

DOI 10.23859/1994-0637-2017-5-80-4
УДК 621.6:62-621

© Осипова Н.Н., 2017

Осипова Наталия Николаевна

Доктор технических наук, доцент,
Саратовский государственный технический
университет имени Ю.А. Гагарина
(Саратов, Россия)
E-mail: osnat75@mail.ru

Osipova Natalya Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Y.A. Gagarin
Saratov State Technical University
(Saratov, Russia)
E-mail: osnat75@mail.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА
СТРУКТУРЫ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ НАСЕЛЕННОГО
ПУНКТА**

**THE SUBSTANTIATION OF THE
SELECTION OF THE STRUCTURE
OF THE GAS DISTRIBUTION
SYSTEM OF THE HUMAN
SETTLEMENT**

Аннотация. В статье представлено экономико-математическое моделирование структуры газораспределительной системы населенного пункта в зависимости от типа застройки населенного пункта, плотности населения на газоснабжаемой территории, технических характеристик зданий и источников газоснабжения, характера и режимов работы газового оборудования объектов. Обосновываются критерии выбора централизованных и децентрализованных систем при газификации населенного пункта.

Abstract. The article presents the economic and mathematical modeling of the structure of the gas distribution system of a settlement depending on the nature of the built-up area, the population density in the gas supply territory, the technical characteristics of buildings and gas supply sources, the nature and operating modes of the gas equipment of the facilities. The criteria for the selection of centralized and decentralized systems for the gasification of a settlement are justified.

Ключевые слова: газоснабжение, централизованные и децентрализованные системы, сжиженный углеводородный газ, оптимальное количество квартир, критическая плотность населения

Keywords: gas supply, centralized and decentralized systems, liquefied hydrocarbon gas, optimal number of apartments, critical population density

Введение

Анализ литературных источников и статистических материалов газовых организаций показывает, что в общей структуре затрат в систему газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) свыше 70 % занимают затраты в системы газоснабжения населенных пунктов и сопряженные с ними элементы региональной части газораспределительных систем [1], [2], [10].

В существующей практике централизованного снабжения городского населения сжиженным газом обычно к одной резервуарной установке (РУ) СУГ с естественным испарением подключается в среднем 100–150 квартир, оборудованных газовыми плитами, и 50–70 квартир, оборудованных плитами и водонагревателями [6]. Такая централизация не отвечает современным экономическим требованиям и обуславливает значительный перерасход материальных и денежных средств в сооружение и эксплуатацию систем газоснабжения.

Вместе с тем, имеющиеся в литературе научные рекомендации по вопросам цен-

трализации систем газоснабжения на базе СУГ [1], [2], [10], [11], [12] имеют весьма противоречивый характер. Так, например, формирование централизованных городских систем газоснабжения для жилых массивов с 2-этажной застройкой при установке в квартирах газовых плит (использование газа на цели пищевого приготовления) регламентируется в диапазоне 350–800 квартир по [11] и 1200–3600 квартир по [12], т.е. отличается более чем в 4 раза. В определенной степени указанные расхождения объясняются значительной пологостью целевой функции задачи. Существенное влияние на результаты исследований оказывают также исходные предпосылки и допущения, принятые при поставке задачи. Что же касается газоснабжения потребителей, с учетом возможности использования СУГ на отопительные нужды, то какие-либо научно-обоснованные рекомендации в известных литературных источниках вообще отсутствуют.

В соответствии с вышеизложенным, обоснование оптимальной централизации систем газоснабжения населенных пунктов с обеспечением газового топлива на все коммунально-бытовые нужды представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Основная часть

В качестве целевой функции указанной задачи примем удельные (в расчете на 1 газифицируемую квартиру) дисконтированные затраты в системы газоснабжения по комплексу: ГНС – групповая резервуарная установка – потребитель

$$Z_{\text{СГРУ}} + Z_{\text{СГНП}}(n) + Z_{\text{СГО}} = \min, \quad (1)$$

где n – количество квартир (домов), подключаемых к одной РУ СУГ, кв; $Z_{\text{СГРУ}}$ – затраты в системы газоснабжения регионального уровня, руб./((год·кв); $Z_{\text{СГНП}}(n)$ – затраты в системы газоснабжения населенного пункта, руб./((год·кв); $Z_{\text{СГО}}$ – затраты в системы газоснабжения объекта, руб./((год·кв).

