

Решение задач энергосбережения в условиях газификации отдалённых районов России*

Рецензия эксперта на статью получена 24.05.2021 [The expert review on the article received on May 24, 2021].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

За 2016–2019 годы объём добычи природного газа на Севере и Дальнем Востоке РФ увеличился на 15 % до 741 млрд м³. Из 97 млрд м³ абсолютного прироста добычи в этот период более 50 % ушло за границу, при этом доля зарубежных поставок в производстве выросла до 35 %. Газификация входит в «Перечень объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности», утверждённый Постановлением Правительства РФ от 17 июня 2015 года №600-ПП, что позволяет применить для теплоснабжающих организаций ряд налоговых льгот.

При этом общий уровень газификации в России на начало 2021 года составил 70,1 %. До сих пор остаются целые регионы, где уровень поставок газа остаётся невысоким: вся Восточная Сибирь (Красноярский край, Хакасия, Тува, Иркутская область и др.) и большинство регионов Дальнего Востока (Забайкальский край, Приморье, Республика Саха и др.). Одновременно остаются примеры слабо газифицированных регионов, где уже развёрнута добыча газа. Так, из 187 млрд м³ газа, полученного в рамках проекта «Сахалин-2» с момента начала промышленной добычи по конец 2019 года, на внутренний рынок поставлено лишь 9,9 млрд м³ или чуть более 5 % [1].

Основным потребителем газа на внутреннем рынке является электроэнергетика (42 %), ещё порядка 10 % приходится на централизованное теплоснабжение, работающее на газе [1]. Например, на объектах АО «Транснефть — Прикамье» последующее внедрение энергоэффективной котельной блочно-модульного типа

Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года требует улучшения качества ограждающих конструкций, систем учёта тепловой энергии и водоснабжения, реконструкции систем энерго- и теплоснабжения, оснащения отдалённых сельских населённых пунктов автономными мини-котельными

планируется в 2021 году на нефтеперекачивающей станции «Малая Пурга» (Малопургинский район Удмуртской Республики) в рамках программы технического перевооружения и реконструкции [2].

Разработанные блочно-модульные котельные включены в программы внедрения механизмов экономического стимулирования оптимизации расходов образовательных учреждений на коммунальные услуги от проводимых энергосберегающих мероприятий.

Более того, вся стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года [3] требует улучшения качества ограждающих конструкций, систем учёта тепловой энергии и водоснабжения; реконструкции систем энерго- и теплоснабжения, оснащения отдалённых сельских населённых пунктов автономными мини-котельными. Для реализации их энергосберегающего потенциала требуются температурные графики и тепловые сети, позволяющие работать с минимальными тепловыми потерями.

УДК 697.34. Научная специальность: 05.14.04.

Решение задач энергосбережения в условиях газификации отдалённых районов России

С. В. Чичерин, аспирант, кафедра теплоэнергетики, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, г. Омск); **С. В. Глухов**, к.т.н., доцент, кафедра теплоэнергетики, ОмГУПС (г. Омск); **А. В. Жуйков**, к.т.н., заведующий учебно-научной лабораторией кафедры теплотехники и гидродинамики, Политехнический институт Сибирского федерального университета (ПИ СФУ, г. Красноярск); **А. И. Матюшенко**, д.т.н., заведующий кафедрой инженерных систем зданий и сооружений, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета (ИСИ СФУ, г. Красноярск); **В. А. Кулагин**, д.т.н., заведующий кафедрой теплотехники и гидродинамики, ПИ СФУ (г. Красноярск); **Л. В. Приймак**, к.т.н., доцент, кафедра инженерных систем зданий и сооружений, ИСИ СФУ (г. Красноярск)

При использовании температурного графика 95/70 °C возрастают затраты на перекачку теплоносителя. При строительстве новых систем централизованного теплоснабжения целесообразно: увеличить толщину стенки трубопроводов и отказаться от температурных графиков, приводящих к высокой интенсивности внутренней коррозии трубопроводов при работе значительную часть отопительного периода с температурами теплоносителя 60–85 °C.

