

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57

Сулов Д.Ю.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: suslov1687@mail.ru

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ БИОМЕТАНОМ

**Аннотация.** Работа посвящена актуальной проблеме использования альтернативного источника энергии биометана для газоснабжения населенных пунктов. Эффективное применение биометана в системах газоснабжения требует научного обоснования, учитывающего весь комплекс технологических параметров и условий эксплуатации. Для проведения исследований использовались методы графов и параметрической оптимизации из условия минимизации суммарных приведенных затрат в систему газоснабжения. На основе анализа газопотребления муниципальными округами Белгородской области построена графическая зависимость и получено выражение для определения годового газопотребления населением от численности населения. Произведен расчет массы органических отходов и плотности субстратообразования, на основании которого определен потенциал производства биометана по муниципальным округам Белгородской области. Установлено, что потенциальный объем биометана Белгородской области составляет 633194 тыс. м<sup>3</sup>/год или 11 % от общего объема газопотребления. Разработана схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в газовые сети. Установлены оптимальные значения технологических параметров системы газоснабжения биометаном: производительность и радиус действия биометановой установки в зависимости от плотности субстратообразования, протяженность газовой сети для подачи биометана в зависимости от плотности газопотребления.

**Ключевые слова:** газопотребление, система газоснабжения, биометан, биометановая установка, экономические затраты.

**Введение.** Газовая промышленность является одним из важнейших элементов экономики Российской Федерации, от надежной работы которого зависит развитие страны в целом. В настоящее время уровень газификации Российской Федерации природным газом составляет 71,4 %. Газификация городов составляет – 73,7 %, а сельской местности – 64,8 % [1]. При этом первое место по уровню газификации в РФ занимает Белгородская область, уровень газификации составляет 99,8 % [2].

Одним из перспективных направлений развития систем газоснабжения, получившим широкое применение в странах Европы и Северной Америки, является использование биометана [3–6]. Основными задачами при использовании биометана в системах газоснабжения являются вопросы наиболее эффективного размещения биометановых установок с учетом производственной мощности и расположения предприятий – источников отходов, проектирование и увязка газопроводов биометана в схемы газоснабжения населенных пунктов с учетом годового газопотребления [7–9].

Вопросами использования биометана в системах газоснабжения занимаются в основном зарубежные ученые. В работе [10] выполнено теоретическое и экономическое обоснование оптимального расположения биометановых установок в Ирландии в зависимости от расположения источников сельскохозяйственных отходов. В

работе [11] произведена экономическая эффективность производства биометана и подачи его в сети природного газа. Установлено, что биометан примерно на 19 % дороже, чем природный газ. В работе [12] определена технико-экономическая эффективность использования биометана в централизованных системах газоснабжения Великобритании. Авторами разработана оптимизационная модель для оценки применения биометана с учетом экономических и экологических факторов. В работе [13] выполнена технико-экономическая оценка использования хранилищ биометана. Установлено, что технологии хранения биометана позволяют использовать биометан в различных энергетических системах, что делает всю энергосистему более эффективной. В работе [14] на примере установки в центре Италии определена экономическая эффективность подачи биометана в газовые сети и преобразование в транспортное топливо. Определены капитальные и эксплуатационные затраты биогазовой станции. Результаты показали, что удельная себестоимость биометана для подачи в сеть составляет 0,54 €/м<sup>3</sup>, а при использовании в качестве транспортного топлива 0,73 €/м<sup>3</sup>. Работа [15] посвящена технико-экономическому анализу получения биометана в зависимости от размеров биометановой установки. Установлено, что использование биометана в качестве топлива для автотранспорта в совокупности с субсидиями дает большой экономический эффект.

В основу большинства работ по применению биометана положены оптимизационные задачи, однако данные исследования, как правило, имеют частный индивидуальный подход, учитывают инфраструктуру данного региона или страны и не применимы для других условий эксплуатации. Разработкой оптимальных проектных решений в системах газоснабжения занимались отечественные ученые [16–19]. Данные работы посвящены нахождению оптимальных решений в системах газоснабжения природным газом, сжиженным углеводородным и сжиженным природным газами, и не применимы для систем газоснабжения биометаном.

Таким образом, проблема эффективного использования биометана в централизованных системах газоснабжения требует комплексной и системной проработки научно обоснованных технологических и технико-экономических вопросов.