Как показывает технико-экономический анализ, изменение централизации поселковых систем газоснабжения (количество и местоположение групповых резервуарных установок на территории населенного пункта) не оказывает заметного влияния на величину затрат в региональные системы газоснабжения $Z_{\text{СГРУ}}$. Также при любой централизации поселковых систем газоснабжения затраты в системы газоснабжения объектов $Z_{\text{СГО}}$ (дворовые вводы, внутридомовые газопроводы и газоиспользующие установки) остаются неизменными. Указанное обстоятельство позволяет принять составляющие функции (1) $Z_{\text{СГРУ}}$ и $Z_{\text{СГО}}$ постоянными и исключить из общей структуры затрат (принцип декомпозиции).

Тогда исходная целевая функция задачи примет следующий вид

$$Z_{\text{СГНП}}(n) = Z_{\text{ГРУ}}(n) + Z_{\text{РГС}}(n) = \min, \quad (2)$$

где $Z_{\text{ГРУ}}(n)$ – затраты в групповые резервуарные установки, руб./((год·кв); $Z_{\text{РГС}}(n)$ – затраты в распределительные газовые сети, руб./((год·кв).

Затраты в резервуарные установки СУГ конкретизируются в виде следующего функционала

$$Z_{\text{ГРУ}}(n) = \frac{1}{n} \left\{ (E + \Phi_{\text{ГРУ}}) f \left[\Phi_{\text{опт}}, V_{\text{р}}^{\text{опт}}(g_{\text{год}}, n) \right] + (E + \Phi_{\text{И}}) \psi(g_{\text{час}}, n) + \zeta(g_{\text{год}}, n, \xi) \right\}, \quad (3)$$

где E – коэффициент эффективности капитальных вложений, 1/год.; $\Phi_{\text{ГРУ}}$, $\Phi_{\text{И}}$ – доля

годовых отчислений на эксплуатацию подземных резервуаров и испарителей, 1/год; Φ_{opt} – оптимальные параметры фактора формы резервуара; V_p^{opt} – оптимальный объем резервуара, м^3 [4]; $g_{\text{час}}$, $g_{\text{год}}$ – максимальный часовой, (кг/ч·кв) и годовой, (кг/год·кв), расходы газа одной квартирой [4]; ξ – коэффициент, учитывающий естественную испарительную способность подземных резервуаров в общем балансе па-ропроизводительности резервуарных установок [5].

При ограничениях:

$$1 \leq n \leq n_{\text{max}}; 0 \leq \xi \leq 1, 0; g_{\text{час}}^{\min} \leq g_{\text{час}} \leq g_{\text{час}}^{\max}; g_{\text{год}}^{\min} \leq g_{\text{год}} \leq g_{\text{год}}^{\max}.$$

В общем виде затраты в распределительные системы населенных пунктов $Z_{\text{РГС}}(n)$ могут быть представлены в виде следующего функционала, руб/год · кв

$$Z_{\text{РГС}}(n) = \frac{1}{n} \left\{ \left\{ (E + \varphi) f \left\{ d \{ \Delta P, G_{\text{час}}(g_{\text{час}}, n), L[l(q, S), n] \}, L[l(q, S, n)] \right\} \right\} + \mu L[l(q, S), n] \right\} \right\}, \quad (4)$$

где φ – доля годовых отчислений на амортизацию и ремонт газопроводов, 1/год; d – средний диаметр распределительных газовых сетей в населенном пункте, м; ΔP – перепад давлений в уличных распределительных газопроводах, Па; $G_{\text{час}}$ – максимальный часовой расход газа от групповой РУ СУГ, кг/ч; $g_{\text{час}}$ – максимальное газопотребление одной квартирой, кг/(ч·кв); l – протяженность распределительных газопроводов в расчете на одну газифицируемую квартиру (здание), м/кв; q – плотность населения газоснабжаемой территории, чел./га; S – коэффициент заселенности квартир, чел./кв; μ – стоимость годового обслуживания газовых сетей, руб./((год·п.м.); L – суммарная протяженность газовых сетей в расчете на одну груп-повую РУ СУГ, м/ГРУ.

