

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №5, Том 12 / 2020, No 5, Vol 12 <https://esj.today/issue-5-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/13SAVN520.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Разработка методических основ оптимизации энергосберегающих газораспределительных систем // Вестник Евразийской науки, 2020 №5, <https://esj.today/PDF/13SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Medvedeva O.N., Bessonova N.S. (2020). Development of methodological foundations for the optimization of energy-saving gas distribution systems. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(12). Available at: <https://esj.today/PDF/13SAVN520.pdf> (in Russian)

УДК 622.691.4

Медведева Оксана Николаевна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Профессор кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика»

Доктор технических наук, доцент

E-mail: medvedeva-on@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0861-0335>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=622756

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/S-8351-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56754888500>

Бессонова Надежда Сергеевна

ООО НПФ «ЭТНА ПЛЮС», Саратов, Россия

Инженер 1 категории

E-mail: bessonova_n@icloud.com

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=886199

Разработка методических основ оптимизации энергосберегающих газораспределительных систем

Аннотация. Актуальность темы представленной работы обуславливается интенсивным развитием газотранспортной системы России. В комплексе с решением проблемы повышения безопасности необходимо решать задачу снижения материальных и энергетических затрат на транспорт газа и прогнозирования оптимальных направлений развития сетей газораспределения и газопотребления на перспективу. В статье отмечены проблемы недостаточной проработки методов оценки эффективности и способов оптимального проектирования газораспределительной системы. Авторами отмечены основные трудности и недостатки известных подходов к решению проблемы снижения сметной стоимости и повышения экономичности функционирования газораспределительных систем. Полученная обширная теоретическая база методов оптимизации газораспределительных систем позволяет учесть эффективность технического переоснащения, выбрать рациональный способ газификации населённого пункта в зависимости от климатической зоны, сезонности и неравномерности потребления топливно-энергетических ресурсов, учесть энергосберегающую составляющую газифицируемых зданий. Предложенный в работе метод оптимизации газораспределительных систем сельских населённых пунктов и коттеджных поселков и разработанные экономико-математические модели позволяют выбрать наиболее выгодный вариант газификации, как с экономической, так и с технологической точки зрения, учитывая мероприятия по минимизации капиталовложений и последующих эксплуатационных затрат. Сформулированы принципы построения расчетных моделей газоснабжающих систем,

учитывающие комплекс определяющих факторов и нашедшие отражение в кандидатской диссертации автора: плотность населения, климат, вид застройки населенных мест, типы бытового газоиспользующего оборудования и пр. Главное достоинство предложенных математических моделей – возможность одновременного учета многочисленных факторов и разработка нескольких вариантов решения поставленной задачи, включая учет топливной составляющей не только в транзитной газовой сети, но также в распределительной сети при многорядной и ленточной застройке.

Ключевые слова: газораспределительная система; двухступенчатая сеть газораспределения; оптимизация; пункт редуцирования газа; удельные затраты; централизация; энергосбережение

Введение

Значительные масштабы газификации РФ требуют обоснованного подхода к изучению вопросов, связанных с проектированием, строительством, реконструкцией и эксплуатацией рациональных газораспределительных систем. Вместе с тем существующая практика проектирования, широко освещенная в отечественной и зарубежной научной литературе, свидетельствует об отсутствии достаточно полных и обоснованных рекомендаций по выбору оптимальных решений [1–7]. В этой связи вопросы анализа и выбора принципиальных схемных решений газораспределительных систем, обеспечивающих наибольший технико-экономический эффект не только по минимуму стоимости и материалоемкости, представляются весьма актуальными.

