



Планирование перспективных направлений развития газораспределительной системы

Т. Н. Белоглазова¹, Т. Н. Романова¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Российская Федерация

Аннотация: Основные направления использования газового топлива (промышленность, энергетика, бытовые цели, отопление) имеют свои особенности. Для различных категорий потребителей требуются обоснованные объемы газа при заданном давлении; потребление газа по территориям неравномерно и зависит от количества и разнообразия потребителей. Планирование структуры системы газоснабжения осуществляется на принципах надежности, экологической безопасности, социальной значимости, экономической эффективности. Работа посвящена повышению надежности системы газоснабжения в период долгосрочного планирования для жилой и общественной зоны стандартного функционального развития. Цель работы – усовершенствование технологии распределения природного газа на основе разработки оптимальной структуры системы газоснабжения. Задачей исследования является выявление взаимосвязей между структурой газораспределительных сетей территорий и планировочным зонированием территории, природно-климатическими факторами, объемами потребления газа.

Наиболее существенным результатом является методическое обоснование критерия принятия перспективных решений структуры системы газоснабжения. По технико-экономическим показателям выявлена тенденция увеличения материальной характеристики системы газоснабжения в зависимости от плотности застройки. Расчет системы газоснабжения производится с учетом нагрузки для теплоснабжения и осуществляется на основе модели равномерно распределенного расхода газа по участку.

Данная расчетная модель позволяет обеспечить экономическую эффективность проектов газоснабжения в условиях поэтапного ввода в эксплуатацию участков сети. Новизна результатов заключается в усовершенствовании метода планирования развития системы газоснабжения в условиях дифференцированной плотности проживания населения.

Для строительной отрасли повышается возможность эффективности вкладываемых средств в развитие инфраструктуры территорий в зависимости от плотности застройки.

Ключевые слова: природный газ, пункт регулирования давления газа, плотность населения, развитие территорий, инфраструктура, функциональные зоны.

Для цитирования: Белоглазова Т.Н., Романова Т.Н. Планирование перспективных направлений развития газораспределительной системы // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 146-156, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.15, EDN: WDBUQN

Planning of perspective directions of gas distribution system development

T. N. Beloglazova¹, T. N. Romanova¹

¹Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

Abstract: The main areas of gas fuel use (industry, energy engineering, domestic purposes, heating) have their own characteristics. Different categories of consumers require reasonable volumes of gas at a given pressure; gas consumption is uneven across territories and depends on

the number and variety of consumers. Planning of the structure of the gas supply system is carried out on the principles of reliability, environmental safety, social significance and economic efficiency. The work is devoted to improving the reliability of the gas supply system during the period of long-term planning for residential and public areas of standard functional development. The goal of the work is to improve the technology of natural gas distribution based on the development of the optimal structure of the gas supply system. The objective of the study is to identify the relationships between the structure of gas distribution networks of territories and the planning zoning of the territory, natural and climatic factors and volumes of gas consumption.

The most significant result is the methodological substantiation of the criterion for making long-term decisions on the structure of the gas supply system. Based on technical and economic indicators, a tendency has been identified to increase the material characteristics of the gas supply system depending on the building density. The calculation of the gas supply system is carried out taking into account the load for heat supply on the basis of the model of uniformly distributed gas flow across the site.

This calculation model makes it possible to ensure the economic efficiency of gas supply projects under the conditions of phased commissioning of network sections. The novelty of the results lies in the improvement of the method for planning the development of the gas supply system in conditions of differentiated population density.

The possibility of efficiency of investments in the development of infrastructure of territories increases depending on the density of development.

Keywords: natural gas, gas pressure control point, population density, territorial development, infrastructure, functional areas

For citation: Beloglazova T. N., Romanova T. N. Planning of perspective directions of gas distribution system development // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 146-156, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.15, EDN: WDBUQN

1. Введение

Энергетические системы для регионов страны являются необходимыми компонентами экономической, социальной, технологической структуры. Устойчивое развитие энергетического сектора является приоритетом в стратегическом развитии государства [1–3]. На основе систем обеспечения различными видами энергоресурсов создается энергетическая безопасность экономики в целом. Для всех регионов мира тенденция уменьшения потребления органического топлива связана со снижением уровня экономического развития.