В соответствии с вышеизложенным сформулирована цель работы – теоретическое обоснование применения биометана для газоснабжения населенных пунктов и определение оптимальных технологических параметров системы газоснабжения биометаном.

**Материалы и методы.** Для определения газопотребления использовались реальные данные объема газопотребления Белгородской области за 2020 г. Для определения потенциала выхода биометана использовали статистические данные поголовья скота на территории муниципальных округов Белгородской области, нормы образования органических отходов для разных групп животных и птицы, а также данные по выходу биометана из разных видов отходов. Для разработки

экономико-математической модели системы газоснабжения на основе биометана использовались теория графов, методы математического моделирования и параметрической оптимизации из условия минимизации суммарных приведенных затрат в систему газоснабжения. Для численной реализации экономико-математической модели системы газоснабжения использовалось математическое программное обеспечение Mathcad.

**Основная часть.** Для оценки возможности получения и использования биометана в системах газоснабжения Белгородской области был произведен анализ потребления природного газа и расчет потенциала производства биометана на территории области.

Применение биометана в централизованных системах газоснабжения населенных пунктов ограничивается условием, при котором расход биометана от установки  $Q_{\text{бму}}$ ,  $\text{нм}^3/\text{год}$  не должен превышать расход газа централизованной системой газоснабжения  $Q_{\text{г}}$ ,  $\text{нм}^3/\text{год}$  [20]:

$$Q_{\text{бму}} \leq Q_{\text{г}}. \quad (1)$$

Расход газа системой газоснабжения зависит от численности населения и наличия крупных промышленных предприятий. Так, например, муниципальный округ (МО) с меньшим количеством жителей и наличием крупного градообразующего предприятия может потреблять газа больше, чем больший по числу жителей округ, но не имеющий крупных предприятий.

Для определения зависимости потребления газа от численности населения рассмотрим газопотребление муниципальными округами Белгородской области (рис. 1).

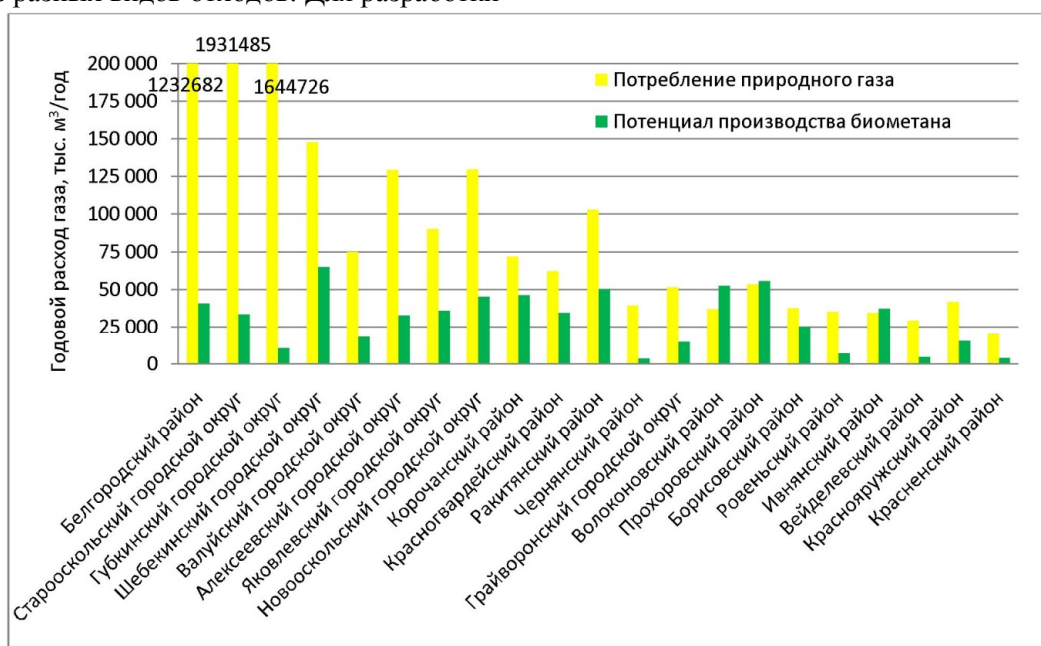


Рис. 1. График потребления природного газа и потенциала производства биометана в муниципальных округах Белгородской области