Несмотря на увеличения добычи газа и последующего экспорта, остро стоит вопрос о газификации страны. В первую очередь неравномерность газификации населения связаны с плотностью расселения. На данный момент чуть более 20 % всего населения страны проживает на 2 % площади всей территории России. Это Москва и Московский округ, Краснодарский край, Санкт-Петербург и Свердловская область. Неравномерное расселение затрагивает не только проблему перенаселённости одних регионов и нехватку людей в других, но и чрезмерно высокую степень урбанизации в отдельных регионах России. По статистическим данным в сельской местности проживает менее 26 % от общего населения. Недостаток внимания к развитию сельских населённых пунктов сказывается на росте экономики страны в целом и отдельных районов в частности. Отсутствие желания налаживать жизнь в сельской местности, связано с минимальной инфраструктурой, недостаточно квалифицированными условиями труда, отсутствием доступной системы энергоснабжения. В свою очередь, перенаселение городов влияет на развитие экономики города в одностороннем порядке. Большое развитие получают сферы услуг, строительство жилья и дорог. Экономический рост данных секторов городской инфраструктуры не может обеспечить стабильный экономический рост на долгосрочную перспективу. Одним из способов решения сложившейся ситуации является развитие крупных производств, не требующих большого числа рабочей силы и мощных энергетических источников, которые могут размещаться в сельских населённых пунктах при должном техническом обеспечении.

Экологическая обстановка также страдает из-за массовой урбанизации. Территория нашей страны многообразна и уникальна по своим климатическим параметрам и экологические проблемы, к сожалению, крайне актуальны на данный момент. Улучшение качества жизни и создание достойной инфраструктуры в сельских населённых пунктах позволило бы сделать первые шаги к решению проблем экологического характера в области неравномерного расселения.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что газоснабжение сельских населённых пунктов и коттеджных поселков является крайне важным вопросом для Российской Федерации и позволит решить часть проблем в экономической, экологической и социальной сферах [2].

Действующая практика газификации населённых пунктов природным газом во многом является устаревшей и не отражает решения всех возникающих вопросов в ходе газификации ни в плане надёжности и безопасности проектных решений, ни в плане экономической эффективности.

Существующие и активно используемые при проектировании сетей газораспределения методы не отражают реальной потребности населения в силу не учёта таких факторов как оптимальное количество сосредоточенных потребителей, оптимальная глубина ввода газораспределительных сетей среднего и низкого давлений в общую систему и ряд других не менее важных вопросов. Кроме этого, некоторые решения, принятые в период развития газовой промышленности РФ не только морально, но и физически устарели.

К сожалению, в настоящее время, проекты газификации сельских населённых пунктов не получают должной поддержки и финансирования. В первую очередь это связано с большими рисками и высокой ответственностью перед потребителями и низким уровнем окупаемости, а зачастую и вовсе убыточностью проекта.

Тем не менее, вопрос расширения внутреннего рынка и повышения уровня газификации страны в целом достаточно острый социальный и экономический вопрос.

Экономико-математическая модель одно- и двухступенчатых газораспределительных систем

В двухступенчатых газораспределительных системах газопровод среднего давления подводится к пункту редуцирования, где после понижения давления газ подается в сеть газораспределения низкого давления и поступает к потребителю [8; 9]. Существенным минусом данной схемы является неравномерность давления газа по всей протяженности сети [10]. Так, газоиспользующее оборудование потребителей, расположенных вблизи пункта редуцирования, будет работать на повышенном давлении газа, а оборудование потребителей, расположенных на значительном удалении от пункта редуцирования, будут работать на пониженном давлении газа [11]. Это является не безопасным и не экономичным, как в части расходования топливно-энергетических ресурсов, так и в части оптимальной и продолжительной работы газоиспользующего оборудования.

Максимально допустимое давление газа, согласно требованиям безопасной эксплуатации распределительных газопроводов, не должно превышать 5 кПа. Таким образом, важным резервом для снижения материалоемкости сети газораспределения является повышение эксплуатационного давления [10]. Однако, нельзя не отметить, что увеличение эксплуатационного давления крайне отрицательно скажется на работе газоиспользующего оборудования. Безопасность работы газоиспользующего оборудования снижается, возникает риск отрыва и погасания пламени, что является причиной возникновения аварийно-опасных

ситуаций. Данную проблему безопасности работы газоиспользующего оборудования можно решить с помощью установки стабилизаторов давления газа непосредственно перед оборудованием (газовым котлом, газовой плитой и водонагревателем). Стабилизатор давления газа снизит сетевое давление с 5 кПа до 2 кПа (1,3 кПа) и будет поддерживать его постоянно на протяжении всей работы [11].