Научно-технический процесс развития стран мира в современных условиях невозможен без достаточного количества органических видов топлива, несмотря на расширение использования альтернативных источников энергии [4–6]. Природный газ, как один из видов органических ресурсов, достиг в последние 50 лет значительных объемов потребления, что стало возможным при освоении технологии создания систем трубопроводного транспорта и транспортировки в сжиженном виде [7–9]. Трубопроводный транспорт обладает технологическими и экономическими преимуществами для транспортировки на короткие и средние расстояния [10]. В России в большинстве регионов преобладающим видом органического топлива для промышленности и энергетики является газ, в то же время сохраняется неравномерность уровня газификации регионов [11]. Одним из условий устойчивого развития экономики российских регионов является строительство новых и модернизация существующих газораспределительных систем. Вложения в развитие газовой инфраструктуры обеспечивает условия для увеличения потребления газа на внутреннем рынке. Структурные изменения в системе газораспределения и газопотребления являются результатом влияния законодательных, экономических, технологических факторов. Формирование надежной структуры газораспределительных сетей целесообразно осуществлять с учетом региональных, экономических факторов и природно-климатических особенностей [12,13].

Целью исследования является определение структуры газораспределительной системы для повышения надежности технологии энергообеспечения потребителей. Цель достигается за счет решения следующих задач: на примере города Перми произведен анализ структуры функциональных зон территориального развития; выполнен анализ годового объема потребления газа в зоне селитебного назначения на теплоснабжение и хозяйственное использование газа на основе природно-климатических факторов; произведен анализ и выявлена взаимосвязь структуры газораспределительной сети на основе математической модели для зоны с одинаковой площадью и разной плотностью застройки.

2. Материалы и методы

Развитие структуры газораспределительной системы производится с учетом перспективного планирования и функционального зонирования объекта газификации [14]. Характер потребления газа для каждого объекта находится в прямой зависимости от перспективы экономического развития территории, поэтому исследование произведено на примере города Перми (Россия). На основе плана развития территорий рассмотрен состав и соотношение функциональных зон. Различают зоны селитебного назначения, производственно-коммунальную, промышленно-торговую, а так же территории ситуативного проектирования (ТСП): общественно-делового назначения (ТСП-ОД), зону рекреационных и специальных объектов (ТСП-Р), зону экологического природного ландшафта (ТСП-ЭП), зону сельскохозяйственного использования (ТСП-СХ). Наличие и развитие зон, их взаимное расположение определяет как структуру, так и характер потребления газа на данной территории. На основе объемов потребления газа и возможности подключения к трубопроводам производится анализ источников газоснабжения и возможных вариантов структуры газораспределительных сетей по давлению и протяженности. Структура газораспределительных сетей имеет многоступенчатое строение [15, 16].

Годовое и расчетное часовое потребление газа являются основными факторами, оказывающих влияние на структуру газораспределительных сетей территории. Как правило, территории имеют сложившуюся ситуацию расположения функциональных зон; для ряда регионов уже имеет место функционирующая газораспределительная сеть. Особенностью регионов России в современных условиях при использовании магистрального газа является существенное изменение в характере газопотребления в период с 1991 по 2021 годы. В период развития структуры газораспределительных сетей преобладало промышленное потребление и централизованное теплоснабжение. Изменение объема потребления газового топлива связано с изменением объема производства промышленных объектов, строительством объектов с современным уровнем тепловой защиты [17], повышением энергоэффективности технологического оборудования.

Процессы модернизации существующей структуры системы газораспределения основываются на анализе перспективного использования газа производственными объектами и потребителями жилой зоны.

Данные по зонам функциональной застройки, т.н. стандартным территориям нормирования (СТН), на примере города Перми¹ представлены в табл. Город состоит из 7 административных районов (рис.1). Согласно оперативным данным Росстата от 26.04.2021 «Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2021 года», общее количество жителей составляет 1 045 988 человек; распределение населения по районам города представлено на рис. 2.

¹ Генеральный план города Перми. Утверждён решением Пермской городской Думы от 17.12.2010 №205 (в ред. решения Пермской городской Думы от 30.08.2011 №175, решения Пермской городской Думы от 28.01.2014 № 2, решения Пермской городской Думы от 28.01.2014 № 3).



Рис. 1. Административно-территориальное устройство Перми (<https://ru.m.wikipedia.org/>)
Fig.1. Administrative-territorial structure of Perm (<https://ru.m.wikipedia.org/>)

По функциональному значению 49,7% территории города предусматривает размещение и развитие производственной инфраструктуры.