Из графика видно, что в 3 муниципальных округах (Белгородский р-н, 1232682 тыс. м<sup>3</sup>/год; Старооскольский городской округ, 1931485 тыс. м<sup>3</sup>/год; Губкинский городской округ, 1644726 тыс. м<sup>3</sup>/год) потребление природного газа значительно превышает потребление в остальных муниципальных округах. Это объясняется наличием в данных округах крупных градообразующих предприятий. Также большое потребление природного газа наблюдается в Шебекинском (147804 тыс. м<sup>3</sup>/год), Алексеевском (129350 тыс. м<sup>3</sup>/год), Новооскольском (129931 тыс. м<sup>3</sup>/год) городских округах и Ракитянском районе (103177 тыс. м<sup>3</sup>/год). В остальных округах потребление природного газа прямо пропорционально численности населения. Учитывая, что

промышленные предприятия, потребляющие большое количество газа, расположены в конкретном месте, как правило, возле районного центра, то можно сделать вывод, что расход газа предприятиями не оказывает влияние на плотность газопотребления всего муниципального округа, а влияет только на общее газопотребление округом. Следовательно, для исследования плотности газопотребления в муниципальных округах целесообразно учитывать только объем газа, расходуемый на нужды населения.

На основе данных газопотребления муниципальных округов Белгородской области был построен график зависимости объема потребляемого газа населением в зависимости от численности населения (рис. 2).

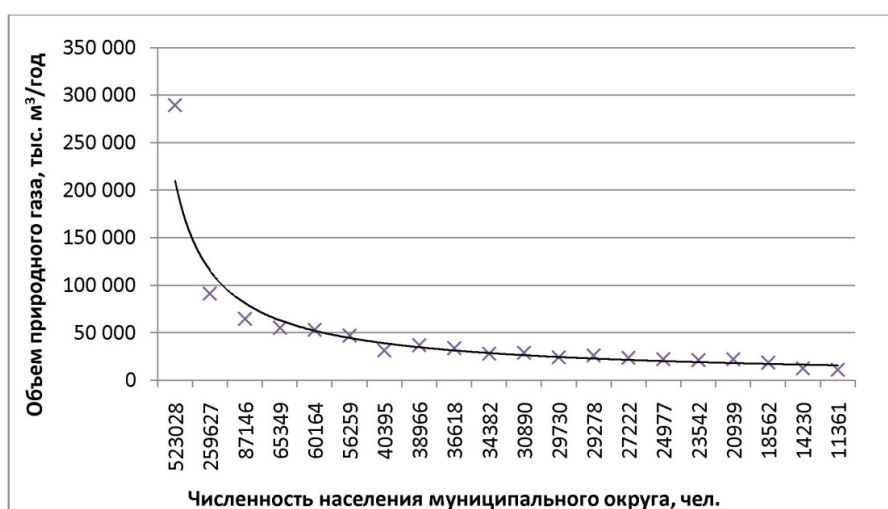


Рис. 2. График зависимости потребления газа населением от численности населения муниципальных округов

В результате аппроксимации графической зависимости (рис. 2) получено выражение для определения объема природного газа, потребляемого населением в зависимости от численности населения, тыс. м<sup>3</sup>/год:

$$V_{MO} = 210313 \cdot n_{\text{нас}}^{-0,864}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{нас}}$  – численность населения муниципального округа, чел.

Полученное выражение позволяет определить объем годового газопотребления муниципальными округами, как Белгородской области, так и других субъектов Российской Федерации, имеющих схожий с Белгородской областью уровень газификации с высокой достоверностью. Корреляция степенной функции составляет 94,25 %.

На территории Белгородской области функционирует большое количество сельскохозяйственных предприятий: свиноводческие и птицеводческие комплексы, предприятия молочного производства и выращивания крупного рогатого

скота (КРС). Произведен расчет массы производства органических отходов и плотности образования субстрата по муниципальным округам Белгородской области (рис. 3).

Из гистограммы (рис. 3) видно, что плотность субстратообразования имеет широкий диапазон и варьируется от 75 т/(год км<sup>2</sup>) в Вейделевском районе до 1355 т/(год км<sup>2</sup>) в Ивнянском районе.