Ключевые слова: теплоснабжение, сеть, трубопровод, тепловой, прокладка, потеря, документация, здание, температура, строительство, график, нагрузка, потребление.

UDC 697.34. Scientific specialty number: 05.14.04.

Energy conservation measures when providing natural gas-supply to remote areas of Russia

S. V. Chicherin, postgraduate student, the "Thermal Engineering" Department, Omsk State Transport University (OmSTU, Omsk city); **S. V. Glukhov**, PhD, Associate Professor, the "Thermal Engineering" Department, OmSTU (Omsk city); **An. V. Zhukov**, PhD, Head of the Educational and Scientific Laboratory of the Department of Thermal Engineering and Hydrogas Dynamics, the Polytechnic Institute of the Siberian Federal University (PI SFU, Krasnoyarsk city); **An. I. Matyushenko**, PhD, Head of the Department Engineering systems of buildings and structures, the Civil Engineering Institute of the Siberian Federal University (CEI SFU, Krasnoyarsk city); **V. A. Kulagin**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Heat Engineering and Hydro-Gas Dynamics, PI SFU (Krasnoyarsk city); **L. V. Priymak**, PhD, Associate Professor, the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures, ISI SFU (Krasnoyarsk city)

The relevance is an industrial process of gas supply into remote areas. Since there is excessive temperature degradation in the smaller line sizes, additional wall thickness and avoiding hot water temperature of 60–85 °C are advisable. Temperatures 95/70 °C and below enable utilizing waste heat and reduce heat losses. However, these temperatures are generally unreasonable due to high heat demands.

Key words: district heating, network, pipe, heat, distribution type, project, building, temperature, construction, regime, demand, consumption.



Значительное число публикаций посвящено нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии (например, [4]), а часть авторов описывают специфику их применения для выбранного в настоящей статье объекта исследования [5]. Дороговизна водоподготовки, а также законодательные требования вынуждают переходить на закрытую схему теплоснабжения, что усложняет организацию гидравлического режима [6].

Структура теплопотребления и предпосылки к её изменению подробно описаны в [7], однако приведённые методы непригодны для применения к временным населённым пунктам вахтового типа. Традиционно много внимания уделяется типам тепловой изоляции и их вкладу в снижение тепловых потерь [8]. Между тем, это намного более комплексная задача, требующая решения на всех этапах проектирования и строительства [9].

Энергосберегающий потенциал определяется также и другими факторами: способом прокладки, принятым температурным графиком [10] и типом грунта [11], как, например, в анализе Д. Вольфрэма и Т. Нейдхарта [12] в части особенностей поведения трубопроводов тепловых сетей в грунтах обратной засыпки, обладающих временной подвижностью.

В целом, за рубежом при проектировании широко применяются BIM-модели и технологии виртуальной реальности, упрощающие процесс понимания проекта заказчиком, что позволяет находить и исправлять недоработки в гораздо более короткий срок [13].

С другой стороны, энергоэффективность системы централизованного теплоснабжения во многом определяется оборудованием на стороне потребления тепловой энергии — индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП) [14].

Материалы и методы исследования

При строительстве новой системы централизованного теплоснабжения зачастую имеются новые здания или потребители тепла, не отапливающиеся от централизованных систем ранее. Целесообразно не просто ориентироваться на расчётные климатические параметры, но и проанализировать погодные данные последних четырёх-пяти отопительных периодов. Более того, если речь идёт о вахтовых посёлках, то обычно доступна лишь примерная информация о количестве зданий того или иного типа.

Определяется число градусо-часов отопительного периода [°C/ч], приходящихся на каждый месяц:

$$T_{dd} = \frac{\sum_{t=0}^{t_{\max}} y_t}{t_{\max}}, \quad (1)$$

где $t_{\max}$ — число часов в месяце, ч; y_t — соответствующая данному месяцу расчётная температура, °C:

$$y_t = \begin{cases} T_{\text{ref}} - T_t, & \text{if } T_{\text{ref}} > T_t \\ T_{\text{ref}}, & \text{if } T_{\text{ref}} < T_t \end{cases}, \quad (2)$$

где T_{ref} — расчётная температура наружного воздуха, °C; T_t — текущая температура наружного воздуха, °C.

