



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 12, № 4, 2021

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.05

УДК 620.98: 697.341: 658.264: 621.643

НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Т.Н. Белоглазова, Т.Н. Романова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 августа 2021
Принята: 19 октября 2021
Опубликована: 28 декабря 2021

Ключевые слова:

схема газораспределения, система теплоснабжения, газ природный, эффективность, гидравлический расчет, удельные нормативы, газорегуляторный пункт, материальная характеристика.

АННОТАЦИЯ

Современные города имеют многоуровневую структуру технологических систем, которые функционально и организационно обеспечивают запросы потребителей. Развитие городских территорий требует комплексного подхода. Системы теплоснабжения и газоснабжения – основной элемент энергетических систем. В соответствии с экономическими, социальными и технологическими условиями системы тепло- и газоснабжения подвергаются организационным, структурным преобразованиям.

Цель исследования – разработка перспективных схем систем теплоснабжения и газоснабжения территорий на основе взаимного влияния.

Методы. На основе анализа функционально-планировочного зонирования городских территорий расчетным методом предусмотрены варианты развития схем теплоснабжения и газоснабжения. Выполнение современных норм теплоснабжения возможно за счет многовариантных подходов. Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием апробированных методик расчета. В качестве основных потребителей рассмотрены жилые микрорайоны с нагрузкой на теплоснабжение и хозяйственно-бытовое потребление. Небольшие объекты промышленно-коммунального назначения учтены при планировании использования энергоресурсов на рассмотренной территории. Промышленное потребление, как правило, имеет самостоятельную систему теплоснабжения и газоснабжения. Способ определения нагрузок основан на удельных нормативных показателях. При разработке схемы газораспределения городских территорий учтена возможность рассредоточения нагрузки на теплоснабжение.

Результаты. Разработанные варианты схем тепло- и газоснабжения, с одной стороны, рассматривались как альтернативные. Как схема магистральных сетей теплоснабжения, так и схема газораспределения сможет выполнять функциональные задачи по обеспечению абонентов ресурсами для рассмотренного района проектирования самостоятельно. С другой стороны, на разных этапах развития систем альтернативные варианты могут дополнять друг друга, по периодам поэтапного развития с учетом критериев надежности и экономичности.

Выводы. Варианты систем тепло- и газоснабжения позволили выявить основные линейные параметры для различной плотности застройки. Общим материальным критерием для систем теплоснабжения и газоснабжения является материальная характеристика. Развитие схем тепло- и газоснабжения с учетом взаимного влияния обеспечивает стабильное и экономичное развитие территории.

© ПНИПУ

© Белоглазова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: tabeloglazova@yandex.ru, OrcidID: 0000-0002-8221-0938.

Романова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: botinkin@yandex.ru.

Tatiana N. Beloglazova – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: tabeloglazova@yandex.ru, OrcidID: 0000-0002-8221-0938.

Tatiana N. Romanova – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: botinkin@yandex.ru.

DIRECTIONS OF TRANSFORMATION OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE PROSPECTIVE DEVELOPMENT OF TERRITORIES

T.N. Beloglazova, T.N. Romanova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 August 2021
Accepted: 19 October 2021
Published: 28 December 2021

Keywords:

gas distribution scheme, heat supply system, natural gas, efficiency, hydraulic calculation, specific standards, pressure regulating stations, material characteristic.

ABSTRACT

Modern cities have a multi-level structure of technological systems that functionally and organizationally meet the needs of consumers. The development of urban areas requires an integrated approach. Heat and gas supply systems are the main element of energy systems. In accordance with the economic, social and technological conditions, heat and gas supply systems undergo organizational and structural transformations.

The purpose of the study is to develop promising schemes of heat and gas supply systems for territories based on mutual influence.

Methods. Based on the analysis of the functional and planning zoning of urban areas, the calculation method provides options for the development of heat and gas supply schemes. The implementation of modern standards of heat supply is possible due to multivariate approaches. The reliability of the research results is ensured by the use of proven calculation methods. Residential neighborhoods with a load on heat supply and household consumption are considered as the main consumers. Small industrial and municipal facilities are taken into account when planning the use of energy resources in the considered territory. Industrial consumption, as a rule, has an independent system of heat and gas supply. The method for determining loads is based on specific normative indicators. When developing the gas distribution scheme for urban areas, the possibility of spreading the load on the heat supply is taken into account.

Results. On the one hand, the developed variants of heat and gas supply schemes were considered as alternative ones. Both the scheme of the main heat supply networks and the gas distribution scheme will be able to perform functional tasks to provide subscribers with resources for the considered design area independently. On the other hand, at different stages of system development, alternative options can complement each other, according to the periods of phased development, taking into account the criteria of reliability and cost-effectiveness.

Conclusions. The variants of heat and gas supply systems allowed us to identify the main linear parameters for different building densities. The general material criterion for heat and gas supply systems is the material characteristic. The development of heat and gas supply schemes, taking into account the mutual influence, ensures a stable and economical development of the territory.

© PNRPU

Введение

На современном этапе своего развития городские территории имеют сложившуюся структуру функциональных планировочных решений. Сложный комплекс задач стабильного развития обеспечивает инженерная инфраструктура. Системы теплоснабжения и газоснабжения, как элемент инфраструктуры городской среды, обеспечивают энергетическими ресурсами промышленные, жилые, общественные объекты. Большая часть крупных городов России находится между 50 и 70° с.ш. В условиях субарктического и умеренного климата с продолжительным зимним периодом низких отрицательных температур одним из основных направлений стабильного развития территории является обеспечение высокой надежности и эффективности систем теплоснабжения и газоснабжения. Стабильное развитие городов России охватывает широкий спектр технических, социальных, экономических задач, в том числе развитие и модернизацию системы тепло- и газоснабжения территорий.

