



Современное состояние и перспективы развития газотранспортной сети Ангарского городского округа

© И.И. Айзенберг, Д.Н. Подбельская

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью работы является анализ современного состояния газотранспортной сети низкого давления Ангарского городского округа (АГО), а также определение возможных вариантов ее реконструкции и модернизации, ориентированных на перспективу развития жилищного фонда и мощностей промышленных предприятий. Для анализа текущей нагрузки сети среднего и низкого давления оценивается количество сосредоточенных и равномерно распределенных потребителей г. Ангарска и Ангарского городского округа. Анализ состояния сети производится методом теоретического исследования, включающим в себя анализ, абстрагирование и индукцию. Для выбора способов реконструкции и модернизации сети используется абстрагирование от действующего вида газового топлива, используемого в АГО. Основное внимание уделяется перспективному росту потребления в ближайшие 10–20 лет и возможной газификации природным газом Иркутской области вследствие запуска в эксплуатацию магистрального газопровода «Сила Сибири». В результате анализа текущего состояния газотранспортной сети выявлены недостатки, указывающие на необходимость реконструкции и модернизации участков сети и узлов контроля и регулирования. Произведен анализ надежности действующего оборудования с учетом срока его эксплуатации. На основании полученных данных приведены рекомендации по наиболее эффективным способам реконструкции газотранспортных сетей и модернизации узлов регулирования и газоиспользующего оборудования с технической и экономической точки зрения. Таким образом, с учетом роста объема потребления газового топлива жилищным фондом и промышленным сектором проблема реконструкции газовой сети стоит достаточно остро. Однако необходимо разработать систему газоснабжения с учетом перспективного перехода на природный газ. Этот фактор диктует унификацию проектных решений для любого вида газового топлива.

Ключевые слова: газотранспортная сеть, падение давления, надежность, реконструкция, модернизация, лупинг, коэффициент одновременности, сосредоточенные потребители, внутридомовое газоснабжение, бестраншейные способы реконструкции, теплота сгорания

Для цитирования: Айзенберг И.И., Подбельская Д.Н. Современное состояние и перспективы развития газотранспортной сети Ангарского городского округа. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 1. С. 28–37. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-28-37>

Current status and development prospects of the gas distribution system in the Angarsk urban district

Iliia I. Aizenberg, Daria N. Podbelskaya

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The aim of the research is to analyse the status of the low-pressure gas distribution system functioning in of the Angarsk urban district (AUD), as well as to identify possible directions for its reconstruction and modernization. These measures are aimed at developing the housing stock and the capacity of industrial enterprises. The number of local and distributed consumers in Angarsk and the Angarsk urban district was used to analyse the current load of medium- and low-pressure gas supply systems. To check the status of the gas supply system in the region, a theoretical study was undertaken involving analysis, abstraction, and induction. Choosing the methods for reconstruction and modernization of the system required abstraction from the current gas type used in the AUD. Particular attention was drawn to the forecast of gas consumption in the next 10–20 years and possible gasification of the Irkutsk region due to the launch of the main gas pipeline "Power of Siberia". The conducted analysis of

the current status of the gas distribution system revealed shortcomings, indicating the need for reconstruction and modernization of network sections, as well as control and regulation units. In addition, the reliability of the operating equipment was checked, considering its service life. The data obtained were used to develop guidelines for reconstructing the existing gas distribution systems and modernizing control units and gas equipment both technically and economically. An increasing volume of gas consumption by the housing stock and the industrial sector compels us to seriously consider the reconstruction of the gas supply system. However, it is essential to develop a gas supply system that accounts for the possibility of transition to natural gas. This factor calls for the project solutions to be compatible with any type of gas fuel.