Анализируя потенциал производства биометана (рис. 1) и количество органических отходов (рис. 3), видно, что наибольшее количество биометана можно производить в Шебекинском городском округе (65050 тыс. м<sup>3</sup>/год). Также значительный потенциал производства биометана наблюдается в Прохоровском (55566 тыс. м<sup>3</sup>/год), Волоконовском (52400 тыс. м<sup>3</sup>/год) и Ракитянском (50375 тыс. м<sup>3</sup>/год) районах. Это объясняется наличием на территории данных округов большого количества сельскохозяйственных предприятий. В то же время в некоторых районах

потенциал производства биометана не высок: Ровенский (6959 тыс. м<sup>3</sup>/год), Вейделевский (4715 тыс. м<sup>3</sup>/год), Красненский (4112 тыс. м<sup>3</sup>/год) и Чернянский (3627 тыс. м<sup>3</sup>/год) районы. Это объ-

ясняется малым количеством сельскохозяйственных предприятий ввиду значительной удаленности данных округов от главных автомагистралей области.

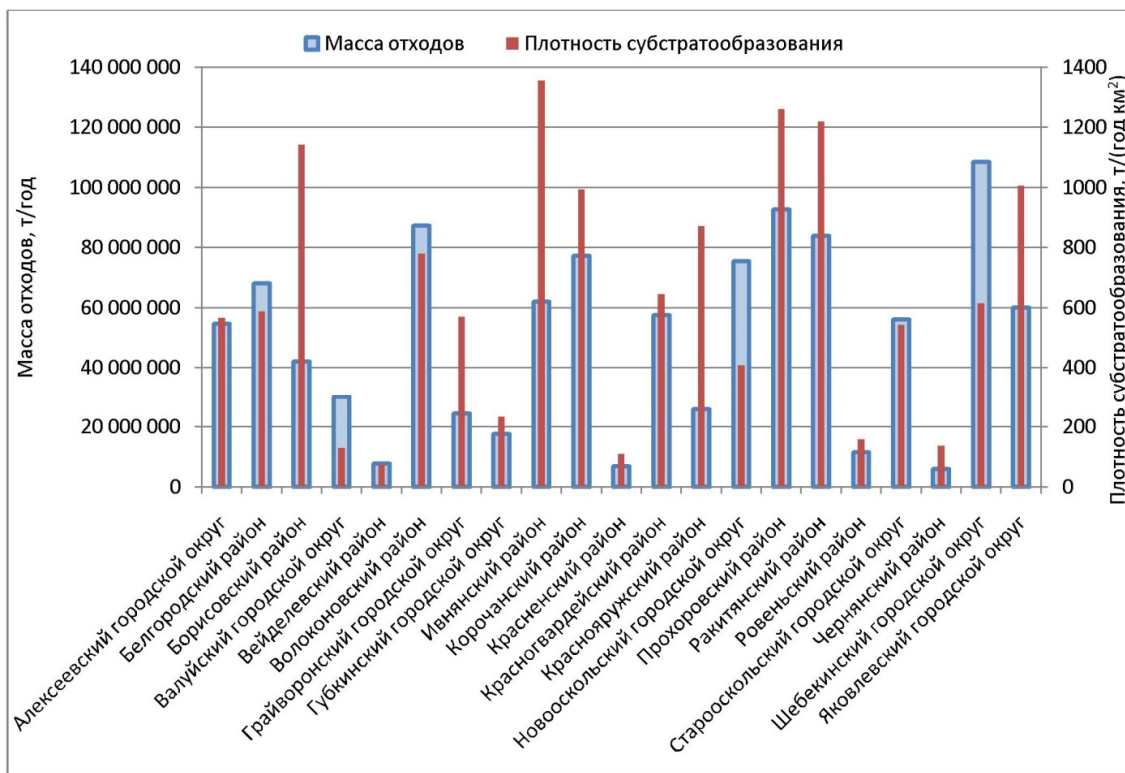


Рис. 3. Гистограмма массы отходов и плотности субстратообразования по муниципальным округам Белгородской области

Произведём сравнение объема потребления природного газа и потенциального объема биометана по муниципальным округам. В большинстве округов потенциальный объем биометана составляет 20-50 % от объема газопотребления. В некоторых сельскохозяйственно развитых округах объем биометана превышает объем газопотребления: Волоконовский (142 %), Ивнянский (108 %) и Прохоровский (104 %) районы. Это позволяет полностью отказаться от поставок природного газа и использовать его как резервное топливо. Однако в 3 муниципальных округах доля биометана не превышает 3 % от газопотребления: Белгородский район (3 %), Губкинский (2 %) и Старооскольский (1 %) городские округа. Необходимо отметить, что потенциальный объем биометана на территории Белгородской области составляет 633194 тыс. м<sup>3</sup>/год или 11 % от объема потребления природного газа.