Число градусо-часов $T_{dd, \max}$ [°C/ч] используется для расчёта коэффициента Temperature Dependent Factor (TDF):

$$TDF_{\text{mon}} = \frac{T_{dd}}{T_{dd, \max}}. \quad (3)$$

$$\text{Удельная тепловая нагрузка [МВт/м}^2\text{]:} \\ P_A = P_{A, \text{ref}, t} TDF_{\text{mon}}, \quad (4)$$

где $P_{A, \text{ref}, t}$ — расчётная тепловая нагрузка, МВт/м².

Тепловая нагрузка [МВт], рассчитанная укрупнённым способом, составит:

$$P = P_A A, \quad (5)$$

где A — отапливаемая площадь здания, м².

Для ряда объектов, например, детских, спортивных и медицинских учреждений, требования к температурному режиму могут значительно отличаться [15], поэтому все объекты распределяются по типам.

Общая площадь зданий данного типа определяется согласно выражению:

$$A_{s, b} = A_{As, i, b} N_b, \quad (6)$$

где $A_{As, i, b}$ — средняя отапливаемая площадь здания данного типа, м²; N_b — число зданий каждого типа.

Общая тепловая нагрузка зданий каждого типа, определяется простым соотношением:

$$P_{q, b} = A_{s, b} P_{A, b}, \quad (7)$$

где $P_{A, b}$ — средняя удельная тепловая нагрузка зданий данного типа, МВт/м².

Общая тепловая нагрузка, подключаемая к системе централизованного теплоснабжения (СЦТ):

$$P_q = \sum_{b=1}^7 P_{q, b}. \quad (8)$$

Даже при присоединении к СЦТ небольших микрорайонов много внимания уделяют не просто анализу тепловой нагрузки, но её неравномерности потребления различными зданиями, как в работе [13]. Отечественная практика проектирования и нормативная документация предполагает учёт коэффициентов неравномерности только для теплопотребления на нужды ГВС и выбора диаметра трубопроводов наружных тепловых сетей, а также некоторого другого оборудования внутренних инженерных систем здания.

Время прохождения теплоносителя от теплоисточника определяется как

$$t = L/v, \quad (9)$$

где L — длина трубопроводов до потребителя, м; v — расчётная скорость теплоносителя, м/с.

Тепловые потери участка тепловой сети [МВт] определяются по формуле:

$$P_L = \frac{2\pi k L (T_i - T_0)}{\ln\left(\frac{D_0}{D_i}\right)}, \quad (10)$$

где k — теплопроводность стенки трубы, Вт/(м·°C); T_i — среднегодовая температура теплоносителя, °C; T_0 — среднегодовая температура окружающей среды: воздуха для надземной прокладки, грунта — для подземной бесканальной, °C; D_i — внутренний диаметр трубопровода, м; D_0 — наружный диаметр трубопровода, м.

Тогда расчётная мощность теплоисточника для покрытия полезной тепловой нагрузки и потерь составит:

$$P_r = \sum_{q=1}^N (P_q + P_{L, q}). \quad (11)$$

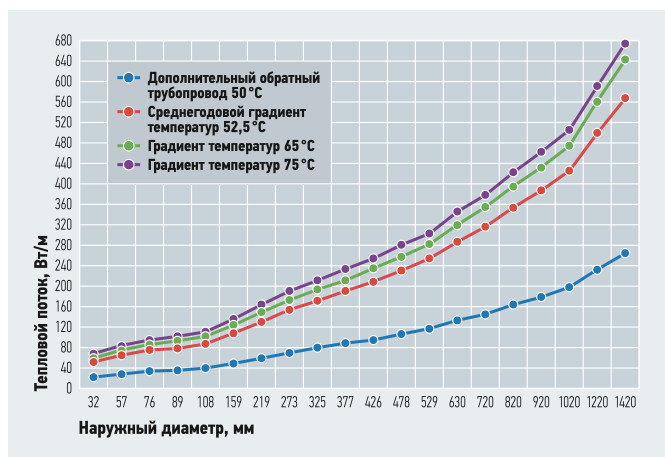


Рис. 1. Зависимость максимально допустимого удельного теплового потока от принятого графика качественного регулирования отпуска тепловой энергии при идентичных внешних условиях