Таблица

Функциональное зонирование городской территории г. Перми

Функциональные зоны жилой и иной застройки	Площадь зоны, Га	Процентное отношение к общей площади, %	Максимальная плотность жилой застройки, ж.е.*/Га	Годовой расход газа для бытовых целей, млн.м ³ /год
1. Зоны жилой и иной застройки, в том числе:	10 808	50,3		70,7
1.1. зона ядра городского центра – СТН-А	191	0,9	150	1,7
1.2. зона городского центра – СТН-Б	713	3,3	160	9,0
1.3. зона многофункциональной застройки срединной части города – СТН-В	1 278	6,0	125	18,0
1.4. зона многофункциональной жилой застройки – СТН-Г	1 257	5,9	100	18,4
1.5. зона жилой застройки – СТН-Д	880,4	4,1	50	5,3
1.6. зона удаленных городских центров – СТН-Е	1 475	6,9	70	13,0
1.7. зона средне- и малоэтажной застройки – СТН-Ж	2 146	10,0	20	3,5
1.8. зона малоэтажной застройки – СТН-И	2 896	13,5	15	1,8
2. Зоны производственного назначения, в том числе:	10 666	49,7	-	-
2.1. зона производственно-коммунальная – ТСП-П	2 456	11,4	-	-
2.2. зона промышленно-торговая – ТСП-ПТ	8 210	38,2	-	-

* ж.е. (жилая единица) – отдельная квартира или индивидуальный жилой дом

Характер распределения природного газа по районам неравномерный. Так как

город расположен на левом и правом берегу реки Кама требуется решение вопроса резервирования источников газоснабжения. Свердловский, Орджоникидзевский, Кировский, Индустриальный, Дзержинский районы имеют возможность подключения к системе газоснабжения от магистральных газопроводов. Наличие на территории газораспределительных сетей высокого, среднего и низкого давления в рассмотренных районах призвано обеспечить надежное обеспечение потребителей газа. Развитие многоступенчатых систем в городах с высоким уровнем дифференциации территории по функциональному принципу является экономически обоснованным. Проложенные на территории города сети газораспределения более чем на 90 % выполнены из металлических газопроводов. Ввиду того, что срок службы стальных газопроводов составляет 40 лет, система должна в ближайшие 30–40 лет полностью модернизирована с учетом новых материалов и перспективных потребителей [18–20]. В условиях планирования на долгосрочный период необходимо увязывать прогнозы развития территорий с развитием структуры систем газоснабжения. Данные задачи решаются на основе цифровых технологий с целью повышения надежности, технологичности и экономической эффективности газоснабжения [21, 22].

Строительство газопроводов осуществляется с учетом рельефа местности, геолого-гидрологических условий, существующих естественных и искусственных преград. В процессе подготовительных и строительных работ, решаются вопросы землепользования и отвода земли под участки строительства систем газораспределения. В качестве источника природного газа для газораспределительных систем территорий является магистральный газопровод, или станция приема хранения и регазификации (СПХР). В регионах с развитой газотранспортной системой в непосредственной близости от магистральных газопроводов наиболее широко применяется структура газораспределения от газораспределительных станций, системы газораспределительных сетей и пунктов редуцирования газа. Использование сжиженного природного газа (СПГ) возможно при отсутствии магистральных газопроводов в непосредственной близости от объектов использования газа и при этом предусматривается создание системы сжижения и транспортировки СПГ автомобильным, железнодорожным и водным транспортом.

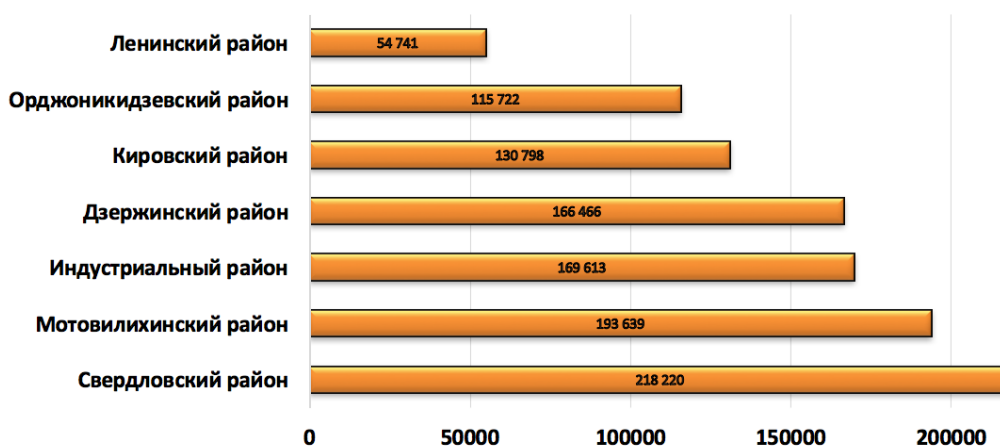


Рис. 2. Численность населения в районах Перми (иллюстрация авторов)

Fig.2. The population in the areas of Perm (illustration by the authors)