Как показывают результаты исследований, изменения давления газа перед газоиспользующим оборудованием в размере $\pm 10\%$ незначительно сказывается на коэффициенте полезного действия [2; 10]. Таким образом, стабилизатор давления газа обеспечивает работу газоиспользующего оборудования при наибольшем коэффициенте полезного действия.

В тоже время при отсутствии стабилизаторов давления перед прибором колебания газа составляют $P_{\max}^{\text{приб}} - P_{\min}^{\text{приб}}$. Экспериментальные исследования, проведенные авторами статьи, показали, что снижение коэффициента полезного действия газоиспользующего оборудования составляет 1 % на 80÷100 Па. Диапазон изменения коэффициента полезного действия, регламентированный производителями оборудования, составляет 2÷4 % [11].

При повышении централизации газораспределительных систем (снижения количества пунктов редуцирования в населённом пункте) уменьшаются затраты в сооружение и эксплуатация самих пунктов редуцирования [10; 11]. Одновременно уменьшаются расходы на сооружение/реконструкцию сети газораспределения среднего давления, поскольку ее протяжённость значительно сокращается. Вместе с тем возрастают затраты в сети газораспределения низкого давления из-за необходимости увеличения пропускной способности и, соответственно, замены/проектирования газопроводов большего диаметра.

Критерием оптимальности будет являться минимум целевой функции [10]:

$$\frac{Z}{n} = Z(n)_{\text{грпш}} + Z(n, d)_{\text{сд}} + Z(n, d, \Delta P_{\text{opt}})_{\text{нд}} + \Delta T(\eta) + Z_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{грпш}}$ – дисконтированные затраты в пункт редуцирования; n – количество газифицированных квартир (жилых домов); d – диаметр газопровода; ΔP_{opt} – оптимальный перепад давления; $Z_{\text{пр}}$ – иные затраты, включают в себя затраты на закупку газа, заработную плату, налоги, затраты на проектно-изыскательские работы, регистрацию земельного участка; ΔT – стоимость дополнительно расходуемого газа в течение года.

Выражение для определения дисконтированных затрат в сеть газораспределения среднего (низкого) давления имеет вид [10]:

$$\frac{Z_{\text{сд(нд)}}}{n} = \left[k_{\text{сд(нд)}} \cdot l_{\text{сд(нд)}} + \left(l_{\text{сд(нд)}} (k_{\text{сд(нд)}} \cdot \Phi + \mu) \sum_1^{t_{\text{сд}}} \frac{1}{(1+E)^t} \right) \right] \cdot \frac{1}{n}, \quad (2)$$

где Φ – доля отчислений на амортизацию, $\frac{1}{\text{ГОД}}$; μ – стоимость обслуживания 1 км газопровода; $k_{\text{сд}}$ – удельные капитальные вложения в газораспределительную сеть, руб.; $I_{\text{сд}}$ – эксплуатационные расходы на газораспределительные сети, руб./год; $l_{\text{сд}}$ – длина газопровода; E – кредитная ставка банка; $t_{\text{сд}}$ – срок службы системы.

Для выполнения гидравлического расчета газопроводов внутренний диаметр газопроводов определяется по формулам:

Для стальных газопроводов низкого давления:

$$d_{\text{ГНД,ст}} = \sqrt[5]{\frac{13,772 \cdot \rho_0 \cdot Q_p^2}{\Delta P_{\text{уд}}}} \quad (3)$$

То же для полиэтиленовых газопроводов:

$$d_{\text{ГНД,пэ}} = \sqrt[4,75]{\frac{0,72951 \cdot v^{0,25} \cdot \rho_0 \cdot Q_p^{1,75}}{\Delta P_{\text{уд}}}} \quad (4)$$