Развитие территориальных комплексов объектов направлено на решение таких задач, как повышение инвестиционной привлекательности и эффективности вложений [1]. Как

следствие, трансформация структуры городских территорий, с одной стороны, влияет на системы теплоснабжения и газоснабжения. С другой – системы теплоснабжения и газоснабжения – необходимая составляющая качественного развития территории [2].

Требования по экологической безопасности и снижению выбросов в окружающую среду определяют направления развития энергетики во всех регионах мира [3].

Различные виды органического топлива отвечают современным требованиям технологической и экологической безопасности при соблюдении соответствующих правил использования в промышленности и в быту. При рассмотрении таких критериев, как доступность, экономическая эффективность, надежность, при выборе технологии в приоритете газовое топливо. Один из основных критериев, который практически учитывается опосредовано при выборе современных технологий, – это затраты, связанные с загрязнением окружающей среды, которое влияет на здоровье населения. Природный газ при использовании в энергетических установках не только повышает эффективность, но и приводит к снижению вредных выбросов в окружающую среду и к снижению вредного воздействия на здоровье людей. Поэтому использование газового топлива, его доступность для потребителей решает не только вопросы экономической эффективности, но и создает экологически безопасные условия проживания для населения [4].

Целостный подход при реализации энергоэффективного проектирования объектов включает новые технологии, численные сервисы, бизнес-модели. Оценка потенциальных воздействий и энергетической эффективности конкретного объекта должна охватывать более высокий уровень в процессе прогрессирующего проектирования. Изменения во времени энергетических систем необходимо подвергать комплексной оценке в ходе проектирования объектов городской инфраструктуры [5].

Объединение разных энергетических систем в единое целое позволяет принимать эффективные решения на основе территориальных особенностей и обеспечивает перспективы качественного развития регионов. Интегральные интегрированные системы на основе систем электроснабжения и теплоснабжения имеют теоретический и практический опыт совместной работы в системах теплофикации. Раздельное рассмотрение вопросов выработки электрической и тепловой энергии имеет ряд негативных факторов, например износ оборудования, снижение эффективности и др. [6].

Практические вопросы интеграции сдерживаются рядом объективных технических причин, а также разной ведомственной, имущественной принадлежностью. На современном этапе раздельное рассмотрение вопросов тепло- и электроснабжения отражается в программах комплексного развития территорий. Данный подход позволяет производить анализ функционирования каждой отдельной системы энергообеспечения. Однако при данном подходе имеются факторы, сдерживающие поиск эффективных механизмов управления в сфере энергообеспечения территорий.

Структура систем теплогазоснабжения развивалась в экономических условиях социалистического общественного строя. С учетом того, что энергосистемы в период сложных экономических преобразований последних 30 лет смогли выполнять свои задачи, можно отметить их высокую устойчивость и надежность. С изменением характера энергопотребления в новых социально-экономических условиях вопросы повышения эффективности в системах теплоснабжения решаются медленно. Анализ сложившейся структуры систем тепло- и газоснабжения крупных городов России показывает негативные тенденции, связанные с деградацией системы централизованного теплоснабжения. Поиск эффективных

альтернативных вариантов теплоснабжения приводит к децентрализации систем на основе индивидуальных, модульных и иных типов котельных. Таким образом, решаются вопросы снижения затрат на содержание дорогостоящих сетей и источников теплоснабжения, оптимизируются затраты муниципальных образований.

Преобразование систем тепло- и газоснабжения охватывает технические решения, организационные и экономические вопросы. Все преобразования в совокупности приводят к качественным изменениям в системе, влияют на стабильность развития территории, социальную удовлетворенность населения качеством услуг. Объективными факторами при планировании развития систем энергообеспечения являются функционально-планировочное зонирование, климатические и гидролого-геологические условия. К субъективным факторам, влияющим на структуру систем тепло- и газоснабжения территорий, относятся характер потребления энергоресурсов и существующую структуру систем. Оценка влияния принятых решений на работу инженерных систем и на потребителей, основанная на исследованиях, способствует повышению энергоэффективности.

Современные методы исследования инженерной инфраструктуры на всех стадиях жизненного цикла объекта основываются на методах аналитического вычисления [7]. В процессе исследования определяются частные и интегральные показатели эффективности функционирования входящих в нее объектов [8]. Для систем тепло- и газоснабжения исследования осуществляются на основе методов оптимизации. Универсального метода, как показывает практика, нет. Каждое исследование учитывает основные особенности функционирования объекта, условия, цели и задачи. Для исследований характерны следующие общие признаки: оно имеет поэтапный характер; разработка математической модели объекта и алгоритма оптимизации осуществляется на основе принципиальных закономерностей функционирования систем; выбор критериев оценки, весовых коэффициентов, показателей эффективности принимается для каждого объекта исследования индивидуально [7–9].

Для существующих систем тепло- и газоснабжения имеется необходимость в комплексной оценке технической, экономической, нормативно-правовой информации. Оценка этой информации осуществляется, как правило, в рамках предприятия и сторонними контролирующими органами с целью анализа данных по формированию тарифов. Перспективное развитие систем производится на основе программ комплексного развития территорий. Существуют информационные модели, где данные для систем обрабатываются на основе современных цифровых технологий.

В качестве платформы для исследования систем теплоснабжения имеется возможность применения геоинформационной системы QGIS. Оптимизационная модель реализована в виде модуля. Модель позволяет на основе распознавания объекта планировать трассировку теплотрассы. Критерием оценки вариантов является предварительная стоимость строительства участка тепловой сети [10]. Исследования структуры с целью повышения надежности и использования потенциала существующих систем теплоснабжения, снижения потерь за счет оптимизации радиуса эффективного действия основаны на геометрических параметрах и экономических критериях [11–15].

Для систем газоснабжения модели исследования структуры производят анализ эффективности и надежности в зависимости от таких критериев, как радиус действия сети, расчетный перепад давления, приведенные затраты. С учетом многоступенчатой структуры систем и новых материалов современные исследования позволяют выявлять значительные эффекты экономического и технологического характера [16–18].