Пространственная модель потребления газа для территории имеет практическое значение [2]. При планировании развития энергосистем города, для отдельных зон города учитываются данные годового и часового расхода газа. Фактическое потребление газа на основе статистических данных отражает структуру потребления энергоресурсов для экономических и климатических условий достаточно ограниченного временного периода. В перспективном анализе потребление газа определяется на основе нормативных методик расчета. Методики определения годовых и расчетных часовых расходов газа при перспективном планировании рекомендуется осуществлять на базе стандартных удельных нормативных значений. Данная методика использовалась при планировании систем газоснабжения в советский период и показала устойчивость и эластичность при

значительных экономических и социальных изменениях в обществе. Необходимо отметить, что удельные нормативы для проектирования и планирования развития территорий не совпадают с понятием текущих нормативов потребления газа для расчета с потребителями. Удельные нормативы для расчета с потребителями изменяются в соответствии с особенностями потребления на территории и могут утверждаться на краткосрочный период; тогда как в долгосрочной перспективе учитывается неопределенный характер газопотребления на 50 лет.

Прогнозируемый расход газа определяется на основе планирования развития территорий города и производится в соответствии со стандартными удельными нормативами потребления газа. Как фактическое потребление по данным статистики, так и планируемое является необходимым для экономического обоснования источника газоснабжения. Сбор и анализ информации о годовом объеме потребления газа для всех сфер деятельности на данной территории в соответствии со статистическими данными позволяет выявить неравномерность потребления.

Годовой объем газа для потребителей на территории распределяется по таким группам потребителей, как бытовое, промышленное потребление, теплоснабжение:

$$V_{\text{общ}} = \sum V_{\text{пр}} + \sum V_{\text{тс}} + \sum V_{\text{х}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{общ}}$ – общий расход газа, м³/год; $V_{\text{пр}}$ – годовое потребление промышленными предприятиями, м³/год; $V_{\text{тс}}$ – пользование газа на теплоснабжение, м³/год; $V_{\text{х}}$ – хозяйственно-бытовое потребление газа, м³/год.

Для жилых зон в исследовании рассматриваются следующие направления использования газа: для отопления и вентиляции, горячего водоснабжения, приготовления пищи. При проектировании и разработке схем газоснабжения определяется максимальный часовой расход, который зависит от неравномерности потребления:

$$V_m^h = V_m^y \cdot K_m, \quad (2)$$

где V_m^y – максимальный часовой расход газа для категории потребителей м³/ч; K_m – коэффициент часового максимума, определяется для каждой категории по нормативной литературе.

Поскольку нагрузка на горячее водоснабжение учтена при расчете нагрузки на теплоснабжение, тогда по удельным нормативам при определении хозяйственно-бытового расхода учитывается только расход газа для приготовления пищи. Диаметры кольцевых газораспределительных сетей среднего давления определены с учетом транспортного резерва для увеличения пропускной способности сети в аварийной ситуации. Аварийная ситуация для рассмотренной сети характеризуется выходом из строя одного из головных газорегуляторных пунктов. В случае аварии на одном из газорегуляторных пунктов возможно изменение направления потока газа в кольцевой сети; происходит перераспределение потока газа, при отключении аварийного участка. При аварийном режиме у абонентов обеспечивается заданное давление при расходе газа, который рассчитывается с учетом коэффициента обеспеченности для аварийной ситуации. Критерием сравнения вариантов газораспределительной системы является материальная характеристика сети:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot l_i), \quad (3)$$

где M – материальная характеристика газораспределительной сети, (м·мм); d_i – диаметр участка сети газоснабжения, мм; l_i – длина участка сети газоснабжения, м.

Модель распределительной газовой сети предназначена для обеспечения потребителей газом с заданными параметрами как при нормальной эксплуатации, так и в режиме аварийных ситуаций.

3. Результаты и обсуждение

Данные функционального зонирования (табл.) показывают, что процентная доля площади производственных и промышленных, коммунальных и торговых зон составляет 46,8%. Развитие производственных, коммунальных и промышленно-торговых зон предусматривает перспективное использование природного газа для производства, теплоснабжения и выработки электроэнергии. Для разных районов города Перми функциональное территориальное зонирование имеет дифференцированный характер.

Аналогичный подход при разработке математической модели используется в ряде работ при исследовании данных для населенных объектов [2, 14, 15, 22]. Отличительной особенностью является направленный характер обеспечения управляемости и стабильной работы единой газораспределительной системы, как каждого района, так и всего города в целом с целью теплоснабжения.