Для стальных газопроводов среднего (высокого) давления:

$$d_{\text{ГСД,ст}} = \sqrt[5]{\frac{\frac{0,1395 \cdot 10^{-5}}{P_{\text{ср}}} \cdot \rho_0 \cdot Q_p^2}{\Delta P_{\text{уд}}}} \quad (5)$$

То же для полиэтиленовых газопроводов:

$$d_{\text{ГСД,пэ}} = \sqrt[4,75]{\frac{\frac{6,3436 \cdot 10^{-5}}{P_{\text{ср}}} \cdot 0,72951(v)^{0,25} \cdot \rho_0 \cdot Q_p^{1,75}}{\Delta P_{\text{уд}}}} \quad (6)$$

где индекс ГНД относится к сетям низкого давления, индекс ГСД – к сетям среднего давления; $d_{\text{ГНД,ст}}$, $d_{\text{ГНД,пэ}}$, $d_{\text{ГСД,ст}}$, $d_{\text{ГСД,пэ}}$ – расчетный внутренний диаметр стальных и полиэтиленовых труб, см; ρ_0 – плотность природного газа при нормальных условиях, кг/м³; Q_p – расчетный расход газа, м³/ч; $\Delta P_{\text{уд}}$ – удельные потери давления (Па/м – для сетей низкого давления, МПа/м – для сетей среднего и высокого давления), определяемые по формуле:

$$\Delta P_{\text{уд}} = \frac{\Delta P_{\text{opt}}}{1,1 \cdot \ell_p} \quad (7)$$

где ℓ_p – общая протяженность расчетной ветки распределительного газопровода, м.

Для поиска оптимального решения для рассматриваемого случая наиболее логично использовать метод вариантных расчетов [2], согласно которому минимальному значению

затрат $\left(\frac{3}{n}\right)_{\min}$ будет соответствовать оптимальное количество квартир n^{opt} , получающих газ от одного пункта редуцирования.

В целях численной реализации предложенной экономико-математической модели (1) были проведены соответствующие расчеты, результаты которых представлены в виде графиков на рис.1 и 2. В качестве объекта газоснабжения рассмотрены поселения, застроенные усадебными и коттеджными зданиями, оснащенные различным набором газоиспользующего оборудования, эксплуатируемого в условиях умеренно-теплой и холодной климатических зон.