Апробация математических моделей и работа программных комплексов для систем тепло- и газоснабжения требуют практических исследований реальных объектов. Есть ряд ограничений, связанных с принципом функционирования систем и финансово-экономической информацией, которые затрудняют проверку адекватности модели на этапе исследования. Можно отметить, что во многом организационно-правовые аспекты данного вопроса эффективно решаются на региональном и местном уровнях управления. Для современных предприятий, осуществляющих деятельность в рамках тепло- и газоснабжения, достаточно ограничено осуществляются комплексные исследования. Причинами являются организационная оптимизация предприятий в сфере теплоснабжения, газоснабжения и жилищно-коммунального хозяйства, подчиненность различным ведомствам. Исследования также затруднены ввиду частых изменений формальных требований, большого количества отчетной информации, недостаточных практических навыков специалистов по комплексной оценке.

В данном исследовании произведен анализ структуры систем тепло- и газоснабжения по общим критериям. Варианты структуры систем рассмотрены для условий г. Перми. Территория охватывает жилые микрорайоны с плотностью застройки от 100 до 350 чел./га. В исследовании рассмотрено комплексное развитие систем тепло- и газоснабжения при альтернативной возможности выбора источника теплоснабжения в долгосрочном периоде развития территорий. Рассматривается модель решения вопросов энергообеспечения территорий с наибольшей эффективностью в период реконструкции и перевооружения.

Методика эксперимента и теоретические подходы

Перспективные преобразования систем тепло- и газоснабжения на этапе анализа охватывают данные по функционально-планировочному развитию территории, перспективному строительству и реконструкции жилых домов.

Оценка фактического потребления энергетических ресурсов с целью теплоснабжения осуществляется на основе генеральных планов развития территории и на основе схем теплоснабжения. Большинство территорий, несмотря на общие тенденции, имеют существенно отличающиеся экономические, социальные и технологические особенности, связанные с организацией деятельности в сфере энергообеспечения [19; 20]. Поэтому важным направлением деятельности является не формальный анализ с точки зрения показателей, а реальные направления, способствующие улучшению качества систем энергоресурсообеспечения конкретных территорий. Существующие системы тепло- и газоснабжения рассматриваются в планах развития городских территорий как самостоятельные объекты. Основные направления использования газового топлива представлены на рис. 1. С точки зрения комплексных решений целесообразно рассматривать вопросы энергоресурсообеспечения с учетом взаимного влияния систем теплоснабжения, газоснабжения и электроснабжения.

Системы тепло- и газоснабжения рассчитываются на максимальные расчетные параметры. Обеспечение максимальных расчетных расходов приводит к тому, что оборудование источников, диаметры сетей предусматриваются больше, чем это требуется для основного эксплуатационного периода. Данное положение в практике проектирования обеспечивает высокую надежность и готовность системы обеспечивать потребителей во всех эксплуатационных режимах работы, но, с другой стороны, имеет место обоснованное повышение материальных затрат на оборудование и трубопроводы [21].

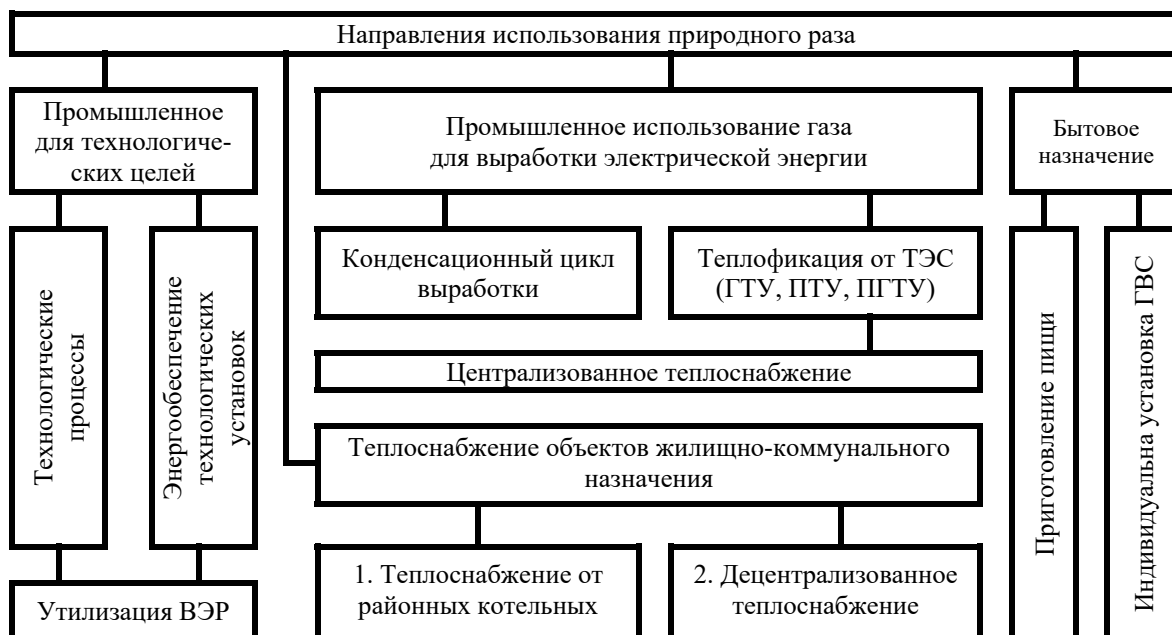


Рис. 1. Основные направления использования газового топлива: ГТУ – газотурбинная установка, ПТУ – паротурбинная установка, ПГТУ – парогазотурбинная установка, ГВС – горячее водоснабжение, ВЭР – вторичные энергетические ресурсы

Fig. 1. The main directions of using gas fuel

Максимальные расходы газа для систем газораспределения определяются на основе удельных нормативов для потребителей. Для объектов теплоснабжения расходы потребления являются функцией комплекса показателей, которые определяются на основе ретроспективного анализа климатических условий, развития городских территорий, фактического потребления существующими объектами. Точность планирования зависит от реализации стабильного развития территорий. Развитие системы газоснабжения для обеспечения топливом объектов теплоснабжения является необходимым условием их взаимного развития.