Для промышленных районов газораспределительные сети высокого и среднего давления являются основой надежного газоснабжения. Расположение промышленных зон и объемы потребления газа определяют многоступенчатую структуру газораспределительной сети. Для жилых зон газоснабжение имеет социальное и экономическое значение. Исследования вариантов сети газораспределения низкого давления, представленные в работе [10], обеспечивают селитебную зону малоэтажной застройки. Газораспределительная система среднего давления с возможностью подключения потребителей зоны жилой застройки имеет экономические преимущества [9]. Рассмотренный вариант обеспечивает поэтапное развитие многоступенчатой инфраструктуры системы газораспределения. В исследовании авторов [10] подход к развитию сети низкого давления является одним из возможных вариантов развития многоступенчатой газораспределительной сети крупного объекта. Нагрузка на теплоснабжение для условий города Перми превышает нагрузку на бытовые нужды (рис. 3). В жилых районах города имеются системы газопроводов низкого давления, которые обеспечивают в основном бытовое потребление. Зоны малоэтажной и среднеэтажной застройки по объему потребления газа не превышают 5,3% от общего объема на бытовые нужды.

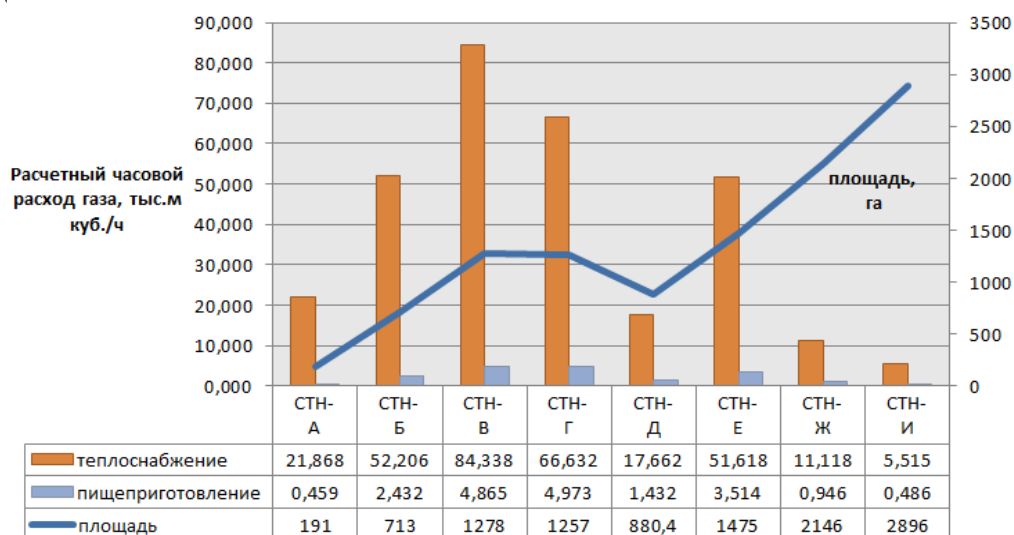


Рис.3. Расчетный часовой расход газа для теплоснабжения и приготовления пищи для функциональных зон города (иллюстрация авторов)

Fig.3. Gas volume for heat supply and cooking by standardized areas per hour (illustration by the authors)

Для зоны застройки средней части города СТН-В, многофункциональной жилой зоны СТН-Д, зоны отдаленных городских центров СТН-Е существующие газораспределительные системы низкого давления требуют реконструкции, чтобы иметь возможность подключать потребителей для обеспечения перспективной нагрузки на отопление и вентиляцию (рис. 4).

Выбор решений по энергообеспечению для различных объектов может выполняться с учетом планировочной структуры сети и стоимостных критериев [14]. Для площади 338 га с плотностью населения от 100 до 350 человек на гектар рассматриваются варианты газораспределительных сетей среднего давления. Комбинированная газораспределительная сеть с кольцевыми и тупиковыми участками обеспечивает потребление газа для теплоснабжения и приготовления пищи. Выбор расположения газорегуляторных пунктов, которые являются источниками газораспределительной сети, оказывает влияние на материальную характеристику. Для

сети предусматривалось 2 либо 3 головных газорегуляторных пункта для обеспечения подачи газа в аварийных режимах работы при отказе одного из источников. Уменьшение общей суммы длин участков для вариантов схемы газораспределительной сети среднего давления приводит к снижению материальной характеристики. При плотности населения от 100 до 200 человек на гектар для рассмотренной планировки материальная характеристика изменяется в основном от протяженности сети. Материальные характеристики разработанных вариантов увеличиваются на 24 %, при этом количество потребителей увеличивается в 3,5 раза. Тенденция к уменьшению материальной характеристики, для количества жителей 67 724 человек и 118 517 человек, связана с увеличением количества газорегуляторных пунктов до 3 штук. В остальных вариантах в сети газоснабжения предусмотрены по 2 газорегуляторных пункта.