Функционал (4) реализуется при следующих ограничениях к заданным и управ-ляющим параметрам:

$$4 \leq n \leq n_{\text{max}}; d \geq 40 \text{ мм}; 0 \leq \Delta P \leq \Delta P_{\text{н}} = 1200 \text{ Па}; 6 \leq q < 75 \text{ чел./га}; g_{\text{час}}^{\min} \leq g_{\text{час}} \leq g_{\text{час}}^{\max}.$$

Соответствующие уравнения, раскрывающие содержание конкретных элементов исходного функционала, приводятся в публикациях [7]–[9].

Согласно [3], в современных проектных решениях преобладают варианты за-стройки поселений: с расположением жилых домов в кварталах применяемые в больших населенных пунктах (многорядная застройка); с расположением жилых домов вдоль проездных дорог с одной и двух сторон применяемая в малых населен-ных пунктах (двухрядная застройка). В качестве расчетной модели системы газо-снабжения примем два полярных варианта застройки населенных пунктов: много-рядная и двухрядная, – обеспечивающих наименьшие и наибольшие затраты в рас-пределительные газопроводы населенного пункта [13].

Согласно выражению (2), с учетом зависимостей (3)–(4) были получены затраты в систему газоснабжения $Z_{\text{СГНП}}$ в расчете на одну газифицированную квартиру при снабжении от РУ СУГ с электрическим испарителем с промежуточным теплоноси-телем для двух типов застройки населенных пунктов [7]. Расчетные зависимости $Z_{\text{СГНП}}(n)$ представлены в табл. 1.

Зависимости для определения $Z_{\text{СГНП}}(n)$

Тип зданий	Зависимость
<i>Двухрядная застройка населенных пунктов</i>	
с существующим уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами периодического действия	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 207,7(q \cdot 10^{-4})^{-0,49} n^{0,19}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами постоянного горения	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 226(q \cdot 10^{-4})^{-0,5} n^{0,142}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами постоянного горения	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 226(q \cdot 10^{-4})^{-0,5} n^{0,142}$
<i>Многорядная застройка населенных пунктов</i>	
с существующим уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами периодического действия	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 220,14(q \cdot 10^{-4})^{-0,496} n^{0,143}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами постоянного горения	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 218,9(q \cdot 10^{-4})^{-0,469} n^{0,136}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами постоянного горения	$16318,5 \cdot n^{-0,62} + 224,13(q \cdot 10^{-4})^{-0,496} n^{0,12}$

Для определения оптимальной централизации систем газоснабжения населенных пунктов (минимум функции затрат $Z_{\text{СГНП}}$) в детерминированной постановке задачи про дифференцируем выражения, представленные в табл. 1, по управляющему параметру n и приравняем к нулю:

$$\frac{dZ_{\text{СГНП}}}{dn} = 0.$$

В результате дифференцирования получаем оптимальное количество квартир, подключаемых к одной резервуарной установке СУГ, выражения для определения которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

К определению оптимального количества квартир n_{opt}

Тип зданий	Количество квартир при типе застройки населенных пунктов	
	двухрядная застройка	многорядная застройка
с существующим уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами периодического действия	$944,1 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,61}$	$1924 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,65}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами постоянного горения	$1876,25 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,655}$	$2194,3 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,62}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами постоянного горения	$1570 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,63}$	$2997 \cdot (q \cdot 10^{-4})^{0,67}$