В исследовании для зоны жилой и иной застройки площадью 388,8 Га рассмотрены варианты систем теплоснабжения и газоснабжения для условий г. Перми. Низшая рабочая теплота сгорания газа в расчетах равна $36\,000\text{ кДж/м}^3$. Поскольку в условиях существующей застройки фактические тепловые нагрузки находятся под влиянием 1–2 отопительных сезонов, нагрузка на отопление определена по удельным показателям с учетом тепловой характеристики зданий. Удельный показатель тепловой нагрузки для отопления и вентиляции жилых домов принят для среднего значения этажности застройки при дифференцированной этажности и расчетной температуре наружного воздуха минус $35\text{ }^\circ\text{C}$ и равен $q_0 = 90\text{ Вт/м}^2$ общей площади.

В исследовании рассмотрены следующие направления использования газа на территории: производство тепловой энергии для целей теплоснабжения и коммунально-бытовых целей и их соотношение. Нагрузка на промышленные объекты и выработку электрической энергии в данном исследовании не учтена в структуре инженерных сетей, так как данные объекты имеют обособленные сети непосредственно от газораспределительных станций. Структура сетей теплоснабжения рассмотрена на уровне магистральных сетей теплоснабжения от источника до тепловых камер. Сети газораспределения рассмотрены для ступени распределительных газопроводов от головных газорегуляторных пунктов (ГРП) до точки подключения потребителей, или участков внутриквартальных распределительных сетей и вводных газопроводов.

На первом этапе исследования определены годовые и максимальные расчетные часовые расходы энергии на отопление, горячее водоснабжение (ГВС), вентиляцию, пищеприготовление в тепловых единицах изменения по удельным нормативам.

На втором этапе для кварталов определены годовые и расчетные часовые расходы газа на потребление в метрах кубических для отопления, ГВС, вентиляции, пищеприготовления. Для кварталов определен сетевой расход теплоносителя при графике сетевой воды подающей магистрали 130 °С, обратной – 70 °С. Принята закрытая схема теплоснабжения со смешанным подключением водоподогревателей ГВС.

На третьем этапе исследования выполнены варианты схем распределительных сетей газоснабжения территории и варианты магистральных тепловых сетей при централизованном теплоснабжении. В исследовании учтены основные тенденции использования новых материалов и оборудования. В качестве распределительных газопроводов предусмотрены полиэтиленовые трубопроводы как для варианта сети среднего давления, так и для высокого давления газа II категории.

Для расчета схем газораспределительных сетей принят принцип рассредоточенной нагрузки для целей теплоснабжения, аналогично хозяйственно-бытовой нагрузке, так как в долгосрочном периоде неизвестна конкретная точка подключения отдельного абонента при его возможном децентрализованном теплоснабжении. Данная методика применима для объектов децентрализованного теплоснабжения, а при проектировании крупных районных котельных выбор точки подключения необходимо проверять дополнительным расчетом.

За основу системы газораспределения принята смешанная схема с кольцевыми и тупиковыми ответвлениями. В исследовании рассмотрены варианты с 2-мя и 3-мя источниками ГГРП в качестве источников питания сети. Гидравлический расчет газораспределительных сетей выполнен в том числе для аварийных режимов, когда отключается одно из ГГРП. Транспортный резерв газа для сети среднего давления учитывается за счет повышения материальной характеристики в аварийной ситуации. Коэффициент загрузки в аварийной ситуации предусматривается не менее 0,88, так как сети предполагают обеспечение жилой и общественной застройки газом для нужд теплоснабжения от децентрализованных источников и не предусматривают использование альтернативного топлива в аварийных ситуациях (аналогично СП 124.13333 табл. 1).

Для систем централизованного теплоснабжения предусмотрена двухтрубная система магистральных тепловых сетей от одного источника.

Сравнительный анализ альтернативных вариантов структуры тепловых сетей и системы газораспределения учитывает возможность поэтапного ввода участков сети газораспределения при реконструкции и перевооружении инженерной инфраструктуры населенного пункта.

Результаты и обсуждение

Проектные решения и гидравлический расчет газораспределительной сети выполнены на основе расчетных часовых расходов на теплоснабжение и хозяйственно-бытовые нужды. В системе газораспределения максимальный расход газа определен с учетом неравномерности потребления на основе числа часов использования максимума или обратно пропорциональной величины – коэффициента часового максимума. Коэффициент часового максимума отражает вероятностный характер неравномерности планируемой нагрузки на долгосрочный период. Нормативный срок службы полиэтиленовых газопроводов составляет 50 лет, при этом абоненты присоединяются разновремененно, коэффициент часового максимума в реаль-

ных условиях варьируется для хозяйственно-бытовой нагрузки. Для отопления коэффициент часового максимума определяется как функция климатических факторов и не зависит от количества присоединяемых абонентов. При проектировании системы теплоснабжения расчетные значения расхода теплоносителя в магистральных тепловых сетях определяются в зависимости от схемы присоединения потребителей и температуры теплоносителя.