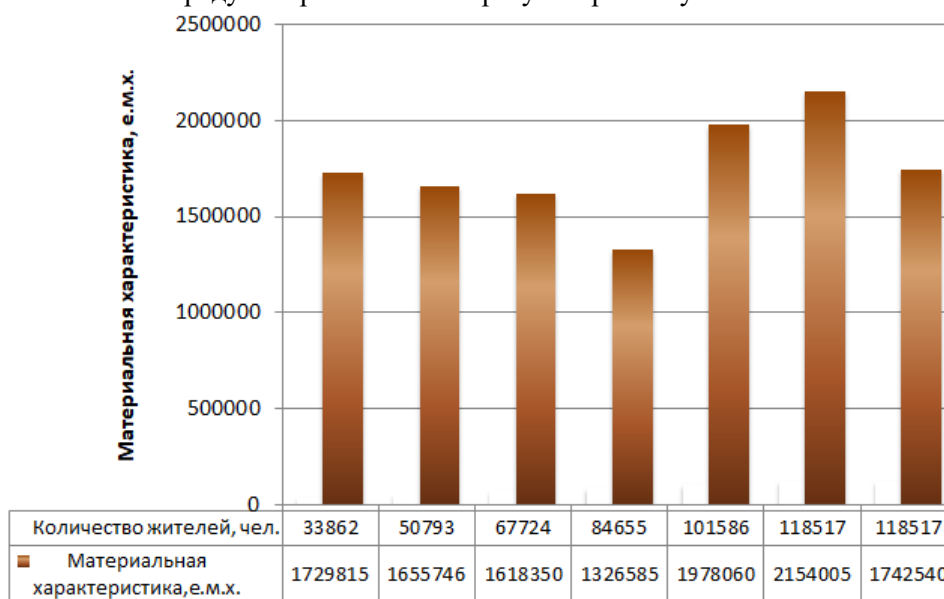


Рис.4. Зависимость материальной характеристики газораспределительной сети среднего давления от плотности населения территории (иллюстрация авторов)

Fig.4. Dependence of the material characteristics of the medium pressure gas distribution network on the population density of the territory (illustration by the authors)

Использование газа для теплоснабжения значительно увеличивает расходы в сети. Увеличение расхода газа с ростом количества потребителей и повышением комфортности жилья в индивидуальной жилой застройке следует учитывать при реконструкции и модернизации существующих сетей. В рассмотренном варианте при планировании развития систем газораспределения рассчитана ступень среднего давления. К участкам сети среднего давления присоединяются потребители зоны жилой застройки посредством газопроводов среднего либо низкого давления, после предварительного снижения давления газа в газорегуляторных пунктах. Также установка газорегуляторных пунктов возможна в непосредственной близости у потребителя. Использование регуляторов давления у потребителей технологически обеспечивает стабильность давления при изменении расхода газа. Предложенная модель расчета сети с распределенной нагрузкой газовой сети позволяет реализовать как сети среднего давления, так и сети низкого давления в жилых районах.

В результате планирования на основе рассмотренной модели обеспечивается поэтапный принцип ввода участков сети, как при строительстве, так и при эксплуатации в долгосрочном периоде прогнозирования. Частично это сглаживает отставание в готовности потребителей к приему газа. То обстоятельство, что неготовность абонентов к приему приводит к тому, что построенные газопроводы долгое время не загружаются на проектную мощность, несколько снижает экономическую эффективность системы газораспределения. Уменьшение нагрузки от проектных значений может отражаться на процессе регулирования давления газа. Но с учетом технологических особенностей работы газорегуляторных пунктов в широких диапазонах расходов и при расчетных значениях коэффициента загрузки от 10 до 80 % обеспечивается стабильная работа

системы газоснабжения. Поскольку газораспределительные сети из полиэтилена служат 50 лет, существует объективная неопределенность в отношении подключения оборудования потребителей. Срок службы газоиспользующего оборудования обычно составляет от 10 до 15 лет. Поэтому система газораспределения, на основе многоступенчатой структуры предусматривает планирование ступени среднего и высокого давления с учетом долгосрочной перспективы изменений в потреблении, связанного с развитием территории, заменой оборудования. Для эффективного решения этих вопросов необходимы организационные и технологические решения для совместной работы организаций ПАО «Газпром» и администраций субъектов Российской Федерации, направленные на синхронное создание газопроводно-потребительского комплекса и загрузку построенных объектов с момента ввода в эксплуатацию. Для решения вопроса экономической эффективности необходимо не только обеспечивать наличие систем газораспределения и газопотребления, но и наличие платежеспособного спроса со стороны потребителей, что объективно связано со стабильной и предсказуемой тарифной политикой. Для рассмотренного объекта суммарная площадь зон СТН-Б, СТН-В, СТН-Г, СТН-Е составляет 43,6% от площади зон селитебного назначения. При этом суммарное расчетное часовое значение потребления газа для данных зон от общего потребления на теплоснабжение и пищуприготовление составляет 82%.