Автором разработана экономико-математическая модель системы газоснабжения с использованием биометана. В основу модели положена оптимизационная задача минимизации приведенных затрат в систему газоснабжения:

$$Z_{cr} = Z_{бму} + Z_{тс} + Z_{гб} + Z_{сп} = \min, \quad (3)$$

где  $Z_{бму}$  – затраты в биометановую установку, руб;  $Z_{тс}$  – затраты в транспортировку субстрата, руб;  $Z_{гб}$  – затраты в газопроводы биометана, руб;  $Z_{сп}$  – затраты в станцию подачи биометана, руб.

Затраты в биометановую установку определяются затратами в биогазовую установку  $Z_{бгу}$ , руб и станцию очистки  $Z_{со}$ , руб:

$$Z_{бму} = Z_{бгу} + Z_{со} \quad (4)$$

Затраты на транспортировку субстрата определяются расходом топлива, который зависит от объема отходов и расстояния от источника их образования до биометановой установки:

$$Z_{тс} = C_t \cdot Q_t, \quad (5)$$

где  $C_t$  – цена топлива, руб/л;  $Q_t$  – расход топлива на доставку отходов, л/км.

Затраты в газопровод для подачи биометана от биометановой установки до системы газоснабжения определяется суммарной длиной сети и стоимостью ее строительства:

$$Z_{гб} = l_{гб} \cdot K_{уд}, \quad (6)$$

где  $l_{гб}$  – длина газопровода для подачи биометана, м;  $K_{уд}$  – затраты в строительство 1 м газопровода, руб/м.

С помощью разработанной модели произведем расчет оптимальных технологических параметров системы газоснабжения биометаном для условий Белгородской области.

Исходные данные:

- производственная мощность животноводческих и птицеводческих предприятий;
- плотность газопотребления на территории муниципальных округов;
- плотность субстратообразования на территории муниципальных округов.

В качестве допущения примем, что потребители газа и источники субстрата (животноводческие и птицеводческие предприятия) расположены на территории муниципальных округов равномерно.

В результате численной реализации математической модели получен массив данных, на основе которого построен график зависимости удельных приведенных затрат в систему газоснабжения биометаном и протяженности газопровода биометана от радиуса действия биометановой установки (рис. 4). Оптимальным радиусом действия будем считать такое значение, при котором удельные приведенные затраты в систему газоснабжения будут минимальны. Для расчета были приняты средние значения для Белгородской области: плотность субстратообразования  $q_c = 594 \text{ т/км}^2$ , плотность газопотребления  $q_f = 223,621 \text{ тыс. м}^3/\text{км}^2$ .