Значения нагрузки на теплоснабжение для условий г. Перми с продолжительностью отопительного периода 225 сут представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние годовые и максимальные часовые расходы энергоресурсов для теплоснабжения и хозяйственных нужд территории с плотностью населения от 100 до 350 чел./га

Table 1

Average annual and maximum hourly consumption of energy resources for heat supply and household needs for the population for a territory with a population density of 100 to 350 people/ha

Плотность населения, чел./га	Расходы энергии на отопление и вентиляцию		Расходы энергии на ГВС		Расходы энергии на приготовление пищи, Гкал/г.	Общий расход энергии для теплоснабжения и хозяйственного потребления, Гкал/г.
	средний за год, Гкал/г.	максимальный часовой, Гкал/ч	средний за год, Гкал/г.	максимальный часовой, Гкал/ч		
100	165328,30	66,04	56206,70	18,60	33158,40	254693,39
150	247992,45	99,05	84310,05	27,31	49737,59	382040,09
200	330656,59	132,07	112413,40	35,89	66316,79	509386,78
250	413320,74	165,09	140516,75	44,38	82895,99	636733,48
300	495984,89	198,11	168620,10	52,81	99475,19	764080,17
350	578649,04	231,12	196723,45	61,17	116054,38	891426,87

Среднегодовой расход тепла по удельным нормативным значениям для отопления и вентиляции составляет 65 % от общего, для горячего водоснабжения – 22 %, для пищевого приготовления – 13 %.

Следует отметить, что норматив проектирования на приготовление пищи в полной мере не отражает фактического потребления газа потребителями по следующим причинам. В 2003 г. данный норматив был увеличен с 2800 до 4100 МДж в год на человека. С другой стороны, повышается спрос населения на использование электрических приборов для приготовления пищи. По фактическим данным 2020 г. для г. Перми, расход газа на приготовление пищи не превышает 6 %.

Для зоны жилой застройки для различной плотности населения разработаны варианты схемы газораспределения и варианты схемы магистральных тепловых сетей. Пример варианта газораспределительной сети среднего давления для территории с плотностью населения 250 чел./га представлен на рис. 2. Предусмотрена однокольцевая схема с тремя источниками ГГРП. Для представленного варианта рассмотрены аварийные режимы с возможным отключением одного из трех ГГРП, остальные два пункта работают на общую сеть. В каждой точке сети предусмотрена возможность присоединения абонентов в течение всего периода эксплуатации с расходом в размере, не превышающем расчетную нагрузку. При этом подключение абонента с расходом, превышающим расчетное значение, предусмотренное при проектировании, проверяется в результате поверочного расчета нормального режима.

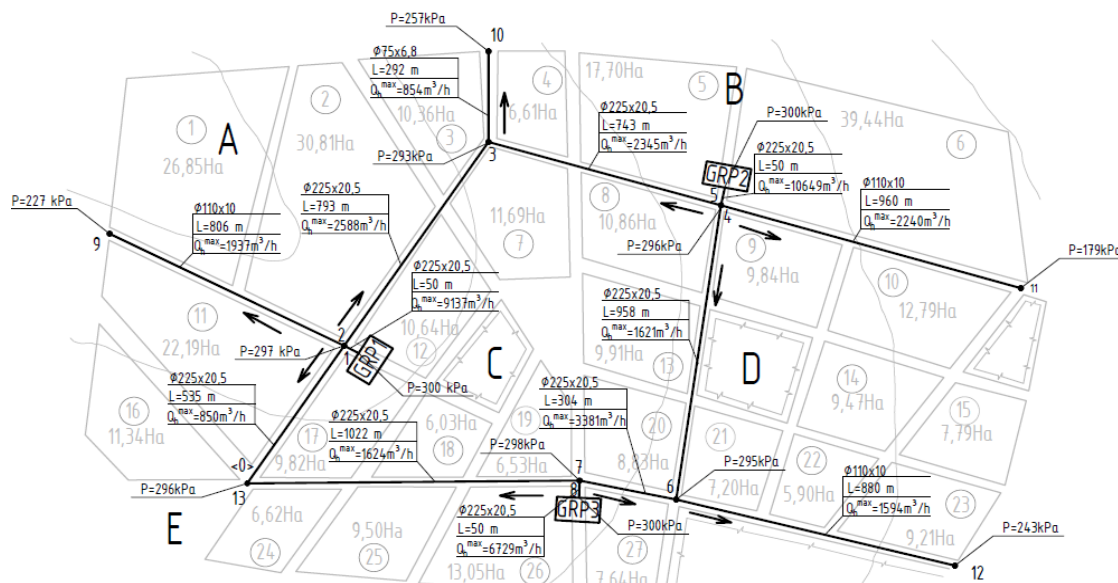


Рис. 2. Вариант газораспределительной сети среднего давления для плотности населения 250 чел./га с тремя пунктами редуцирования газа: 1, 4, 7 – головные газорегуляторные пункты; 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13 – потребители газа

Fig. 2. A variant of a medium-pressure gas distribution network for a population density of 250 people/ha with three gas reduction points: 1, 4, 7 – head gas regulation stations; 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13 – gas consumers

Аналогичные варианты схем газораспределения разработаны для плотности населения 100, 150, 200, 250, 300, 350 чел./га. При развитии системы газораспределения можно предусматривать поэтапный ввод ГГРП и перекладку участков газораспределительной сети при модернизации системы.

Пример варианта магистральной тепловой сети для плотности населения 350 чел./га представлен на рис. 3. Для плотности населения 100, 150, 200, 250, 300 чел./га разработаны аналогичные варианты с температурой воды в подающей магистрали 130 °С, обратной – 70 °С.