Keywords: gas transmission network, pressure drop, reliability, reconstruction, modernization, looping, simultaneity factor, concentrated consumers, intra-house gas supply, trenchless reconstruction methods, heat of combustion

For citation: Aizenberg II, Podbelskaya DN. Current status and development prospects of the gas distribution system in the Angarsk urban district. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(1):28–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-28-37>

Введение

Ангарский городской округ является сосредоточением перспективных потребителей газового топлива. Это связано в первую очередь с большим количеством промышленных предприятий на территории округа. Перевод котельных и ТЭЦ на природный газ приведет к улучшению экологической ситуации в округе, которая ухудшается каждый год с приходом отопительного периода. По данным официальной статистики информационного агентства ТАСС, г. Ангарск входит в топ городов с негативной экологической ситуацией. Одной из причин является функционирование тепловых источников города и округа на угольном и мазутном топливе. Реконструкция и модернизация существующей газотранспортной сети позволит сохранить ее жизнеспособность, в том числе для перспективной газификации природным газом.

Ангарский городской округ (АГО) расположен в юго-западной части Иркутской области, между двух рек, Ангарой и Китоем, на высоте 425 м над уровнем моря. Общая площадь АГО составляет 114 872,2 га.

Проект газификации Иркутской области включает в себя несколько сценариев, где источником газоснабжения является отвлечение от магистрального газопровода «Сила Сибири». Первый сценарий, региональный, предполагает использование в качестве источника газификации Ковыктинское газокон-

денсатное месторождение (ГКМ) [1]. Предлагается строительство магистральных газопроводов (общей протяженностью 678 км) на участках Ковыкта – Саянск (393 км), Саянск – Ангарск (233 км), Ангарск – Иркутск (52 км). Второй сценарий, федеральный, предложен ПАО «Газпром». В нем упор сделан на первоочередное освоение малых и средних месторождений (Братского, Ярактинского, Марковского, Даниловского, Дулисьминского), тогда как разработка стратегически значимого Ковыктинского ГКМ будет отложена¹.

Методы

В качестве метода исследования применяется теоретический метод с использованием анализа, индукции и абстрагирования. Анализ текущего состояния действующей газотранспортной сети основывается на открытой информации, предоставленной администрацией Ангарского городского округа на электронном ресурсе муниципального образования.

В состав АГО входят 14 населенных пунктов: г. Ангарск, п. Звездочка, п. Зверевое, д. Зуй, заимка Ивановка, п. Ключевая, п. Мегет, п. Новодинск, с. Одинск, с. Савватеевка, п. Стеклянка, п. Ударник, д. Чебогоры, заимка Якимовка. Наиболее крупным потребителем газового топлива в АГО является г. Ангарск. Город функционально разделен на промышленный массив и жилые кварталы и микрорайоны. В жилых кварталах встречается различный тип застройки – от послевоенных 8-квартирных домов до

¹Об утверждении долгосрочной целевой программы «Газификация Иркутской области на 2011–2015 годы»: постановление Правительства Иркутской области от 18 октября 2010 г. № 266-пп [Электронный ресурс]. URL: https://irkobl.ru/sites/gkh/department/tek/otdel_gaz/prog_gas/ (23.01.2021); Программа создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР: утв. Приказом Минпромэнерго России от 3 сентября 2007 г. № 340. 23 с.

современных многоэтажных новостроек. В Ангарском городском округе находится 41 промышленное предприятие: предприятия сельского хозяйства, обрабатывающее производство, производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов, производство резиновых и пластмассовых изделий, производство прочих неметаллических минеральных продуктов, строительные предприятия. Газотранспортная сеть АГО снабжает газом большую часть г. Ангарска за исключением зоны старого города, где расположены жилые дома барачного типа.

Источником газоснабжения является смесь пропан-бутановая техническая (СПБТ), полученная на Ангарском нефтехимическом комбинате в результате переработки нефти. Существующая газораспределительная сеть АГО имеет следующую структуру: I ступень – газопроводы среднего давления (0,3 МПа); II ступень – газопроводы низкого давления (0,0003 МПа). Общая

протяженность сети газораспределения составляет 229,25 км. Способ прокладки газопроводов – подземный и надземный. Газопровод среднего давления является основой газораспределительной системы г. Ангарска и источником подачи газа для сетевых газорегуляторных пунктов (ГРП, ГРПШ). Протяженность газопровода среднего давления составляет 23,3 км. Распределительные газопроводы низкого давления являются источником подачи газа промышленным, коммунально-бытовым, теплоэнергетическим объектам и жилому сектору. Протяженность газораспределительной сети низкого давления составляет 206,0 км, степень ее износа – не более 50%. Схема газоснабжения – типовая, вследствие чего единая замкнутая система распределения газа на территории АГО отсутствует.