Во время эксплуатации, предложенная модель обеспечивает возможность мониторинга работы сети в новых условиях, при подключении вновь вводимой нагрузки. Математическое моделирование системы газоснабжения предусматривает проверку принятых решений после их реализации в процессе подключения абонентов и при эксплуатации сети с помощью замеров давления в источнике и на абонентских ответвлениях.

4. Заключение

Расчет газораспределительной сети с учетом нагрузки для теплоснабжения осуществляется на основе модели распределенной нагрузки расхода газа. Данная расчетная модель позволяет обеспечить экономическую эффективность проектов газоснабжения в условиях поэтапного ввода в эксплуатацию участков сети по мере развития территорий, в том числе при модернизации и реконструкции.

При реконструкции газораспределительные системы в зоне жилой и иной застройки с плотностью населения более 100 жителей на гектар, для отопительного периода более 200 дней и расчетной температурой отопления менее -30°C рекомендуется проектировать с учетом нагрузки на теплоснабжение для ступени среднего и высокого давления газа. Многоступенчатая структура системы газораспределения обеспечивает надежное и экономичное газоснабжение территории.

На основе плана долгосрочного развития г. Перми с учетом плотности застройки, климатических условий выполнен расчет годовых и расчетных часовых объемов потребления газа в селитебной зоне. Для участка с заданной площадью произведен анализ структуры газораспределительной сети при изменении плотности застройки от 100 до 350 человек на гектар. Выявлена возможность энергообеспечения потребителей для целей теплоснабжения и хозяйственно-бытовых нужд, подключенных к системе газоснабжения, за счет структурных решений.

Список литературы/ References

1. Фортов В. Е. Вступительное слово председателя совета по приоритету академика РАН В. Е. Фортова // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 4. С. 318-320. [Fortov V. E. Introductory speech of the Chairman of the Council on priority of Academician of the Russian Academy of Sciences V. E. Fortov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. Iss. 89 (4). P.318-320.] DOI: 10.31857/S0869-5873894318-320.
2. 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. [Bugueva T. M. Modern methods of planning the city's power system // Energy. Bulletin of higher institutions and energy associations of the CIS. 2019. Iss. 62(4). P. 377-387.] DOI: 10.21122/1029-7448-2019-

- 62-4-377-387.
3. Gudmestad O. T., Traa K. Sustainable use and production of energy in the 21st century // *International Journal of Energy Production and Management*. 2016. Vol. 1, Iss.1. P. 1-15. DOI: 10.2495/EQ-V1-N1-1-15.
 4. Шилкина С. В. Экономика развития электроэнергетики на возобновляемых источниках энергии в России с учетом мировых тенденций // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 3(68). С. 137-146. [Shilkina S. V. Economics of development of electric power industry on renewable energy sources in Russia taking into account world trends // *Bulletin of Civil Engineers*. Iss. 3(68). P.137-146.] DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-137-146.
 5. Клинова М. В. Государство и энергетическая безопасность в мире и Европе как общественное благо // *Вопросы экономики*. 2022. № 6. С. 110-125. [Klinova M. V. State and energy security in the world and Europe as a public good // *Economic issues*. 2022. Iss. 6. P. 110-125.] DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-110-125.
 6. Мингалеева Р. Д., Бессель В. В. Устойчивое развитие крупнейших экономик мира требует все больше энергии // *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. 2022. № 3(207). С. 57-63. [Mingaleeva R. D., Bessel V. V. Sustainable development of the world's largest economies requires more and more energy // *Problems of economics and management of the oil and gas complex*. 2022. Iss. 3(207). P. 57-63.] DOI: 10.33285.
 7. Silver, L. Y. Conversion of heating equipment to firing by natural gas // *Glass and Ceramics*. 1960. Vol. 15, Iss. 5. P. 271-273. DOI: 10.1007/BF00667506.
 8. Liang J., Guo K., Huangfu L. Prediction method of city natural gas monthly consumption // *Huagong Xuebao*. 2015. Vol. 66. P. 392-398. DOI:10.11949/j.issn.0438-1157.20150742
 9. Барышева, О. Б., Хабибуллин Ю. Х. Энергоресурсосбережение в системе газоснабжения // *Энергосбережение и энергоэффективность на промышленных предприятиях и в жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы I Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой памяти д-ра техн. наук, профессора, А. А. Сандера, Новосибирск, 16–18 ноября 2016 года. – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников "Сибирская академическая книга", 2017. С. 21-27. [Barysheva, O. B., Khabibullin Yu. Kh. Energy resource saving in the gas supply system // *Energy saving and energy efficiency in industrial enterprises and in housing and communal services: materials of the 1st All-Russian Scientific and Technical Conference, dedicated to the memory of Dr. Tech. Sciences, Professor, A. A. Sander, Novosibirsk, November 16–18, 2016. – Novosibirsk: Association of Scientific Employees "Siberian Academic Book", 2017. P. 21-27.]**
 10. Медведева О. Н., Бессонова Н. С. Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2017. № 3(47). С. 21-31. [Medvedeva O. N., Bessonova N. S. Comparative assessment of the energy-economic efficiency of settlement gas supply systems // *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2017. Iss.3(47). P.21-31.]
 11. Бобылева Т. А., Хрипунова А. С. Исследование проблемных вопросов газификации России и способов их решения // *Вестник университета*. 2016. № 7-8. С. 12-18. [Bobyleva T. A., Khripunova A. S. Investigation of problematic issues of Russian gasification and ways to solve them // *Bulletin of the University*. 2016. Iss. 7-8, P.12-18.]
 12. 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, 10–12.12.2019. Vol. 459, 5, Chapter 4. Russky Island: Institute of Physics Publishing. 2020. P. 052028. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052028.*
 13. Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V., Adam L.A. Gitelman, L. D. Sustainable Energy for

