. Структурная схема системы управления централизованным теплоснабжением на базе беспроводных сенсорных сетей

Современные беспроводные сети датчиков и исполнительных механизмов для управления потоками энергии из распределительной сети централизованного теплоснабжения в здание разрабатываются на основе сервис-ориентированной архитектуры (SOA – Service Oriented Architecture) [18]. Основным преимуществом таких сенсорных сетей является получение всесторонней информации о функционировании отдельных элементов объектов управления теплоснабжением. [19].

Основной задачей в системах теплоснабжения на базе сенсорных сетей становится учет потребностей большого числа разнородных потребителей.

Преимущества беспроводных сенсорных сетей с на основе SOA:

- 1) возможность объединения в единую сеть большого количества разнородных датчиков, так как обмен данными с датчиками осуществляется по одному интерфейсу устройства сбора данных (контроллера);
- 2) способность получать информацию от каждого датчика независимо, за счет распределенных во времени сеансов обмена данными с датчиками;
- 3) возможность объединять эти датчики в группы по произвольному принципу независимо от их местоположения.

Использование SOA (Сервис Ориентированная Архитектура) для контроля и управления, позволяет системе теплоснабжения адаптироваться к

новым потребностям, сэкономить значительные средства на теплоснабжения, повысить качество комфорта, снизить потребления энергии.

### Выводы

Внедрение системы централизованного теплоснабжения 4-го и 5-го поколений (4GDH и 5GDH) позволит обеспечить теплоснабжение зданий с низким энергопотреблением и низкими потерями в сети. Решение этих задач возможно только на основе активного использования информационных технологий для организации взаимодействия интеллектуальных электрических и тепловых сетей.

Сравнение тенденций развития рынков тепловой энергии показало, что основные направления развития интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) включают глубокое использование возобновляемых источников энергии, активное появление энергетических хранилищ, дальнейшее развитие и использование систем низкотемпературного централизованного теплоснабжения. Автоматизируя процессы управления таких систем целесообразно создание мощных дата-центров обработки данных с облачными хранилищами и разработка программного обеспечения для систем управления и моделирования работы крупных ИЭС. В ИЭС наблюдается появление активных потребителей, способных генерировать и хранить как электрическую, так и тепловую энергию.

Интеллектуальные тепловые сети потребуют дополнительное контрольно-измерительное оборудование (интеллектуальные датчики и счетчики, сенсорные сети) для управления нагрузкой как со стороны потребителей, так и со стороны поставщиков тепловой энергии.

#### Список литературы

- 1 World Urbanization Prospects. The 2014 Revision. United Nation, NY, 2015. – Режим доступа: <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 2 The UNECE-ITU Smart Sustainable Cities Indicators, – Режим доступа: [http://www.unecese.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART\\_CITIES/ECE\\_HBP\\_2015\\_4.pdf](http://www.unecese.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART_CITIES/ECE_HBP_2015_4.pdf) (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 3 Petrova I. Digitalization of business processes of energy supply in a smart city / I. Petrova, V. Zaripova, T. Zolina and Yu. Lezhnina // E3S Web Conf. – 2020. – Vol. 208. – P. 02005. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020802005>.
- 4 Werner S. International review of district heating and cooling / S. Werner // Energy. – 2017. – Vol. 137. – P. 617–631. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421730614X> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 5 Henrik Lund. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, SvendSvendsen, Jan Eric Thorsen, FredeHvelplund, Brian VadMathiesen // Energy. – 2014. – Vol. 68. – P. 1–11. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214002369> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 6 Lund H. Perspectives on fourth and fifth generation district heating / H. Lund, P. A. Ostergaard, T. B. Nielsen, S. Werner, J. E. Thorsen, O. Gudmundsson, A. Arabkoohsar, B. V. Mathiesen // Energy. – 2021. – Vol. 227. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007696> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 7 Fourth Report on the State of the Energy Union // European Commission. – 2019. – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/commission/publications/4th-state-energy-union\\_en](https://ec.europa.eu/commission/publications/4th-state-energy-union_en) (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 8 Energy strategy. EnergyUnion // European Commission. – 2019. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/energy-union-0> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 9 The main characteristics of the Russian electric power industry // Official website of the Ministry of Energy. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 10 Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014–2018 годах : информационно-аналитический доклад // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/17737> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 11 Zhang L. Comparison of District Heating Systems Used in China and Denmark / L. Zhang, O. Gudmundsson, H. Li, S. Svendsen // International Journal of Sustainable and Green Energy. – 2015. – Vol. 4, № 3. – P. 102–116. – DOI: 10.11648/j.ijrse.20150403.15. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/287231819\\_Comparison\\_of\\_district\\_heating\\_systems\\_used\\_in\\_China\\_and\\_Denmark](https://www.researchgate.net/publication/287231819_Comparison_of_district_heating_systems_used_in_China_and_Denmark) (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 12 Wahlroos M., Pärssinen M., Manner J., Syri S. Utilizing data center waste heat in district heating – Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks / M. Wahlroos, M. Pärssinen, J. Manner, S. Syri // Energy. – 2017. – Vol. 140, part 1. – P. 1228–1238. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078>.
- 13 Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза : аналитические обзоры Института энергетики. – Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2016/12/21/1112025400/%D0%A1%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%92%D0%98%D0%AD%20%D0%B2%20%D0%95%D0%A1.pdf> (дата обращения 20.09.2021), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
- 14 Petrova I. Intelligent Indoor Microclimate Control / I. Petrova, V. Zaripova, T. Zolina, Y. Lezhnina, A. Karpenko // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2020. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271315.
- 15 Karpenko A. The conceptual model of neuro-fuzzy regulation of the microclimate in the room / A. Karpenko, I. Petrova // MATEC Web Conf. – 2018. – 251 () 03020, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201825103020>.
- 16 Измерительные системы в интеллектуальных зданиях : учебное пособие / И.Ю. Петрова [и др.] — Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2018. — 152 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : URL: <https://www.iprbookshop.ru/93078.html> (дата обращения: 20.09.2021).
- 17 Lin Gao, Xuyang Cui, Jiaxin Ni, Wanning Lei, Tao Huang, Chao Bai, Junhong Yang, Technologies in Smart District Heating System, Energy Procedia, Volume 142, 2017, Pages 1829–1834, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217363270>) (дата обращения 20.09.2021).
- 18 Deventer, J. van et al. “Wireless infrastructure in a district heating substation.” 2009 3rd Annual IEEE SystemsConference (2009): 139–143.
- 19 M. Kintner-Meyer and R. Conant, Opportunities of wireless sensors and controls for building operation // Energy Engineering Journal. – 2009. – № 102 (5). pp. 27–48.

© И. Ю. Петрова, Р. Р. Музафаров

#### Ссылка для цитирования:

Петрова И. Ю., Музафаров Р. Р. Системы централизованного теплоснабжения для умных городов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 90–95.