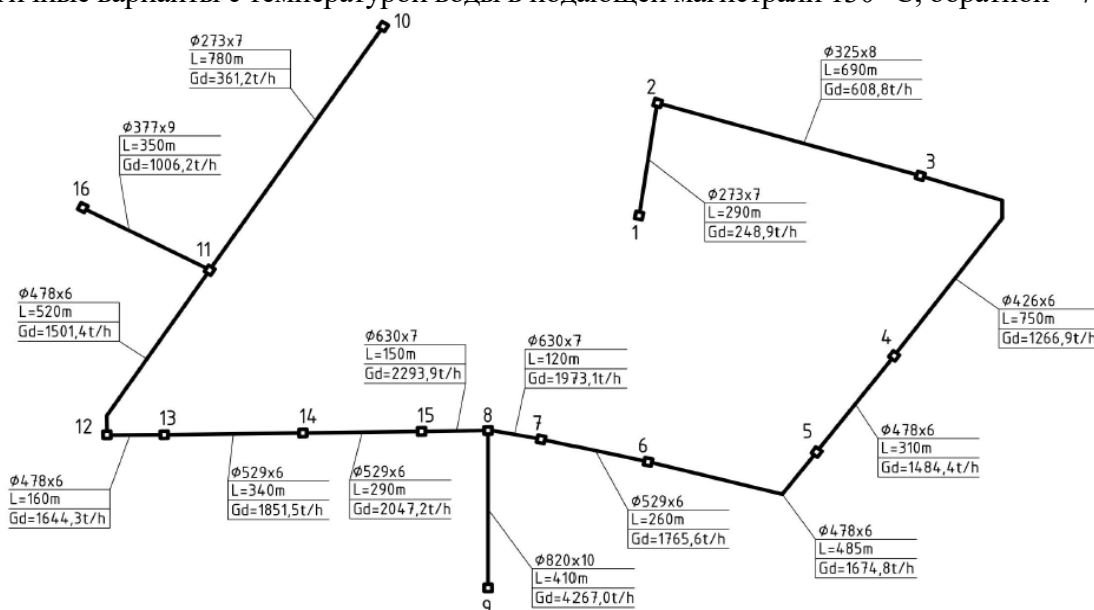


Рис. 3. Принципиальная схема магистральной тепловой сети. Вариант с плотностью населения 350 чел./га: 9 – ГГРП; 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 – потребители газа

Fig. 3. Schematic diagram of the main heat network. Option with a population density of 350 people / ha: 9 – head gas regulation station; 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 – gas consumers

В результате исследования выявлено, что при планировании схем газораспределения на основе кольцевых сетей для таких видов потребления, как теплоснабжение, коэффициент загрузки в аварийной ситуации требует уточнения и обоснования в зависимости от количества потребителей, надежности и расчетных климатических условий. Данный коэффициент приводит к значительному повышению материальной характеристики и является обоснованием обеспечения надежности как системы газораспределения, так и системы децентрализованного теплоснабжения.

Анализ распределительных сетей теплоснабжения и газораспределения по материальной характеристике в данном исследовании сравнительного характера между системой теплоснабжения и газораспределения не имеет. В результате расчета выявлена тенденция относительной динамики материальной характеристики для одинаковых условий проектирования. Результаты расчета линейных параметров для вариантов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика вариантов схем газораспределения и магистральных тепловых сетей для разной плотности населения

Table 2

Characteristics of variants of gas distribution schemes and main heat networks for different population densities

Плотность населения, чел./га	Характеристика сети газоснабжения				Характеристика сети теплоснабжения (один источник теплоснабжения – котельная)		
	количество ПРГ, шт.	категория давления	максимальный диаметр полиэтиленового газопровода SDR11, мм	материальная характеристика, с.м.х.	максимальный диаметр	средние удельные потери, магистралей ТС, Па/м	материальная характеристика в двухтрубном исполнении
100	2	Среднее	315	1729815	426	23,5	3064720
150	2	Высокое второй категории	250	1655746	520	27,1	3621860
200	2	Среднее	315	1618350	720	70,6	4275226
250	3	Среднее	225	1326585	630	38,6	5322494
300	2	Среднее	355	1978060	520	25,0	3372886
350	2	Среднее	450	2154005	820	16,5	5299940
350	3	Высокое второй категории	280	1742540	630	43,2	4615048

Примечание: ТС – тепловые сети; ПРГ – пункт распределения газа.

При увеличении количества потребителей от 100 до 350 человек материальная характеристика газораспределительной сети для микрорайона города увеличивается в 1,3 раза, тогда как для системы теплоснабжения материальная характеристика возрастает в 1,7 раз. На стадии развития городской инфраструктуры при реконструкции источников централизованного теплоснабжения и тепловых сетей на перспективу потребления имеет место некоторое превышение расчетных значений от фактического потребления. В ряде районов

возникает профицит тепловой энергии. Для систем теплоснабжения скорости теплоносителя могут при расчетных режимах находиться в диапазоне от 0,1 до 3 м/с. Представленные в исследовании расчеты показывают, что с незначительным уменьшением скорости при выборе диаметра сети материальная характеристика существенно возрастает.

При двух ГРП в качестве источников газораспределительной сети максимальный диаметр возрастает с 315 до 450 мм для сети среднего давления.

Для сети высокого давления второй категории при двух ГРП максимальный диаметр составляет 250 мм при плотности населения 150 чел./га. При плотности населения 350 чел./га и трех ГРП в качестве источников сети высокого давления второй категории диаметр увеличивается до 280 мм.

В системе газораспределения при однокольцевой схеме с тупиковыми ответвлениями увеличение пропускной способности можно планировать увеличением, например, количества ГРП при одинаковых диаметрах газораспределительных сетей. Данный факт в долгосрочной перспективе функционирования полиэтиленовых газопроводов можно использовать при поэтапном подключении потребителей как при строительстве новых газопроводов, так и при реконструкции существующих систем.

При развитии системы газораспределения можно предусматривать поэтапный ввод ГРП и перекладку участков газораспределительной сети при модернизации системы.

При наличии системы газораспределения для территории обеспечивается возможность более эффективного использования энергоресурсов. В качестве перспективных схем преобразования систем на территории выбираются наиболее доступные технологии для рассмотренного объекта.

Выводы

Для рассмотренной жилой зоны при росте плотности населения от 100 до 350 чел./га дальнейшее увеличение количества ГРП более трех не приводит к повышению надежности системы газораспределения, так как при дальнейшем уменьшении диаметров кольцевых участков сеть не обеспечивает необходимую пропускную способность в аварийных ситуациях. Дальнейшая минимизация материальной характеристики при уменьшении диаметров может привести к ухудшению процесса автоматического регулирования.