В отечественной и зарубежной практике для газоснабжения малоэтажных жилых зданий широкое применение получили индивидуальные резервуары с естественным испарением СУГ. Применение индивидуальных резервуаров СУГ имеет целый ряд преимуществ технико-экономического характера по сравнению с централизованным газоснабжением [3], [11], [14]–[16]. Вместе с тем, возрастают затраты в сооружение и эксплуатацию резервуарных установок в расчете на одну газифицируемую квартиру. Следовательно, выбор рациональной схемы газоснабжения потребителей на базе групповых РУ СУГ (централизованные системы газоснабжения) или на базе индивидуальных резервуаров сжиженного газа (децентрализованные системы газоснабжения) требует проведения дополнительных исследований.

Дисконтированные затраты в систему децентрализованного газоснабжения при снабжении потребителей от индивидуальных резервуаров определяются по формуле

$$Z_{\text{СДГС}} = (E + \varphi_{\text{РУ}})(K_{\text{РУ}} + K_{\text{РГ}}) = (E + \varphi_{\text{РУ}})f \left[\Phi_{\text{opt}}, V_{\text{p}}^{\text{opt}}(g_{\text{год}}) \right],$$

где $K_{\text{РУ}}$ – капвложения в подземный индивидуальный резервуар, руб; $K_{\text{РГ}}$ – стоимость редуцирующей головки подземного резервуара, руб; $\varphi_{\text{РУ}}$ – доля годовых отчислений на эксплуатацию подземного резервуара и редуцирующей головки, 1/год.

Для обоснования области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения примем дисконтированные затраты (на одну газифицируемую квартиру) по конкурирующим системам газоснабжения $Z_{\text{СГНП}}^{\min}(q, n_{\text{opt}})$ и $Z_{\text{СДГС}}$

$$Z_{\text{СГНП}}^{\min}(q, n_{\text{opt}}) = Z_{\text{СДГС}},$$

где $Z_{\text{СГНП}}^{\min}$ – минимальные затраты в поселковую систему газоснабжения в условиях централизации с учетом оптимального количества газифицируемых квартир, подключаемых к РУ СУГ (формулы, представленные в табл. 1 с учетом данных табл. 2), руб./(год·кв); $Z_{\text{СДГС}}$ – затраты в систему децентрализованного газоснабжения на базе

индивидуальных резервуаров с естественной регазификацией СУГ, руб./ (год·кв).

Приравнивая затраты по конкурирующим вариантам, определяем критическое значение управляющего параметра $q_{кр}$ (метод «критических точек»), при котором сравниваемые системы газоснабжения экономически равноценны. Искомое значение управляющего параметра $q_{кр}$, чел./га, приведено в табл. 3.

Таблица 3

К определению управляющего параметра целевой функции $q_{кр}$

Тип зданий	Вид застройки населенных пунктов	
	двухрядная	многорядная
с существующим уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами периодического действия	$124,77 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,7}$	$15,8 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,48}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами и отопительными котлами постоянного горения	$12,55 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,44}$	$31,1 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,6}$
с повышенным уровнем тепловой защиты, оборудованные газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами постоянного горения	$31,74 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,56}$	$6,73 \cdot 10^6 Z_{СДГС}^{-2,4}$

Анализ расчетных затрат $Z_{СГНП}^{\min}$ и $Z_{СДГС}$ в области $q < q_{кр}$ и в области $q > q_{кр}$ показывает, что в области $q < q_{кр}$ имеет место соотношение $Z_{СГНП}^{\min} > Z_{СДГС}$, и целесообразно применение децентрализованных систем газоснабжения, а в области $q > q_{кр}$ имеет место соотношение $Z_{СГНП}^{\min} < Z_{СДГС}$, что обуславливает применение централизованных систем газоснабжения.

Выводы

В целях научного обоснования централизованных систем газоснабжения населенных пунктов разработана экономико-математическая модель оптимальной централизации систем газоснабжения на базе подземных резервуарных установок, учитывающая характер застройки населенного пункта, плотность населения на газоснабжаемой территории, технические характеристики зданий, характер и режимы работы газового оборудования. Выявлены зависимости для определения оптимального количества квартир, подключаемых к одной резервуарной установке для формирования оптимальной структуры централизованных систем.