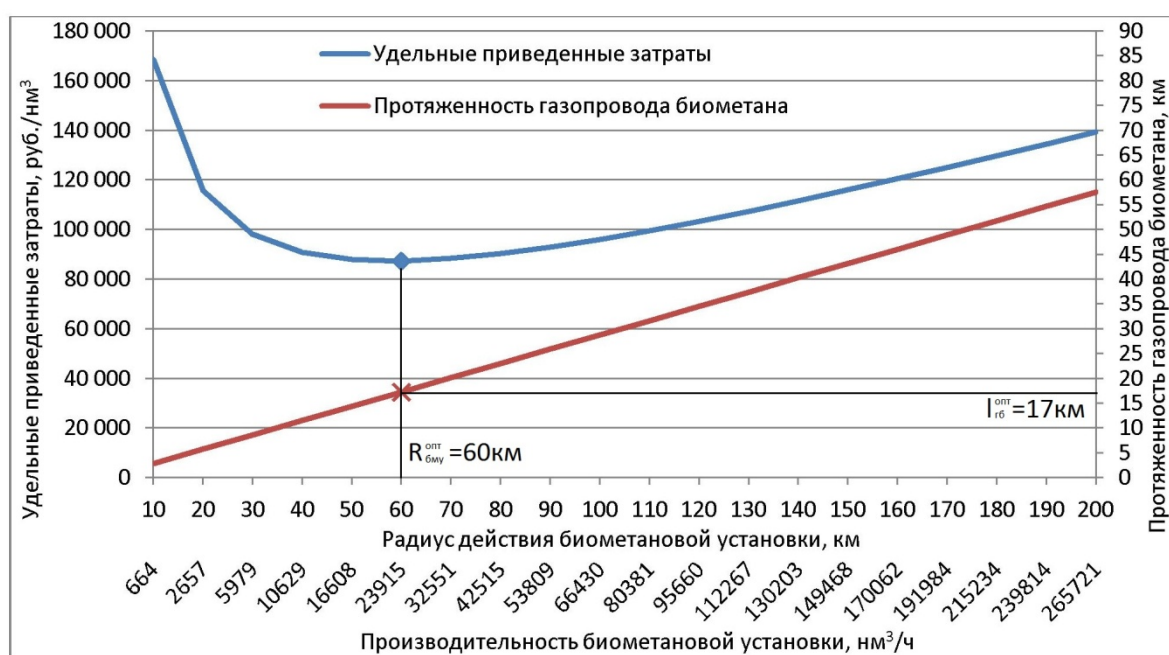


Рис. 4. График зависимости удельных приведенных затрат в систему газоснабжения биометаном и протяженности газопровода биометана от радиуса действия биометановой установки

Анализируя график, можно сделать вывод, что при увеличении производительности биометановой установки с  $664 \text{ нм}^3/\text{ч}$  до  $5979 \text{ нм}^3/\text{ч}$  затраты в систему газоснабжения снижаются с  $168565 \text{ руб./нм}^3$  до  $98218 \text{ руб./нм}^3$  или на  $41,7 \%$ . При дальнейшем увеличении производительности биометановой установки до  $10629 \text{ нм}^3/\text{ч}$  затраты снижаются незначительно до  $90808 \text{ руб./нм}^3$  или еще на  $4,4 \%$ . При дальнейшем увеличении производительности биометановой установки затраты стабилизируются и достигают минимального значения ( $87390 \text{ руб./нм}^3$ ) при производительности  $23915 \text{ нм}^3/\text{ч}$ . Дальнейшее повышение производительности биометановой установки приводит к возрастанию затрат в систему газоснабжения из-за увеличения радиуса дей-

ствия биометановой установки и, соответственно, стоимости доставки исходного субстрата.

Таким образом, при решении оптимизационной задачи установлено (рис. 4), что оптимальный радиус действия биометановой установки составляет  $R_{\text{бму}}^{\text{опт}} = 60 \text{ км}$ , а длина газопровода для подачи биометана  $l_{\text{гб}}^{\text{опт}} = 17 \text{ км}$ . При этом производительность биометановой установки составит  $Q_{\text{бму}} = 23915 \text{ нм}^3/\text{ч}$ .

На основе результатов расчета разработана схема оптимального расположения биометановых установок на территории Белгородской области (рис. 5). Для утилизации органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий предусмотрена установка 3 биометановых установок. Биометановая установка БМУ 1

расположена в западной части области и перерабатывает отходы Грайворонского, Яковлевского и Шебекинского городских округов, а также Белгородского, Ракитянского, Краснояружского, Борисовского, Ивнянского и Прохоровского районов. Биометановая установка БМУ 2 расположена в северной части области и перерабатывает отходы Губкинского, Старооскольского и Новооскольского городских округов, а также Коро-

чанского, Чернянского, Волоконовского и Красненского районов. Биометановая установка БМУ 3 расположена в восточной части области и перерабатывает отходы Валуйского и Алексеевского городских округов, а также Красногвардейского, Вейделевского и Ровеньского районов. При этом биометановая установка БМУ 1 подает биометан в ГРС-2 Майский, биометановая установка БМУ 2 – в ГРС Новый Оскол, а биометановая установка БМУ 3 – в ГРС Вейделевка.