Газорегуляторные пункты в г. Ангарске (рис. 1) представлены отдельно стоящими зданиями со сбросной свечой с торца здания.



Рис. 1. Газорегуляторный пункт в г. Ангарск
Fig. 1. Gas control point in Angarsk

На территории Ангарского городского округа функционируют 14 ГРП. В таблице приведены их характеристики.

Газораспределительной организацией (ГРО) на территории АГО является филиал АО «Иркутскоблгаз» – «Ангарскгоргаз».

Организация осуществляет следующие основные виды деятельности:

– поставка, транспортировка и реализация газа непосредственно его потребителям на территории АГО;

– организация технического обслуживания газопроводов, сооружений на них, газового оборудования и приборов у потребителей газа;

– выполнение проектно-конструкторской документации на строительство и реконструкцию газовых сетей и других газовых объектов;

– строительство газопроводов среднего и низкого давления, отводов и газораспределительных станций (ГРС), систем газоснабжения и сооружений на них, их ремонт и реконструкция, а также строительство и ремонт производст-

венных зданий и сооружений жилищного фонда;

- планово-предупредительный ремонт газовых сетей и сооружений предприятий;
- строительство и эксплуатация запра-вочных станций сжиженным газом.

В состав Ангарскгоргаза входят следующие структурные подразделения:

- комплексно-эксплуатационная служба (производственные подразделения);

– центральная аварийно-диспетчерская служба;

- автотранспортный цех;
- участок обслуживания автозаправочных станций;
- служба реализации газа;
- административно-управленческий персонал.

Характеристика газорегуляторных пунктов, расположенных на территории Ангарского городского округа
Characteristics of gas control points located on the territory of Angarsk city district

№	Наименование объекта	Место расположения	Год ввода в эксплуатацию
1	ГРП-3	Кв. 63	1961
2	ГРП-4	Кв. 88	1963
3	ГРП-5	Мкр. 29	1984
4	ГРП-7	Кв. 92	1964
5	ГРП-8	Мкр. 12	1966
6	ГРП-9	Мкр. 6А	1981
7	ГРП-10	Кв. 182	1968
8	ГРП-11	Мкр. 15	1977
9	ГРП-12	Кв. 206	1963
10	ГРП-13	Кв. 108	1969
11	ГРП-16	Мкр. 19	1986
12	ГРП-17	Мкр. 33	1996
13	ГРП-20	Мкр. 7А	1997
14	ГРП «ХЗ №1»	Кв. 215	1977

Потребителями газа являются население г. Ангарска и следующие предприятия: АО «Каравай», АО «Ангарский мясокомбинат», СЗСППК «Сагаан гол». Количество потребляемого газа в среднем составляет 9,4 тыс. м³. Присоединенная газовая нагрузка составляет 79,6 тыс. ед. бытовых газовых плит и 3 котельные. Сжиженный газ используют для приготовления пищи потребители, удаленные от городских газораспределительных сетей. Наполнение баллонов осуществляется в пункте наполнения баллонов (ПНБ), расположенном на территории промышленной площадки АО «АНХК», на газонаполнительной станции (ГНС) в п. Мегет.

У существующей системы газоснабжения в г. Ангарске есть ряд проблем:

- 1) износ трубопроводов и запорной арматуры;
- 2) отсутствие кольцевой системы газоснабжения среднего давления;
- 3) отсутствие возможности присоединения новых потребителей;
- 4) сложности проведения капитального ремонта из-за плотности городской застройки и наличия важных транспортных узлов, при закрытии которых будет парализована транспортная система города.