Пропускную способность каждого из трех ГРП при работе на однокольцевую сеть следует определять исходя из гидравлического расчета при заданном распределении потока и общей пропускной способности сети. Минимальное значение пропускной способности регулятора давления ориентировочно рекомендуем принимать не менее 25 % общего расхода сети при коэффициенте загрузки регулятора давления не более 48 %.

Система газораспределения является источником для централизованного теплоснабжения микрорайона. В долгосрочном планировании развития территории газораспределительная сеть может рассматриваться как альтернативный источник энергии при реконструкции и перевооружении системы теплоснабжения.

Объекты теплофикации повышают эффективность использования энергии топлива, но транспортировка тепловой энергии в виде сетевой воды по системе трубопроводов требует существенных затрат. При нормативном качестве элементов систем и трубопроводов и их обслуживании обеспечивается нормируемая надежность теплоснабжения. При высокой изношенности сетей теплоснабжения и необходимости от теплоснабжающих компаний значительных материальных вложений в обслуживание проявляются тенденции децентра-

лизации систем теплоснабжения с уменьшением радиуса их действия. Это явление для территорий с продолжительным отопительным периодом более 200 сут и существующими системами централизованного теплоснабжения от ТЭС является негативной тенденцией, так как снижается эффективность использования органического топлива.

Формальное, на первый взгляд экономически выгодное решение без анализа долгосрочной перспективы может привести к ухудшению качества систем теплоснабжения. Система централизованного теплоснабжения при всех издержках позволяет осуществлять контроль и планирование. Децентрализованное теплоснабжение имеет ряд особенностей, связанных с безопасностью, которые без правовых инструментов не могут быть решены.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Sarchenko V.I., Khirevich S.A. Integrated and Sustainable Territorial Development as an Efficient Tool for Urban Renewal // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference “EarthScience”, Russky Island, 10–12 декабря 2019 г. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 052028. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052028
2. Proskurnin S.D., Belyakova G.Ya. Innovation technologies and practical engineering solutions for smart city development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 31 of July 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52021. DOI: 10.1088/1757-899X/919/5/052021
3. Ben Amer-Allam S., Münster M., Petrović S. Scenarios for sustainable heat supply and heat savings in municipalities – The case of Helsingør, Denmark // *Energy*. – 2017. – Vol. 137. – P. 1252–1263. DOI: 10.1016/j.energy.2017.06.091
4. Alexandrov G.G., Ginzburg A.S. Anthropogenic impact of Moscow district heating system on urban environment // *Energy Procedia*: 16, Hamburg, 09–12 September. – Hamburg, 2018. – P. 161–169. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.08.180
5. Klobut K., Hukkalainen M., Mäkeläinen T. Visionary scenarios for planning of energy-efficient buildings and neighbourhoods // *International Journal of Energy Production and Management*. – 2018. – Vol. 3, № 3. – P. 179–190. DOI: 10.2495/EQ-V3-N3-179-190
6. A Model for Control of Steady State of Intelligent Integrated Energy System / N.I. Voropai, V.A. Stennikov, E.A. Barakhtenko [et al.] // *Energy Systems Research*. – 2018. – Vol. 1, № 1 (1). – P. 57–66. DOI: 10.25729/esr.2018.01.0007
7. Tynchenko V.V., Solovyov E.A., Tynchenko S.V. Design of grid systems to solve complex industrial engineering problems // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 of May 2016. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 7911574. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911574
8. Lvovich I.Y., Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Modelling and optimizing engineering network systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk, 25–27 of September 2019. – Chelyabinsk, 2019. – P. 044026. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044026

9. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city / V.N. Mel'kumov, S.V. Chujkin, A.M. Papshickij, K.A. Sklyarov // *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture.* – 2015. – № 4 (28). – P. 33–40.
10. Information system of decision making using for optimization of heat supply systems development / V. Nemtinov, S. Terekhov, Yu. Nemtinova [et al.] // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018: Conference proceedings, Albena, Bulgaria, 02–08 of July 2018. – Albena, Bulgaria: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2018. – P. 253–260. DOI: 10.5593/sgem2018/2.2/S08.032
11. Postnikov I., Stennikov V. Methods and models of ensuring reliability of district heating systems with prosumers // *E3S Web of Conferences*, Bishkek, 11–15 of September 2017. – Bishkek: EDP Sciences, 2017. – P. 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/20172502009
12. Stennikov V., Mednikova E., Postnikov I. Optimization of the district heating zones // *MATEC Web of Conferences: conference proceedings*, Irkutsk, Russia, 26–27 of April 2018. – Irkutsk, Russia: EDP Sciences, 2018. – P. 02005. DOI: 10.1051/matecconf/201821202005
13. Orlov M.E., Sharapov V.I. Improving urban district heating systems and assessing the efficiency of the energy usage therein // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2017. – Vol. 891. – P. 012161. DOI: 10.1088/1742-6596/891/1/012161
14. Vasile L., Mihail C. Centralised district heating systems: Reality and perspectives // 2017 11th International Conference on Electromechanical and Power Systems, SIELMEN 2017 – Proceedings: 11, Iasi, 11–13 of October 2017. – Iasi, 2017. – P. 571–574. DOI: 10.1109/SIELMEN.2017.8123389
15. Østergaard P.A., Lund H. Editorial – Smart district heating and energy system analyses // *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management.* – 2017. – Vol. 13. – P. 1–4. DOI: 10.5278/ijsepm.2017.13.1
16. Klochko A., Zhila V. Solving Problems of Distribution Network Tracing: Example of Gas Distribution Using the Search Optimization Methodology // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* – 2017. – Vol. 692. – P. 615–624. DOI 10.1007/978-3-319-70987-1_65
17. Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения // *Научный журнал строительства и архитектуры.* – 2017. – № 3 (47). – С. 21–31.
18. Белоглазова Т.Н., Бухаринов И.В. Структурная модернизация газораспределительных сетей на основе технико-экономического обоснования // *Естественные и технические науки.* – 2018. – № 12 (126). – С. 144–146.
19. Мартыненко Г.Н., Китаев Д.Н. Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г. // *Научный журнал строительства и архитектуры.* – 2018. – № 3 (51). – С. 11–21.
20. Биев А.А., Шпак А.В. Проблемы и перспективы газификации Мурманской области // *Проблемы развития территории.* – 2014. – № 6 (74). – С. 48–62.
21. Бугаева Т.М., Новикова О.В. Современные методы планирования энергосистемы города // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ.* – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 377–387. DOI: 10.21122/1029-7448-2019-62-4-377-387