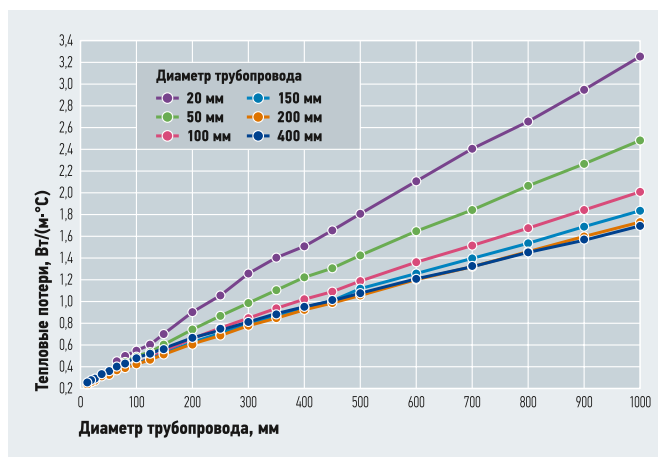


Рис. 2. Зависимость величины минимально допустимого коэффициента теплопередачи от расчётной разности температур в подающем и обратном трубопроводах и их диаметра



Фото 1. Участок подземной канальной прокладки после крепления тепловой изоляции стрепп-лентой ПЭТ



Фото 2. Вид тепловой камеры в месте смены типа прокладки, устроенной со стенами из бетонных фундаментных блоков ФБС

Результаты исследования и их обсуждение

При планировании новой системы централизованного теплоснабжения особенно важен вопрос выбора температурного графика. Графики 85/60 и 65/40 °С, активно внедряемые на территории Евросоюза, позволяют эффективно утилизировать низкопотенциальное бросовое тепло [13]. Одновременно снижаются тепловые потери (рис. 1), однако их применение в условиях Крайнего Севера нецелесообразно в связи со значительными тепловыми нагрузками, приводящими к значительным диаметрам трубопроводов.

Вечная мерзлота в регионах Крайнего Севера приводит к нецелесообразности подземной прокладки. При прокладке участков тепловых сетей надземным способом оптимальным и проверенным решением является тепловая изоляция из минераловатных матов и покровного слоя из стеклопластика РСТ-410. При этом устройство основного слоя должно быть выполнено так: сшивка продольных и поперечных швов теплоизоляционных матов выполнена оцинкованной проволокой диаметром не менее 0,8 мм; крепление теплоизоляционных матов к трубопро-

воду выполнено хомутами из ленты ПЭТ с шагом не более 450 мм (фото 1).

При невыполнении этих требований покровный слой, выполненный стеклопластиком РСТ-410, теряет целостность, приводит к намоканию и увеличению тепловых потерь из-за освобождения краёв стеклопластика из-под хомутов. Выбранный способ прокладки, так же, как и температурный график, оказывает влияние на величину тепловых потерь [10].

Для того, чтобы фактическая величина тепловых потерь на всех участках была сопоставима с расчётной, необходимо запретить следующее:

- проводить работы без наличия разработанной и согласованной соответствующим образом проектно-сметной документации;

При прокладке участков тепловых сетей надземным способом в условиях вечной мерзлоты оптимальным и проверенным решением является тепловая изоляция из минераловатных матов и покровного слоя из стеклопластика РСТ-410

- использовать устаревшее оборудование, снимаемое с производства;

□ использовать при подземной прокладке трубопроводы в пенополиуретановой изоляции без системы оперативно-диспетчерского контроля увлажнения изоляции (СОДК), а также трубы в других видах тепловой изоляции, конструкцией которых не подразумевается наличие СОДК (за исключением текущего ремонта и других случаев) [8];

- при подземной прокладке устраивать тепловые камеры из бетонных фундаментных блоков ФБС (фото 2).