Износ сетей газоснабжения обусловлен появлением дефектов различных типов на трубопроводах системы.

Самыми распространёнными типами дефектов на газотранспортных сетях являются дефекты геометрической формы трубопровода, дефекты сварного шва, дефекты, связанные с потерей металла и комбинированные дефекты [2]. Снижение работоспособности элементов газовой сети связано с износом оборудования и заводским браком.

Одним из проблемных элементов распределительной сети являются вводы в здания. В связи с большим количеством снегового покрова и наледи в зимние периоды года стальной футляр на вводе в здание подвергается высокой коррозионной нагрузке и быстро выходит из строя (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

На основании всех вышеперечисленных факторов возникает необходимость реконструкции и модернизации газотранспортной сети АГО.

Для данной цели возможно применение современных технологий, зарекомендовавших себя при реконструкции и капитальном ремонте газотранспортных сетей центральных регионов РФ [3–5].



Рис. 2. Разрушающийся футляр на вводе в здание в г. Ангарске
Fig. 2. Collapsing case at the entrance to the building in Angarsk

Одним из современных методов восстановления работоспособности газораспределительных систем является метод протяжки полиэтиленовых труб внутри изношенных стальных – метод санирования внутренней поверхности стальной существующей трубы тканево-полиэтиленовым рукавом по технологии «Феникс» [6].

Преимуществом данного метода является минимизация земляных работ и оперативность реконструкции с помощью мобильных передвижных устройств [7]. Данный метод рекомендуется применять в городской черте, что позволяет минимизировать ущерб дорожному полотну и ускорить процесс работы, не останавливая надолго транспортный поток и не создавая неудобств жителям города [8–10]. Помимо описанной выше технологии «Феникс» восстановление разрушенного газопровода производится с помощью нанесения сплошного защитного покрытия на внутреннюю поверхность трубопроводов. Данный метод эффективен при следующих дефектах трубопроводов: трещины, абразивный износ, свищи, а также при дефектах стыков трубопроводов (при предварительной работе по восстановлению целостности трубопроводов) [11]. Третьим возможным методом реконструкции является ремонт трубопроводов способом протяжки

новой полиэтиленовой трубы с разрушением старой [12]. Замена трубопровода, деформированного или поврежденного, может быть произведена посредством разрушения старых труб и протягивания внутри образовавшегося тоннеля полиэтиленовых труб такого же или большего диаметра [13–14].

Все вышеописанные методы позволяют увеличить жизненный цикл газотранспортной сети г. Ангарск и в случаях, когда необходимо повысить ее пропускную способность. При увеличении перспективной застройки и, как следствие, росте числа потребителей газового топлива возможно использование метода, реализованного в г. Минск Республики Беларусь. Данный метод предполагает прокладку параллельных лупингов для увеличения пропускной способности кольцевой газовой сети. В том числе данная мера позволяет увеличить надежность системы и использовать резервные трубопроводы в случае аварийных ситуаций и плановых ремонтных работ [15]. Повышение надежности элементов и узлов регулирования предлагается с помощью замены и модернизации². В качестве современного оборудования предлагается применение шкафных газорегуляторных пунктов. Данное оборудование имеет невысокую стоимость и простое в эксплуатации. Рекомендации по модернизации узлов регулирования и учета представлены ниже:

²О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ; Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления: постановление Правительства РФ от 29.10.2010 № 870;

Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления»: приказ Ростехнадзора № 542 от 15.11.2013 г. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

1. Внедрение блочной автоматической газосмесительной и газораспределительной системы для получения смеси горючего газа и воздуха с единой теплотой сгорания [16–17]. Данная система полностью автоматизирована и позволяет регулировать параметры газа и дистанционно управлять системами регулирования.

2. Введение шкафных ГРП. Данный вид оборудования изготавливается в виде металлического шкафа и устанавливается на отдельных несгораемых опорах при давлении газа не менее 0,6 МПа. Основным преимуществом шкафных ГРП является компактность и доступность [18].