- Smart City // International Journal of Energy Production and Management. 2019. Vol. 4. Iss. 4. P. 343-353. DOI: 10.2495/EQ-V4-N4-343-353.
14. 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. Iss.4(28). P.33-40.
 15. Соловьева Е. Б., Лученинова Д. А., Федорова Т. А. Выбор оптимальной системы газораспределения // Аграрный научный журнал. 2018. № 4. С. 59-62. [Solovyova E. B., Lucheninova D. A., Fedorova T. A. Choosing the optimal gas distribution system // Agrarian Scientific Journal. 2018. Iss. 4. P. 59-62.] DOI: 10.28983/asj.v0i4.452.
 16. Chen F., Wu C. A novel methodology for forecasting gas supply reliability of natural gas pipeline systems // Frontiers in Energy. 2020. Vol. 14, Iss. 2. P. 213-223. DOI: 10.1007/s11708-020-0672-5.
 17. Akhmadiev, F. G., Gizzyatov R. F. Computer Simulation of the Heat Transfer Process through Multilayer Building Envelopes // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2021. Vol. 42. Iss. 9. P. 2089-2094. DOI: 10.1134/S1995080221090043.
 18. Казанцева Н. К., Ткачук Г. А., Алексева Е. В. и др. Состояние базы национальных стандартов на композитные материалы // Стандарты и качество. 2017. № 10. С. 48-51 [Kazantseva N. K., Tkachuk G. A., Alekseeva E. V., Tarasova Yu. O. The state of the base of national standards for composite materials // Standards and quality. 2017. Iss. 10. P.48-51.]
 19. Иванцов О. М., Бушова Н. Н. Научно-техническая программа «Высоконадежный трубопроводный транспорт» // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 3. С. 12-21. [Ivantsov O. M., Bushova N. N. Scientific and technical program «Highly reliable pipeline transport» // Occupational safety in industry. 2019. Iss. 3. P. 12-21.] DOI: 10.24000/0409-2961-2019-3-12-21.
 20. Группа ПОЛИПЛАСТИК – лидер инноваций в сфере полимерных трубопроводных систем // Газовая промышленность. 2022. № 9(837). С. 90-91 [POLYPLASTIC – Group is the leader of innovations in the field of polymer pipeline systems // Gas Industry. 2022. Iss. 9(837). P. 90-91.]
 21. Белоглазова Т. Н., Романова Т. Н. Эффективное внедрение цифровых технологий в сфере газоснабжения // Проблемы региональной энергетики. 2022. № 1(53). С. 141-151. [Beloglazova T. N., Romanova T. N. Effective introduction of digital technologies in the field of gas supply // Problems of regional energy. 2022. Iss. 1(53). P. 141-151.] DOI: 10.52254/1857-0070.2022.1-53.11.
 22. Sukharev M. G., Kosova K. O., Popov R. V. Mathematical and computer models for identification and optimal control of large-scale gas supply systems // Energy. 2019. Iss. 184. P. 113-122. DOI: 10.1016/j.energy.2018.02.131.

Информация об авторах

Белоглазова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), г. Пермь, Российская Федерация
E-mail: tabeloglazova@yandex.ru

Романова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), г. Пермь, Российская Федерация
E-mail: botinkin@yandex.ru

Information about the authors

Tatiana N. Beloglazova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
E-mail: tabeloglazova@yandex.ru

Tatiana N. Romanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
E-mail: botinkin@yandex.ru