Текущий ремонт обычно связан с повреждениями «на шесть-восемь часов» по сечению трубопровода, как правило, происходящих в момент повышения температуры наружного воздуха — например, оттепели зимой.

Что касается самого материала металлической стенки трубы, то применяемые в настоящее время марки 17Г1С и 09Г2С обладают почти одинаковыми характеристиками. При выборе той или иной марки в проектной документации должна приводиться ссылка на технический документ, регламентирующий её применение, например, технические условия (ТУ).

С другой стороны, изготовление некоторого типа металлопроката и фасонных изделий просто не предусматривается: например, изготовление из стали марки 09Г2С трубы диаметром более 400 мм, в связи с чем простая замена стали без замены нормативно-технической документации не имеет смысла.

Для повышения надёжности при составлении технического задания целесообразно: увеличить толщину стенки трубопроводов (Ду150 с 4,5 до 6 мм, Ду50 с 3,5 до 4 мм; Ду32 с 2 до 4 мм); обеспечить 100 %-й контроль сварных стыков, например, методом ультразвукового контроля (УЗК).

При использовании температурного графика 95/70 °С снижается стоимость теплоизоляционного слоя за счёт уменьшения его толщины, определяемой необходимостью обеспечения нормируемой величины тепловых потерь (рис. 2), одновременно возрастают затраты электроэнергии на привод сетевых насосов и перекачку теплоносителя.

С другой стороны, ряд рассматриваемых температурных графиков приводит к высокой интенсивности внутренней коррозии ППУ-трубопроводов с температурами теплоносителя 60–85 °С при их работе на протяжении значительной части отопительного периода. Компания-подрядчик, задействованная при прокладке тепловых сетей, должна иметь на месте строительства следующих специалистов, требующихся для качественного монтажа СОДК:

- инженер пятой группы электробезопасности;
- электромонтажник — не ниже третьей группы электробезопасности;
- инженер-наладчик — не ниже четвертой группы электробезопасности.

Персонал должен иметь удостоверение установленной формы о проверке знаний правил работы в электроустановках с отметкой о группе по электробезопасности, присвоенной в установленном действующими нормами порядке [п. 46.2 «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (в ред. Приказа Минтруда России от 19 февраля 2016 года №74н)].

Типовыми замечаниями являются:

а) на этапе рассмотрения проектной и рабочей документации:

- отсутствие плана землеустройства;
- устройство запорной арматуры на ответвлении на некотором удалении от точки врезки в основной трубопровод — более целесообразно расположить её сразу за первым отводом (фото 3);
- неверное обозначение категории трубопроводов (например, «IV категория согласно выведенного из использования свода правил безопасности» — правильно указывать «категория трубопроводов 1, группа рабочей среды 2»);
- неустранение замечаний по локальным расчётам (ЛСР) и сводным сметным расчётам (ССР), в частности, замечаний по расценкам;
- несвоевременное предоставление откорректированной документации, что задерживает проверку ведомостей объёмов работ (ВОР), что, в свою очередь, задерживает проверку ЛСР и ССР.

б) на этапе рассмотрения исполнительной документации:

- незначительные ошибки заполнения журналов сварочных, бетонных работ и журнала авторского надзора (например, отсутствие наименования объекта строительства, даты окончания журнала и т.д.);
- отсутствие актов приёмки, например, системы оперативного дистанционного контроля (ОДК) [9].

Заключение

Для достижения целевых показателей энергоэффективности на новых объектах систем централизованного теплоснабжения в условиях газификации отдалённых районов России рабочая и проектная документация должна разрабатываться в соответствии с действующей нормативно-технической документацией [17, 18].

В пояснительной записке должны содержаться исходные данные и условия для подготовки проектной документации на объект капитального строительства, а также правильно указываться реквизиты основных и ссылочных документов. Участник закупки должен предоставлять в составе своей заявки справку о кадровых ресурсах, документы, подтверждающие наличие квалификации (дипломы, свидетельства об обучении) и групп по электробезопасности.