Разработана экономико-математическая модель выбора рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения на базе подземных резервуарных установок при газификации населенного пункта. Установлено, что экономическая целесообразность применения альтернативных вариантов систем газоснабжения обуславливается, главным образом, плотностью населения на газоснабжаемой территории. Децентрализованные системы газоснабжения на базе индивидуальных резервуарных установок с естественной регазификацией СУГ целесообразно применять в области $q < q_{кр}$, а централизованные системы газоснабжения – в области $q > q_{кр}$.

Литература

1. Адская И.Н. Техничко-экономические показатели газоснабжения сельских населенных пунктов на базе природного и сжиженного газов // Использование газа в народном хозяйстве. Саратов: СГТУ, 1967. Вып. 6. С.15–17.
2. Коптелова И.Н., Павлюк Ф.А. Оптимизация систем газоснабжения на базе сжиженного газа // Вторая научно-экономическая конференция. М., 1970.
3. Курицын Б.Н. Системы снабжения сжиженным газом. Саратов: СГТУ, 1988. 196 с.
4. Курицын Б.Н., Иванова Е.В. Децентрализованное снабжение сжиженным газом // Сан-техника, отопление, кондиционирование. 2011. №2(110). С. 56–59.
5. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Кузнецов С.С. К определению эксплуатационных параметров резервуарных установок при комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. Вып. 30(49). С. 216–221.
6. Никитин Н.И. Снабжение сжиженным газом объектов жилищно-коммунального и сельского хозяйства. М.: Стройиздат, 1976. 105 с.
7. Осипова, Н.Н. Выбор схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. Вып. 24(43). С. 97–103.
8. Осипова Н.Н. К выбору оптимальной централизации резервуарных систем снабжения на базе огневых испарителей сжиженного углеводородного газа // Вестник гражданских инженеров. 2011. №1(26). С. 124–128
9. Осипова Н.Н. Системы автономного газоснабжения населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. Вып. 22(41). С. 115–121.
10. Павлюк Ф.А. Методика выбора оптимальных схем снабжения потребителей сжиженным газом // Использование газа в народном хозяйстве. Саратов: Издательство Саратовского института, 1973. Вып. 10. С. 112–121.
11. Рекомендации по определению оптимальных размеров централизации систем снабжения сжиженным газом от резервуарных установок. Саратов: Гипрониигаз, 1984. 60 с.
12. Рекомендации по оптимизации систем снабжения сжиженным газом. Саратов: Оргмашучет, 1972. 33 с.
13. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л.: Недра, 1990. 762 с.
14. Dietrichson W. Wärmeförmedling up mark, vatten och luft // Miljövanling om den gors rätt. 1994. №4. S. 13–20.
15. Geothermal Heat pumps-Ground source Heat pumps // EGECE - European Geothermal Energy Council a.s.b.l. Brussels, 2009. 16 с.
16. Istruzioni d'uso e manutenzione: Serbatoi GPL per installazioni fuori terra. Walter tosto Serbatoi SPA. Belgium, 2013. 90 p.

References

1. Adskaya I.N. Tekhniko-ehkonomicheskie pokazateli gazosnabzheniya sel'skih naselennykh punktov na baze prirodnogo i szhizhennogo gazov [Technical and economic indicators of gas supply to rural settlements based on natural and liquefied gases]. *Ispol'zovanie gaza v narodnom hozyajstve: sb. nauchn. tr. "Giproniigaz"* [Use of gas in the national economy: Sat. Scientific. Tr. Gipronigaz]. Saratov: SGTU, 1967, no. 6, pp.15–17.
2. Koptelova I.N., Pavlyuk F.A. Optimizaciya sistem gazosnabzheniya na baze szhizhennogo gaza [Optimization of gas supply systems based on liquefied gas]. *Vtoraya nauchno-ehkonomicheskaya konferenciya* [The second scientific and economic conference: abstracts of papers]. Moscow, 1970.
3. Kuricyn B.N. *Sistemy snabzheniya szhizhennym gazom* [Supply systems for liquefied gas]. Saratov: SGTU, 1988. 196 p.