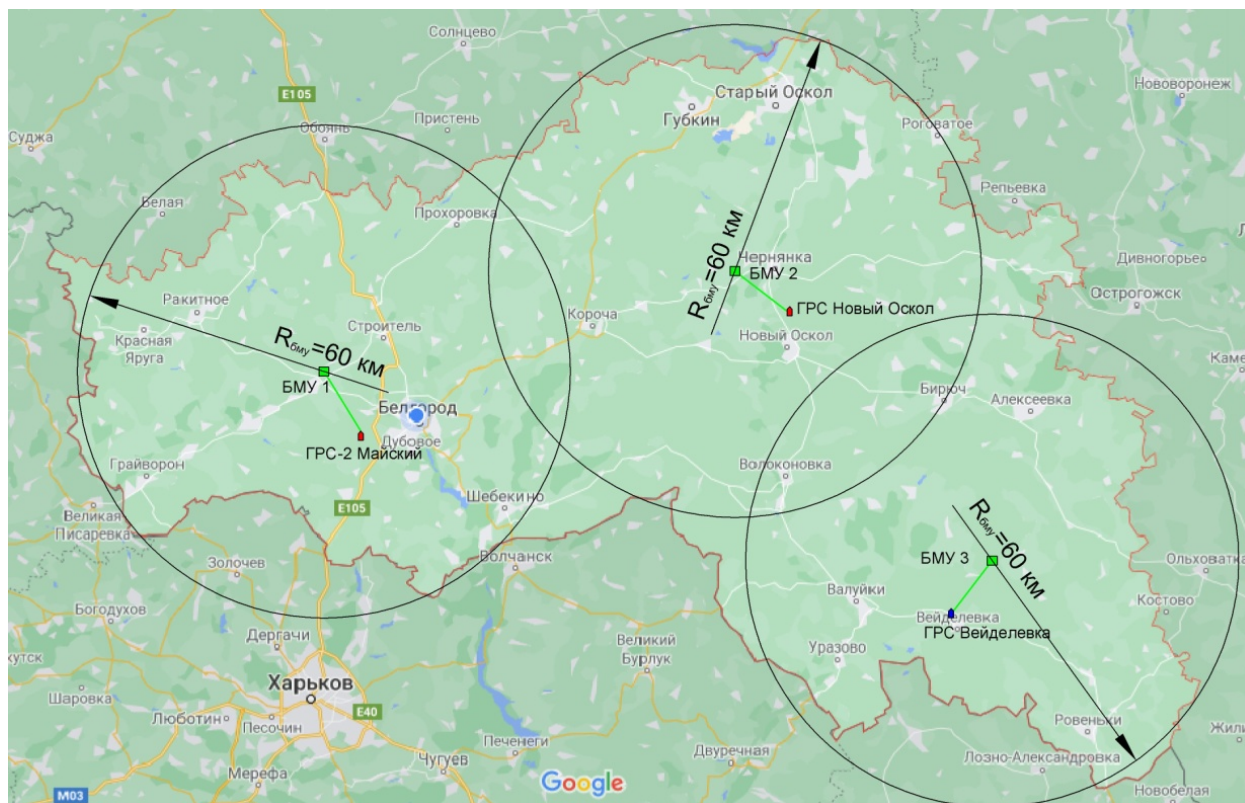


Рис. 5. Схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в системы газоснабжения Белгородской области

**Выводы.** Проведен анализ газопотребления муниципальных округов Белгородской области, на основании которого построена графическая зависимость и получено выражение для определения годового газопотребления населением муниципального округа от численности населения.

Произведен расчет массы органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий, на основании которого определен потенциал производства биометана по муниципальным округам Белгородской области. Установлено, что потенциальный объем биометана Белгородской области составляет 633194 тыс. м<sup>3</sup>/год или 11 % от общего объема газопотребления.

Установлены оптимальные значения технологических параметров системы газоснабжения биометаном: производительность  $Q_{\text{бму}} = 23915$  м<sup>3</sup>/ч и радиус действия биометановой установки

$R_{\text{бму}}^{\text{opt}} = 60$  км, протяженность газовой сети для подачи биометана  $l_{\text{гб}}^{\text{opt}} = 17$  км.

Таким образом, для утилизации органических отходов Белгородской области приняты 3 биометановые установки, разработана схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в системы газоснабжения Белгородской области.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Газификация [Электронный ресурс]. URL <https://www.gazprom.ru/about/production/gasification> (дата обращения: 12.07.2021).
2. Газификация области [Электронный ресурс]. URL <https://belregiongaz.ru/activities/gasification> (дата обращения: 12.07.2021).