При ремонте и модернизации существующих объектов инфраструктуры стоимость определяется протяжённостью участка, подлежащего замене, однако по-



• • Фото 3. Исполнение запорной арматуры на врезке в трубопровод участка магистральной тепловой городской сети

явление дефектов из-за воздействия наружной коррозии, как правило, носит локальный характер. Дефекты могут с равной периодичностью возникать на строго определённом отрезке, например, в месте пересечения с автомобильной дорогой или смежных областях. Особое внимание следует обращать на точки изменения

типа прокладки или его способа: например, начала или окончания гильзы или границ разгрузочной плиты. Для обеспечения целевых показателей энергоэффективности задачи требуется решать комплексно: например, выявлять и устранять причину появления повреждений, а не решать проблему текущим ремонтом.

При составлении технического задания необходимо помнить, что всё, что не будет указано в техническом задании, исполнитель имеет право не включать в своё предложение и, как следствие, не выполнять. При реализации нового строительства должно быть запрещено:

- использовать трубопроводы и фасонные изделия из спирально-шовной трубы;
- использовать в качестве антикоррозионного покрытия трубопроводов и элементов конструкций тепловых сетей лаки на битумной основе («Кузбасслак», «БТ»).

С другой стороны, современные плёночные покрытия могут быть не только эффективным средством защиты от коррозии, но и способствовать снижению тепловых потерь [8, 10, 11]. •



1. Ивантер А., Кудяров С. Хватит ли регионам России газа? [Электр. текст]. «Новости сибирской науки» от 23.11.2020. Режим доступа: sib-science.info. Дата обрац.: 20.03.2021.
2. Энергоэффективная блочно-модульная котельная прошла опытно-промышленную эксплуатацию в Пермском РНУ [Электр. текст]. Пресс-релиз АО «Транснефть — Прикамье» от 31.01.2020. Режим доступа: kama.transneft.ru. Дата обрац.: 10.05.2021.
3. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года: Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2009 №2094-р.
4. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: столетний опыт работы российских научных школ // Энергия: экономика, техника, экология, 2019. №5. С. 16–32.
5. Фёдоров В.Т., Кокоев М.Н. Альтернативное теплоснабжение северных поселков городского типа // Промышленное и гражданское строительство, 2020. №8. С. 65–73.
6. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка, 2019. №6. С. 53–56.
7. Кикоть Е.А., Газизов Ф.Н. Выбор структуры тепловой генерации в городах РФ при актуализации схем теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетик, 2020. №5. С. 71–82.
8. Байдусенов Г.Н., Абилюдинова С.К., Елеманова А.А., Садыков Р.А. Эффективность пенополиуретановых труб при модернизации теплосетей // Известия КГАСУ, 2020. №1. С. 109–117.
9. Чичерин С.В. Резервы снижения тепловых потерь сетей и повышения надёжности теплоснабжения: анализ проектной и исполнительной документации // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура, 2020. №1. С. 204–215.
10. Банникова С.А., Захаров В.М., Козлова М.В. Экспериментальное определение тепловых потерь сети теплоснабжения для их использования в устройстве утилизации // Вестник ИГЭУ, 2019. №1. С. 5–11.
11. Бирюзова Е.А., Глуханов А.С. Влияние способа прокладки трубопроводов на энергоэффективность тепловой сети // Вестник ПНИПУ. Серия: Строительство и архитектура, 2019. №4. С. 59–66.
12. Wolfrum D., Neidhart T. District heating pipes buried in temporarily flowable backfill materials. Energy Procedia. 2008. Vol. 149. Pp. 170–178.
13. Shi Y., Du J., Worthy D.A. The impact of engineering information formats on learning and execution of construction operations: A virtual reality pipe maintenance experiment. Automation in Construction. 2020. Vol. 119. No. 103367.
14. Чичерин С.В., Жуйков А.В. Проверка состава оборудования ИТП на соответствие требований заказчика, нормативно-технического регулирования и целесообразности // Журнал СОК, 2020. №6. С. 30–34.
15. Чичерин С.В. Специфика составления задания на проектирование раздела ОВиК объектов детских и спортивных учреждений // Журнал СОК, 2020. №3. С. 34–37.
16. Luc K.M., Li R., Xu L. et al. Energy flexibility potential of a small district connected to a district heating system. Energy and Building. 2020. Vol. 225. No. 110074.
17. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 №87-ПП (ред. от 27.10.2015).
18. ГОСТ Р 21.101–2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. — М.: Стандартинформ, 2021.