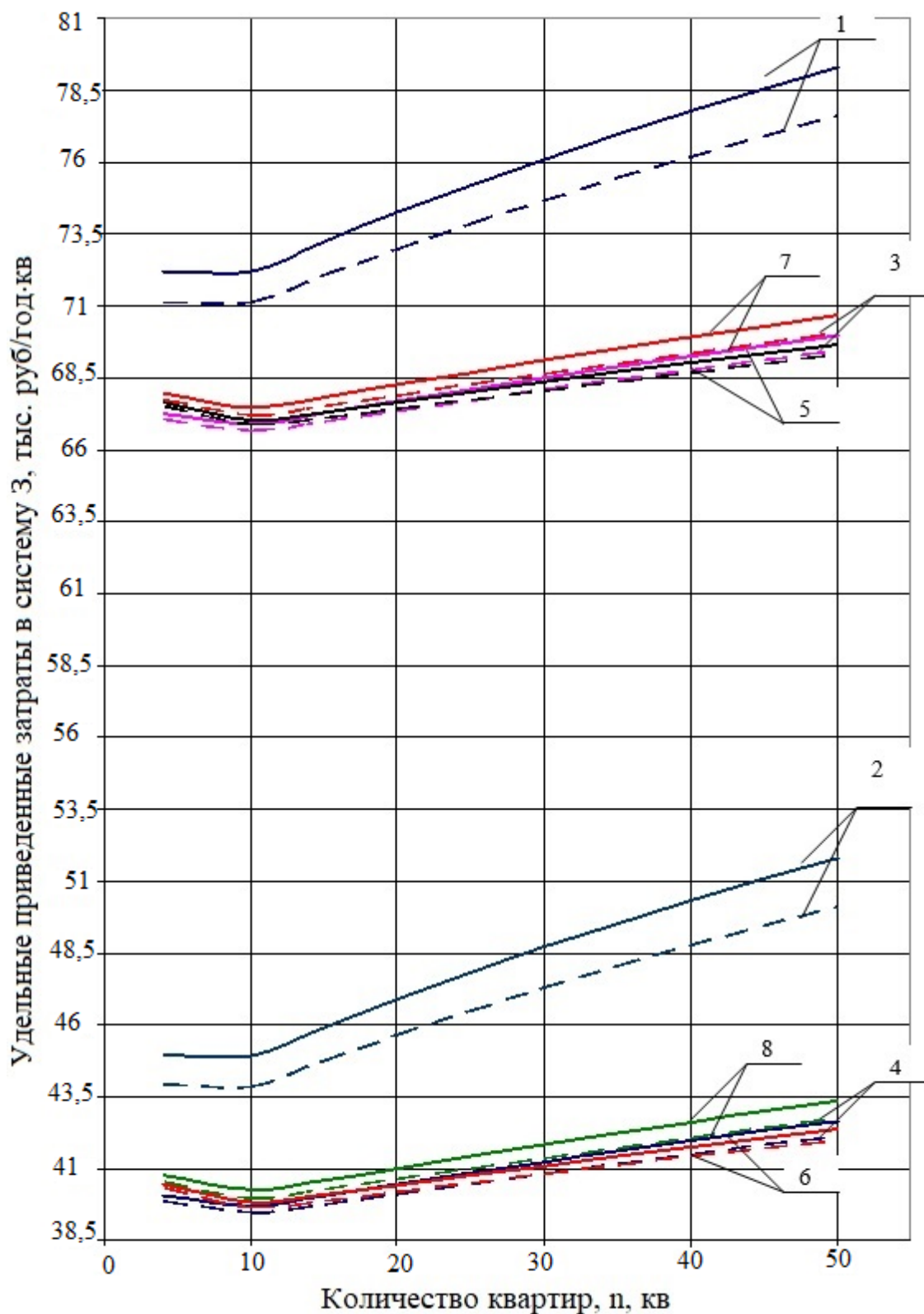
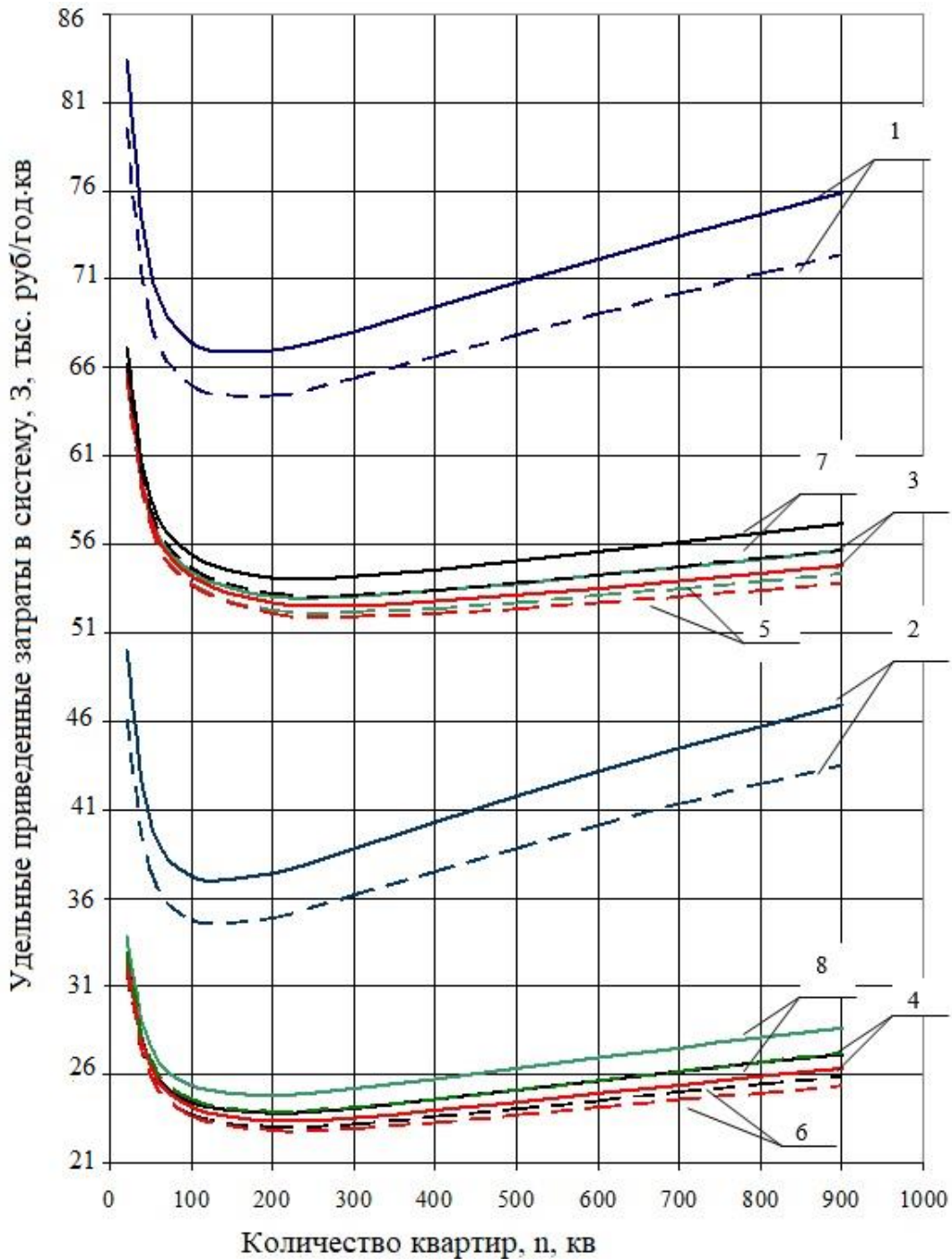