Внедрение шкафных ГРП позволит осуществлять следующие виды технологических операций:

а) снижение (редуцирование) высокого или среднего давления природного газа, поступающего из распределительных магистралей;

б) автоматическое поддержание давления на выходе;

в) фильтрация природного газа;

г) прекращение подачи газа на потребителя при аварийном изменении заданного уровня выходного давления;

д) коммерческий и технологический учет расхода газа [19].

3. Применение ГРП с линиями редуцирования. Особенностью газорегуляторных пунктов данной конструкции (с двумя линиями редуцирования) является компоновка их двумя регуляторами давления на среднее и низкое выходное давление газа. Регуляторы давления могут быть установлены последовательно или параллельно [20].

Все виды предложенного оборудования являются достаточно компактными, что особенно актуально в плотной городской застройке.

Также для успешного количественного регулирования газового топлива рекомендуется применить современную систему автоматизации на основе отечественного программного обеспечения. В научных трудах российских инженеров описывается положительный опыт внедрения данной системы, что позволит регулировать отпуск газового топлива потребителям, опираясь на графики пиковой нагрузки [21]. В том числе автоматизация системы позволит увеличить пожарную безопасность и снизить возможность возникновения аварийных ситуаций.

Учитывая перспективу прихода в регион природного газа, необходимо не только повышать работоспособность существующей газотранспортной сети, но и предусматривать возможность перехода со сжиженного углеводородного газа (СУГ) на природный газ с месторождений области. Эти меры можно осуществить путем проектирования сети с запасом, учитывая другие физические свойства природного газа³. Теплота сгорания СУГ существенно отличается от теплоты сгорания природного газа, что необходимо учитывать при гидравлическом расчете реконструируемой сети. Также нужно учитывать реальный коэффициент одновременности использования газовых приборов во внутрименовых сетях газоснабжения. На данный момент часть потребителей отказывается от газового топлива в пользу электрических печей, в связи с этим проектный и реальный коэффициент одновременности существенно отличается [22]. В том числе будут необходимы демонтаж конденсатосборников на существующей сети и замена форсунок на бытовых газовых приборах. Для повсеместной замены комплектующих необходима разработка муниципальной программы, позволяющей всем потребителям в кратчайшие сроки произвести модернизацию оборудования.

Заключение

На данный момент силами Ангарскгоргаза произведен ряд работ по реконструкции системы газоснабжения. Так, введены в эксплуатацию ГРП №17 с современными регуляторами давления, дублирующими друг друга. Данная мера позволяет при проведении ремонтных работ не останавливать подачу газа потребителям. В том числе проложен новый участок трубопровода до п. Звёздочка из современного трубопровода ПЭ-165. Однако невысокая степень финансирования коммунально-бытовой сферы тормозит процесс реконструкции и модернизации сети газоснабжения. Остается надеяться, что возмозности для внедрения всех вышеперечисленных мер позволит осуществить Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Ангарского городского округа на 2016–2036 годы. Для покрытия перспективных нагрузок на перспективу до 2036 года требуется реализация нижеследующих

³Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления: постановление Правительства РФ от 29.10.2010 № 870;
Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления»: приказ Ростехнадзора № 542 от 15.11.2013 г. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

мероприятий:

1) строительство газопровода среднего давления к ГРП «Прибрежная» от ГРП-12 (диаметр 200 мм, протяженность 0,52 км);

2) завершение строительства участков газопровода и газорегуляторных пунктов 35 микрорайона (диаметр 200 мм, протяженность 0,43 км);

3) присоединение перспективной застройки микрорайонов Кирова, 37, 36, 30, 28, 30, 31, 32, части 14 микрорайона после окончания строительства участков газопровода и газорегуляторных пунктов 35 микрорайона;

4) строительство подземного кольцевого газопровода среднего давления от перекрестка ул. Чайковского и ул. Ст. Московский тракт, ведущего к ГРП «Хлебозавод № 1» (диаметр 300 мм, протяженность 4,3 км);