References

1. Sarchenko, V. I., Khirevich S.A. Integrated and Sustainable Territorial Development as an Efficient Tool for Urban Renewal. *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference "EarthScience"*, 10–12 December 2019, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 052028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/5/052028>
2. Proskurnin S.D., Belyakova G.Ya. Innovation technologies and practical engineering solutions for smart city development. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 31 July, Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, p. 52021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/5/052021>
3. Ben Amer-Allam S., Münster M., Petrović S. Scenarios for sustainable heat supply and heat savings in municipalities – The case of Helsingør, Denmark. *Energy*, 2017, vol. 137, pp. 1252–1263. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.091>
4. Alexandrov G.G., Ginzburg A.S. Anthropogenic impact of Moscow district heating system on urban environment. *Proceedings of the Energy Procedia: 16, "16th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC 2018"* 09–12 September, Hamburg, 2018. pp. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.180>
5. Klobut K., Hukkalainen M., Mäkeläinen T. Visionary scenarios for planning of energy-efficient buildings and neighbourhoods. *International Journal of Energy Production and Management*, 2018, vol. 3, no 3, pp. 179–190. <https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N3-179-190>
6. Voropai N.I., Stennikov V.A., Barakhtenko E. A [et al.]. Model for Control of Steady State of Intelligent Integrated. Energy System. *Energy Systems Research*. 2018, vol. 1, no 1 (1), pp. 57–66. <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0007>
7. Tynchenko, V. V., Solovyov E.A., Tynchenko S.V. Design of grid systems to solve complex industrial engineering problems. *Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016*, 19–20 may, chelyabinsk: institute of electrical and electronics engineers inc., 2016, p. 7911574. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7911574>
8. Lvovich I.Y., Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Modelling and optimizing engineering network systems. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 25–27 September, Chelyabinsk, 2019, pp. 044026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/687/4/044026>
9. Mel'kumov V.N., Chujkin S.V., Papshickij A.M., Sklyarov K.A. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2015, no 4 (28), pp. 33–40.
10. Nemtinov V., Terekhov S., Nemtinova Yu. [et al.] Information system of decision making using for optimization of heat supply systems development. *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*, 02–08 July, Albena, Bulgaria: Limited Liability Company STEF92 Technology, 2018, pp. 253–260. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/2.2/S08.032>
11. Postnikov I., Stennikov V. Methods and models of ensuring reliability of district heating systems with prosumers. *Proceedings of the E3S Web of Conferences*, 11–15 September, Bishkek, EDP Sciences, 2017, p. 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172502009>
12. Stennikov V., Mednikova E., Postnikov I. Optimization of the district heating zones. *Proceedings of the MATEC Web of Conferences: conference proceedings*, 26–27 April Irkutsk, Russia: EDP Sciences, 2018, pp. 02005. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821202005>

13. Orlov M.E., Sharapov V.I. Improving urban district heating systems and assessing the efficiency of the energy usage therein. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 891, p. 012161. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/891/1/012161>
14. Vasile L., Mihail C. Centralised district heating systems: Reality and perspectives. *Proceedings of the 11th International Conference on Electromechanical and Power Systems, SIELMEN 2017*, 11–13 October, Iasi, 2017, pp. 571–574. <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123389>
15. Østergaard P.A., Lund H. Editorial – Smart district heating and energy system analyses. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 2017, vol. 13, p. 1–4. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2017.13.1>
16. Klochko A., Zhila V. Solving Problems of Distribution Network Tracing: Example of Gas Distribution Using the Search Optimization Methodology. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 692, pp. 615–624. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_65
17. Medvedeva O.N., Bessonova N.S. Sravnitel'naya ocenka energoekonomicheskoy effektivnosti poselkovykh sistem gazosnabzheniya [Comparative assessment of energy-economic efficiency of settlement gas supply systems]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury*, 2017, no. 3 (47), pp. 21–31.
18. Beloglazova T.N., Bukharinov I.V. Strukturnaya modernizaciya gazoraspredeletel'nyh setej na osnove tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya [Structural modernization of gas distribution networks based on a feasibility study]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 12 (126), pp. 144–146.
19. Martynenko G.N., Kitaev D.N. Perspektivy razvitiya sistemy gazosnabzheniya gorodskogo okruga g. Voronezh na period do 2035 g [Prospects for the development of the gas supply system of the Voronezh City District for the period up to 2035]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury*, 2018, no. 3 (51), pp. 11–21.
20. Biev A.A., Shpak A.V. Problemy i perspektivy gazifikacii Murmanskoy oblasti [Problems and prospects of gasification of the Murmansk region]. *Problemy razvitiya territorii*, 2014, no. 6 (74), pp. 48–62.
21. Bugaeva, T. M., Novikova, O.V. Sovremennye metody planirovaniya energosistemy goroda [Modern methods of planning the power system of the city]. *Energetika. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij i energeticheskikh ob"edinenij SNG*, 2019, vol. 62, no. 4, pp. 377–387. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-4-377-387>