Рисунок 1. Оптимальная централизация газораспределительных систем (двухрядная застройка, площадь приусадебного участка 50 соток) (разработано авторами)



На графиках (рис. 1, 2) использованы следующие обозначения:

————— холодная зона; - - - - - умеренно-теплая зона

1 – усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты, подземная прокладка; 2 – то же, надземная прокладка газопроводов; 3 – усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты, подземная прокладка газопроводов; 4 – то же, надземная прокладка газопроводов; 5 – усадебные здания с повышенным уровнем теплозащиты, подземная прокладка газопроводов; 6 – то же, надземная прокладка газопроводов; 7 – коттеджные здания с повышенным уровнем теплозащиты, подземная прокладка газопроводов; 8 – то же, надземная прокладка газопроводов

Рисунок 2. Оптимальная централизация газораспределительных систем (многорядная застройка, площадь приусадебного участка 50 соток) (разработано авторами)

Аналогичным образом можно определить затраты в двухступенчатые газораспределительные системы с применением редуцирования непосредственно у потребителя [11].

Заключение

Анализ представленных графических материалов (рис. 1, 2) показывает, что влияние архитектурно-планировочных факторов (усадебные или коттеджные здания), степени теплозащиты ограждающих конструкций жилых зданий, типа газоиспользующего оборудования, установленного у потребителей и режимов его эксплуатации на уровень оптимальной централизации газораспределительных систем весьма незначительно. К второстепенным факторам также можно отнести природно-климатические условия эксплуатации сетей газораспределения и газопотребления и способ прокладки газопроводов [2; 10]. Вместе с тем размеры оптимальной централизации газораспределительной системы существенно изменяются в зависимости от площади приусадебных участков или плотности населения на газоснабжаемой территории.