5) организация подачи газа в микрорайоны 29, 22, 18 и в кварталы 208, 192, 189, 179, 94 от существующих сетей низкого давления;

6) строительство газопровода среднего давления от кольцевого газопровода диаметром 500 мм от ул. Декабристов и строительство газорегуляторного пункта (диаметр 150 мм, производительность ГРП 1500м³/ч);

7) строительство газораспределительной станции «ГРС Ангарск» рядом с СНТ «Утес» и с микрорайоном Новый-4;

8) строительство газопроводов высокого давления ($P = 0,6$ Мпа; диаметр 315 мм – 0,46 км; диаметр 225 мм – 40,5 км; диаметр 160 мм – 4,2 км; диаметр 110 мм – 4,9 км;

диаметр 63 мм – 2,9 км);

9) разработка проекта и строительство подземного газопровода среднего давления до микрорайона Новый-4 – 1800 м, начиная от котельной хлебозавода АО «Каравай».

Для реализации данных мероприятий требуются капитальные затраты в размере 435 918 тыс. руб. в прогнозных ценах с учетом НДС.

Все проектные решения необходимо унифицировать с учетом прихода в регион природного газа с магистрального газопровода «Сила Сибири». Данный подход должен учитывать различие технических характеристик СУГ и природного газа. В том числе необходимо произвести модернизацию бытового газового оборудования у потребителей путем замены форсунки на горелках для возможности использования природного газа. Одной из главных задач является сооружение кольцевой системы среднего давления, эта мера позволит полноценно проводить ремонтные работы и повысит надежность сети.

Учитывая все вышесказанное, очевидно, что развитие газотранспортной сети АГО – это комплекс мероприятий, направленный на повышение жизнеспособности системы путем реконструкции участков сети, применения современных ремонтных конструкций для устранения локальных дефектов, модернизации оборудования и узлов учета и регулирования. Все эти меры позволят продлить жизненный цикл системы и осуществить возможный переход на природный газ в перспективе газификации Иркутской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Газификация Приангарья // Экономика Иркутской области: в 6 т. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2009. Т. 6. С. 30–33.

2. Строганов И.В., Хайруллин Р.З. Повышение безопасности эксплуатации трубопроводов (в том числе из разнородных материалов) с применением термоусаживающихся муфт из эпоксидных полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17. №9. С. 98–101.

3. Zheng Liu, Baojiang Sun, Zhiyuan Wang, Jianbo Zhang, Xuerui Wang. Prediction and management of hydrate reformation risk in pipelines during offshore gas hydrate development by depressurization // Fuel. Vol. 291. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120116>

4. Cheolwoong Park, Sechul Oh, Changgi Kim, Young Choi, Youngcheol Ha. Effect of natural gas composition and gas interchangeability on per-

formance and emission characteristics in an air–fuel controlled natural gas engine // Fuel. 2021. Vol. 287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119501>

5. Kun Xi, Jiang Li, Mengfei Guo, Bozhi Hu, Kang Li. Characteristics of chemical vapour deposition in micro pore structure in char layer of polymer composites // Polymer Degradation and Stability. 2020. Vol. 178. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109222>

6. Ганзаков А.С., Сенцов С.И. Разработка подходов выбора метода восстановления изношенных стальных распределительных газопроводов // Территория нефтегаз. 2012. № 3. С. 28–30.

7. Molyneux S., Stec A.A., Hull T.R. The effect of gas phase flame retardants on fire effluent toxicity // Polymer Degradation and Stability. 2014. Vol. 106. p. 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.013>

8. Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Экономиче-

ская эффективность оптимального распределения перепадов давления между участками газовой сети // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 141–153. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-141-153>

9. Фоменко В.Л., Халов А.И. Защита подземных стальных газопроводов от коррозии в городских условиях // Газовая промышленность. 2019. Т. 789. № 3. С. 94–96.