References — see page 79.

Energy conservation measures when providing natural gas-supply to remote areas of Russia. Pp. 42–46.

Stanislav V. Chicherin, postgraduate student, the “Thermal Engineering” Department, Omsk State Transport University (OmSTU, Omsk city); **Sergey V. Glukhov**, PhD, Associate Professor, the “Thermal Engineering” Department, OmSTU (Omsk city); **Andrey V. Zhuikov**, PhD, Head of the Educational and Scientific Laboratory of the Department of Thermal Engineering and Hydrogas Dynamics, the Polytechnic Institute of the Siberian Federal University (PI SFU, Krasnoyarsk city); **Anatoly Iv. Matyushenko**, PhD, Head of the Department Engineering systems of buildings and structures, the Civil Engineering Institute of the Siberian Federal University (CEI SFU, Krasnoyarsk city); **Vladimir Al. Kulagin**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Heat Engineering and Hydro-Gas Dynamics, PI SFU (Krasnoyarsk city); **Lilia V. Priymak**, PhD, Associate Professor, the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures, ISI SFU (Krasnoyarsk city)

1. A. Ivanter, S. Kudijarov. *Hvatit li regionam Rossii gaza?* [Will the regions of Russia have enough gas?]. “*Novosti sibirskoy nauki*” ot 23.11.2020 [The “News of Siberian Science” dated November 23, 2020]. Web-source: sib-science.info. Access data: Mart 20, 2021. [In Russian]
2. *Jenergojeffektivnaja blochno-modul'naja kotel'naja proshla opytno-promyshlennuju jekspluataciju v Permskom RNU* [The energy-efficient block-modular boiler house has passed pilot operation at the Perm Regional Oil Pipeline Department]. Press-reliz AO “Transneft” — Prikamje” ot 31.01.2020 [Press release of “Transneft-Prikamye”, JSC, dated January 31, 2020]. Web-source: kama.transneft.ru. Access data: May 10, 2021. [In Russian]
3. *Ob utverzhdenii Strategii social'no-jekonomicheskogo razvitiya Dal'nego Vostoka i Bajkal'skogo regiona na period do 2025 goda* [On the approval of the Strategy for the socio-economic development of the Far East and the Baikal region for the period up to 2025]. *Rasporjazhenie Pravitel'stva RF* ot 28.12.2009 №2094-r [Order of the Government of the Russian Federation of December 28, 2009 No. 2094-o]. [In Russian]
4. V.A. Butuzov. *Geotermal'noe teplosnabzhenie: stoletnij opyt raboty rossijskikh nauchnykh shkol* [Geothermal heat supply: A century of experience in the work of Russian scientific schools]. *Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija* [“Energy: economics, technology, ecology” Magazine]. 2019. No. 5. Pp. 16–32. [In Russian]
5. V.T. Fjodorov, M.N. Kokoev. *Alternativnoe teplosnabzhenie severnykh poselkov gorodskogo tipa* [Alternative heat supply to northern urban-type settlements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [“Industrial and civil construction” Magazine]. 2020. No. 8. Pp. 65–73. [In Russian]
6. Ju.L. Lipovka, A.S. Venin, A.S. Mihajlova. *Gidravlicheskiy rezhim teplovoj seti pri perehode s otkrytoj na zakrytuyu sistemu teplosnabzhenija* [Hydraulic regime of the heating network during the transition from an open to a closed heat supply system]. *Jenergosberezhenie i vodopodgotovka* [“Energy saving and water treatment” Magazine]. 2019. No. 6. Pp. 53–56. [In Russian]
7. E.A. Kikot', E.N. Gazizov. *Vybor struktury teplovoj generacii v gorodakh RF pri aktualizacii shem teplosnabzhenija* [The choice of the structure of thermal generation in the cities of the Russian Federation when updating heat supply schemes]. *Izvestija vuzov. Problemy jenergetiki* [Proc. of the Higher Educational Institutions. Energy Sector Problems]. 2020. No. 5. Pp. 71–82. [In Russian]