4. Kuricyn B.N., Ivanova E.V. Decentralizovannoe snabzhenie szhizhennym gazom [Decentralized supply of liquefied gas]. *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie* [Plumbing, heating, air conditioning], 2011, no. 2(110), pp. 56–59.

5. Kuricyn B.N., Osipova N.N., Kuznecov S.S. K opredeleniyu ehkspluatatsionnykh parametrov rezervuarnykh ustanovok pri kombinirovannoy regazifikatsii szhizhennogo uglevodorodnogo gaza [To the determination of operational parameters of tank units in the combined regasification of liquefied hydrocarbon gas]. *Vestnik Volgogr. Gos. Arhit.-stroit. un-ta* [Bulletin of Volgograd. Gos. Architect-builds. Un-ta], 2013, no. 30(49), pp. 216–221.

6. Nikitin N.I. *Snabzhenie szhizhennym gazom ob"ektov zhilishchno-kommunal'nogo i sel'skogo hozyajstva* [Supply of liquefied gas objects of housing and communal services and agriculture]. Moscow: Strojizdat, 1976. 105 p.

7. Osipova N.N. Vybory skhemno-parametricheskikh reshenij poselkovykh sistem gazosnabzheniya [Choice of circuit-parametrical decisions of settlement systems of gas supply]. *Vestnik Volgogr. Gos. Arhit.-stroit.un-ta* [Bulletin of Volgograd. Gos. Archit.-stroit.un-ta], 2011, no. 24(43), pp. 97–103.

8. Osipova N.N. K vyboru optimal'noy centralizatsii rezervuarnykh sistem snabzheniya na baze ognevnykh ispariteley szhizhennogo uglevodorodnogo gaza [To the choice of optimal centralization of reservoir supply systems on the basis of fire evaporators of liquefied hydrocarbon gas]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2011, no. 1(26), pp. 124–128.

9. Osipova N.N. Sistemy avtonomnogo gazosnabzheniya naselennykh punktov [Systems of autonomous gas supply of settlements]. *Vestnik Volgogr. Gos. Arhit.-stroit.un-ta* [Bulletin of Volgograd. Gos. Archit.-stroit.un-ta], 2011, no. 22(41), pp. 115–121.

10. Pavlyuk F.A. Metodika vybora optimal'nykh skhem snabzheniya potrebiteley szhizhennym gazom [Methodology for choosing optimal schemes for supplying consumers with liquefied gas]. *Is-pol'zovanie gaza v narodnom hozyajstve* [Use of Gas in the National Economy]. Saratov: Iz-vo Sarat. in-ta, 1973, no. 10, pp. 112–121.

11. *Rekomendatsii po opredeleniyu optimal'nykh razmerov centralizatsii sistem snabzheniya szhizhennym gazom ot rezervuarnykh ustanovok* [Recommendations for determining the optimal size of the centralization of supply systems with liquefied gas from storage facilities]. Saratov: Gipronigaz, 1984. 60 p.

12. *Rekomendatsii po optimizatsii sistem snabzheniya szhizhennym gazom* [Recommendations on optimization of supply systems with liquefied gas]. Saratov: Orgmashuchet, 1972. 33 p.

13. Staskevich N.L., Severinec G.N., Vigdorchik D.YA. *Spravochnik po gazosnabzheniyu i is-pol'zovaniyu gaza* [Handbook on gas supply and use of gas]. Leningrad: Nedra, 1990. 762 p.

Осипова Н.Н. Обоснование выбора структуры газораспределительной системы населенного пункта // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №5(80). С. 37–44.

For citation: Osipova N.N. The substantiation of the selection of the structure of the gas distribution system of the human settlement. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 5 (80), pp. 37–44.