10. Филатов А.А., Велиулин И.И., Лазарев А.Д., Хасанов Р.Р. Особенности технологии капитального ремонта газопроводов на современном этапе // Газовая промышленность. 2017. Т. 761. № 12. С. 90–94.

11. Рыбаков А.С. Перспективы развития бестраншейных технологий при прокладке инженерных коммуникаций // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 7. Ч. 1. С. 164–169.

12. Yamchi H.B., Safari A., Guerrero J.M. A multi-objective mixed integer linear programming model for integrated electricity-gas network expansion planning considering the impact of photovoltaic generation // Energy. 2021. Vol. 222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119933>

13. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем // Инновации и инвестиции. 2020. №4. С. 207–210.

14. Шеногин М.В. Применение инновационных технологий в строительстве, реконструкции и ремонте газовых сетей Ковровского района Владимирской области // E-Scio. 2020. № 4 (43). С. 431–439.

15. Современные принципы и направления

развития системы организации диагностики, технического обслуживания и ремонта в ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2017. Т. 754. №3. С. 5–9.

16. Qian Chen, Lili Zuo, Changchun Wu, Yankai Cao, Yaran Bu, Feng Chen, RehanSadiq. Supply reliability assessment of a gas pipeline network under stochastic demands // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107482>

17. Gaykema E.W., Skryabin I., Prest J., Hansen B. Assessing the viability of the ACT natural gas distribution network for reuse as a hydrogen distribution network // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.051>

18. Сусликов С.П., Мостовой А.В., Хасанов Р.Н., Велиулин И.И., Городниченко В.И., Халлыев Н.Х. [и др.]. Повышение надежности и долговечности магистральных газопроводов как результат применения инновационных технологий // Территория Нефтегаз. 2019. №6. С. 84–90.

19. Белоглазова Т.Н. Разработка схем газораспределительных сетей с учетом их стоимости // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2013. № 3 (11). С. 172–177.

20. Савин А.В. Методы улучшения техносферной обстановки в газовой отрасли // Инновационная наука. 2020. №5. С. 45–49.

21. Первунин В.В., Винокурцев Г.Г., Винокурцев А.Г., Крупин В.А. Об автоматизации технологических процессов электрохимической защиты газопроводов // Техносферная безопасность: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Ростов-н/Д, 2005. Вып. VII. С. 548–552.

22. Мансурова Н.Ш. Газоснабжение многоквартирного жилого дома // Вопросы науки и образования. 2018. Т. 13. №1. С. 22–24.

REFERENCES

1. Vinokurov MA, Sukhodolov AP. Gasification of the Angara region. *Ekonomika Irkutskoy oblasti*: in 6 vol. Irkutsk: Baikal state university; 2009. Vol. 6. p. 30–33 (In Russ.).

2. Stroganov IV, Khayrullin RZ. Improving the safety of pipeline operation (including from dissimilar materials) with the use of heat-shrinkable couplings made of epoxy polymers. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2014;17(9):98–101 (In Russ.).

3. Zheng Liu, Baojiang Sun, Zhiyuan Wang, Jianbo Zhang, Xuerui Wang. Prediction and management of hydrate reformation risk in pipelines during offshore gas hydrate develop-

ment by depressurization // Fuel. Vol. 291. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120116>

4. Cheolwoong Park, Sechul Oh, Changgi Kim, Young Choi, Youngcheol Ha. Effect of natural gas composition and gas interchangeability on performance and emission characteristics in an air-fuel controlled natural gas engine. *Fuel*. 2021;287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119501>

5. Kun Xi, Jiang Li, Mengfei Guo, Bozhi Hu, Kang Li. Characteristics of chemical vapour deposition in micro pore structure in char layer of polymer composites. *Polymer Degradation and Stability*. 2020;178. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109222>