Кроме этого, двухступенчатая схема газораспределения с применением домовых регуляторов давления газа полностью удовлетворяет требованиям безопасности, обеспечивает оптимальную работу газоиспользующего оборудования и обеспечивает снижение расходов газового топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торчинский, Я.М. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем / Я.М. Торчинский. – Л.: Недра, 1998. – 239 с.
2. Медведева, О.Н. Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения / О.Н. Медведева, Н.С. Бессонова // Научный журнал строительства и архитектуры, 2017. – №3 (47). – С. 21–31.
3. Галиуллин, З.Т. Развитие научных исследований, техники и технологий в области трубопроводного транспорта газа / З.Т. Галиуллин. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 208 с.
4. Голик, В.Г. Техничко-экономическое обоснование систем газоснабжения / В.Г. Голик, Б.Н. Курицын. – Саратов: СГТУ, 1997. – 82 с.
5. Горелов, С.А. Сооружение и реконструкция распределительных систем газоснабжения / С.А. Горелов, Ю.А. Горянов. – М.: Недра-бизнесцентр, 2002. – 294 с.
6. Жила, В.А. Выбор эффективных систем газораспределения / В.А. Жила, А.К. Ключко, Н.В. Рухлина // АВОК: С-Пб. – 2011. – №8.
7. Казак, А.С. Обоснование оптимальных вариантов развития и реконструкции газотранспортных систем в условиях неопределенности / А.С. Казак. – М.: ГазпромВНИИГАЗ, 2010. – 188 с.
8. Гофман-Захаров, П.М. О технико-экономических предпосылках построения газоразводящих систем низкого давления / П.М. Гофман-Захаров // Газовая промышленность. – 1956. – №11. – С. 22–28.
9. Ионин, А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. – М.: Лань, 2012. – 439 с.
10. Medvedeva O.N. 2018. Comparative evaluation of the energy and economic efficiency the gas supply systems of small towns. RUSSIAN JOURNAL OF BUILDING CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE. – No 1 (37). – pp. 29–41.
11. Medvedeva O.N. and Bessonova N.S. Selection the rational option of the gas supply system. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1111. 012068 DOI: 10.1088/1742-6596/1111/1/012068.

Medvedeva Oksana Nikolaevna

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russian Federation

E-mail: medvedeva-on@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0861-0335>

РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=622756

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/S-8351-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56754888500>

Bessonova Nadezhda Sergeevna

LLC NPF «Etna Plus», Saratov, Russian Federation

E-mail: bessonova_n@icloud.com

РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=886199

Development of methodological foundations for the optimization of energy-saving gas distribution systems

Abstract. The relevance of the topic of the presented work is conditioned by the intensive development of the gas transportation system in Russia. Together with the solution of the problem of improving safety, it is necessary to solve the problem of reducing material and energy costs for gas transportation and predicting the optimal directions for the development of gas distribution and gas consumption networks in the future. The article notes the problems of insufficient elaboration of methods for assessing the effectiveness and methods of optimal design of a gas distribution system. The authors noted the main difficulties and disadvantages of the known approaches to solving the problem of reducing the estimated cost and increasing the efficiency of the functioning of gas distribution systems. The obtained extensive theoretical base of methods for optimizing gas distribution systems makes it possible to take into account the efficiency of technical re-equipment, to choose a rational method for gasification of a settlement depending on the climatic zone, seasonality and uneven consumption of fuel and energy resources, to take into account the energy-saving component of gasified buildings. The proposed method for optimizing the gas distribution systems of rural settlements and cottage settlements and the developed economic and mathematical models allow you to choose the most profitable gasification option, both from an economic and a technological point of view, taking into account measures to minimize capital investments and subsequent operating costs.

The principles for constructing computational models of gas supply systems are formulated, taking into account a set of determining factors: population density, climate, type of building in populated areas, types of household gas-using equipment, etc. The main advantage of the proposed mathematical models is the ability to simultaneously take into account numerous factors and develop several options for solving the problem, including accounting for the fuel component not only in the transit gas network, but also in the distribution network for multi-row and strip buildings.

Keywords: gas distribution system; two-stage gas distribution network; optimization; gas reduction point; unit costs; centralization; energy saving