8. G.N. Bajdusenov, S.K. Abildinova, A.A. Elemanova, R.A. Sadykov. *Jefferektivnost' penopoliiuretanovykh trub pri modernizacii teplosetej* [The effectiveness of polyurethane foam pipes in the modernization of heating systems]. *Izvestija KGASU* [Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (“Izvestiya KGASU”)]. 2020. No. 1. Pp. 109–117. [In Russian]
9. S.V. Chicherin. *Rezervy snizhenija teplovykh poter' setej i povyshenija nadezhnosti teplosnabzhenija: analiz proektnoj i ispolnitel'noj dokumentacii* [Reserves for reducing heat losses of networks and increasing the reliability of heat supply: analysis of design and as-built documentation]. *Vestnik VolgGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (“Vestnik VolgGASU”). Series: Building and architecture]. 2020. No. 1. Pp. 204–215. [In Russian]
10. S.A. Bannikova, V.M. Zaharov, M.V. Kozlova. *Jeksperimental'noe opredelenie teplovykh poter' seti teplosnabzhenija dlja ih ispol'zovanija v ustrojstve utilizacii* [Experimental determination of heat losses of the heat supply network for their use in the utilization device]. *Vestnik IGJeU* [Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University (“Vestnik of ISPEU”)]. 2019. No. 1. Pp. 5–11. [In Russian]
11. E.A. Birjuzova, A.S. Gluhanov. *Vlijanie sposoba prokladki truboprovodov na jenergojeffektivnost' teplovoj seti* [Influence of the method of laying pipelines on the energy efficiency of the heating network]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University (“Vestnik of PNRPU”). Series: Construction and architecture]. 2019. No. 4. Pp. 59–66. [In Russian]
12. D. Wolfrum, T. Neidhart. District heating pipes buried in temporarily flowable backfill materials. *Energy Procedia*. 2008. Vol. 149. Pp. 170–178.
13. Y. Shi, J. Du, D.A. Worthy. The impact of engineering information formats on learning and execution of construction operations: A virtual reality pipe maintenance experiment. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 119. No. 103367.
14. S.V. Chicherin, A.V. Zhujkov. *Proverka sostava oborudovanija ITP na sootvetstvie trebovanij zakazchika, normativno-tehnicheskogo regulirovanija i celesoobraznosti* [Checking the composition of the individual heating point equipment for compliance with customer requirements, regulatory and technical regulation and feasibility]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2020. No. 6. Pp. 30–34. [In Russian]
15. S.V. Chicherin. *Specifika sostavlenija zadaniya na proektirovanie razdela OVik ob#ektov detskikh i sportivnykh uchrezhdenij* [Specificity of drawing up a task for the design of the HVAC section of facilities for children's and sports institutions]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2020. No. 3. Pp. 34–37. [In Russian]
16. K.M. Luc, R. Li, L. Xu et al. Energy flexibility potential of a small district connected to a district heating system. *Energy and Building*. 2020. Vol. 225. No. 110074.
17. *O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovanijah k ih sodержaniju* [On the composition of the sections of the project documentation and the requirements for their content]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF* ot 16.02.2008 №87-PP (red. ot 27.10.2015) [The Decree of the Government of the Russian Federation dated February 16, 2008 No. 87-DG (as Amended on October 27, 2015)]. [In Russian]
18. *GOST R 21.101–2020* [State Industry Standard of Russia No. 21.101–2020]. *Sistema proektnoj dokumentacii dlja stroitel'stva. Osnovnye trebovanija k proektnoj i rabochej dokumentacii* [System of design documentation for construction. Basic requirements for design and working documentation]. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment (“Standartinform” Publishers)]. 2021. [In Russian]