6. Ganzakov AS, Sentsev SI. Development of ap-

- proaches for selecting a method for restoring worn-out steel distribution gas pipelines. *Territorija neftegas – Oil and gas territory*. 2012;3:28–30 (In Russ.).
7. Molyneux S, Stec AA, Hull TR. The effect of gas phase flame retardants on fire effluent toxicity. *Polymer Degradation and Stability*. 2014;106:36–46. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.013>
8. Medvedeva ON, Bessonova NS. Optimization of differential pressure distribution between gas supply system sections. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2020;22(6):141–153. (In Russ.) <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-141-153>
9. Fomenko VL, Khalov AI. Protection of underground steel gas pipelines from corrosion in urban conditions. *Gazovaya promyshlennost*. 2019;789(3):94–96 (In Russ.).
10. Filatov AA, Veliyulin II, Lazarev AD, Khasanov RR. Features of the technology of capital repair of gas pipelines at the present stage. *Gazovaya promyshlennost*. 2017;761(12):90–94 (In Russ.).
11. Rybakov AS. Prospect for the development of trenchless technologies for laying of utilities. *Izvestiya Tuls'kogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2015;7:164–169 (In Russ.).
12. Yamchi HB, Safari A, Guerrero JM. A multi-objective mixed integer linear programming model for integrated electricity-gas network expansion planning considering the impact of photovoltaic generation. *Energy*. 2021;222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119933>
13. Shlychkov DI. Problems of the technical condition of existing pipeline systems. *Innovatsii i investitsii*. 2020;4:207–210 (In Russ.).
14. Shenogin MV. Application of innovative technologies in the construction, reconstruction and repair of gas networks in the Kovrov district of the Vladimir region. *E-Scio*. 2020;4(43): 431–439 (In Russ.).
15. Modern principles and directions of development of the system of organization of diagnostics, maintenance and repair in PJSC Gazprom. *Gazovaya promyshlennost*. 2017;754(3):5–9 (In Russ.).
16. Qian Chen, Lili Zuo, Changchun Wu, Yankai Cao, Yaran Bu, Feng Chen, Rehan Sadiq. Supply reliability assessment of a gas pipeline network under stochastic demands. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021;209. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107482>
17. Gaykema EW, Skryabin I, Prest J, Hansen B. Assessing the viability of the ACT natural gas distribution network for reuse as a hydrogen distribution network. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.051>
18. Suslikov SP, Mostovoy AV, Khasanov RN, Veliyulin II, Gorodnichenko VI, Khallyyev NK, et al. Enhanced Reliability and Extended Life of Gas Mains as a Result of Innovation Techniques. *Territorija neftegas – Oil and gas territory*. 2019;6:84–90 (In Russ.).
19. Beloglazova TN. Development of gas distribution network schemes taking into account their cost. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*. 2013;3(11):172–177 (In Russ.).
20. Savin AV. Methods of improving the technosphere situation in the gas industry. *Innovatsionnaya nauka*. 2020;5:45–49 (In Russ.).
21. Pervunin VV, Vinokurtsev GG, Vinokurtsev AG, Krupin VA. On the automation of technological processes of electrochemical protection of gas pipelines. *Tekhnosfer'naya bezopasnost: materialy Vserossiyskoy nauchn.-prakt. konf. Rostov-on-Don, 2005:VII:548–552* (In Russ.).
22. Mansurova NSh. Gas supply of an apartment building. *Voprosy nauki i obrazovaniya*. 2018;13(1):22–24 (In Russ.).

Сведения об авторах

Айзенберг Илья Иделевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры инженерных
коммуникаций и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: eizenberg@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5205-5404>

Information about the authors

Ilya I. Aizenberg,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Engineering Communications
and Life Support Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: eizenberg@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5205-5404>

Подбельская Дарья Николаевна,
аспирант кафедры инженерных
коммуникаций и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: tdn90@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3746-3239>

Daria N. Podbelskaya,
Postgraduate student of the Department
of Engineering Communications and Life
Support Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
✉e-mail: tdn90@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3746-3239>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 19.01.2021.
Одобрена после рецензирования 20.02.2021.
Принята к публикации 23.02.2021.

Contribution of the authors

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 19.01.2021.
Approved after reviewing 20.02.2021.
Accepted for publication 23.02.2021.