3. 2020 European biomethane map Infrastructure for biomethane production [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL [https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE\\_EBA\\_BIO\\_2020\\_A0\\_FULL\\_FINAL.pdf](https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE_EBA_BIO_2020_A0_FULL_FINAL.pdf) (дата обращения: 12.07.2021).
4. 2020 EBA Statistical Report 2018 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL [https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA\\_Statistical-Report-2018\\_AbridedPublic\\_web.pdf](https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA_Statistical-Report-2018_AbridedPublic_web.pdf) (дата обращения: 12.07.2021).
5. Suwansri S., Moran J. C., Aggarangsi P., Tippayawong N., Bunkham A., Rerkkriangkrai P. A biomethane solution for domestic cooking in Thailand // *Energy for Sustainable Development*. 2014. Т. 23. Pp. 68–77.
6. Hoo P. Y., Patrizio P., Leduc S., Hashim H., Kraxner F., Tan S.T., Ho W.S. Optimal Biomethane Injection into Natural Gas Grid – Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Malaysia // *Energy Procedia*. 2017. Т. 105. Pp. 562–569.
7. Repele M., Ramanis M., Bazbauers G. Biomethane Supply Support Policy: System Dynamics Approach // *Energy Procedia*. 2016. Т. 95. Pp. 393–400.
8. Chinnici G., Selvaggi R., D’Amico M., Pecorino B. Assessment of the potential energy supply and biomethane from the anaerobic digestion of agro-food feedstocks in Sicily Renewable and Sustainable // *Energy Reviews*. 2018. Т. 82(1). Pp. 6–13.
9. Weidenaar T.D. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis // *University of Twente*. 2014. 188 p.
10. O’Shea R., Wall D.M., Kilgallon I., Browne J.D., Murphy J.D. Assessing the total theoretical, and financially viable, resource of biomethane for injection to a natural gas network in a region // *Applied Energy*. 2017. Т. 188 Pp. 237–256.
11. Paturska A., Repele M., Bazbauers G. Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure // *Energy Procedia*. 2015. Т. 72 Pp. 71–78.
12. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK // *Chemical Engineering Research and Design*. Т.131. Pp. 193–213.
13. Budzianowski W. M., Brodacka M. Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability // *Energy Conversion and Management*. 2017. Т. 141. Pp. 254–273.
14. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application // *Renewable Energy*. 2017. Т. 102. Pp. 417–432.
15. Cucchiella F., D’Adamo I. Technical and economic analysis of biomethane: A focus on the role of subsidies // *Energy Conversion and Management*. 2016. Т. 119. Pp. 338–351.
16. Ионин, А.А. Газоснабжение: Учебник для ВУЗов. 4-е изд., перераб. И доп. М.: Стройиздат. 1989. 439 с.
17. Табунщиков Ю.А., Прохоров В.И., Брюханов О.Н., Жила В.А., Ключко А.К. Цели и задачи оптимизации сетей газораспределения // *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 73–77.
18. Медведева О.Н. Разработка эффективных газораспределительных систем: дисс... докт. техн. наук. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015. 447 с.
19. Осипова Н.Н. Разработка научных основ совершенствования региональных и поселковых систем снабжения сжиженным газом: дис... докт. техн. наук. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015. 357 с.
20. Suslov D.Y. Application of Biomethane for Gas Supply Within the Settlements // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2018. Т. 1066. 012004.

*Информация об авторах*

**Сулов Денис Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: [suslov1687@mail.ru](mailto:suslov1687@mail.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила 17.07.2021 г.*

© Сулов Д.Ю., 2021

**Suslov D.Y.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: suslov1687@mail.ru

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE USE OF BIOMETHANE IN GAS SUPPLY SYSTEMS**

**Abstract.** The work is devoted to the urgent problem of using an alternative energy source of biomethane for gas supply to settlements. The effective use of biomethane in gas supply systems requires scientific substantiation, considering the entire range of technological parameters and operating conditions. The methods of graphs and parametric optimization are used to minimize the total reduced costs to the gas supply system to carry out the research. Based on the analysis of gas consumption by the municipal districts of the Belgorod region, a graphical dependence is built and an expression is obtained to determine the annual gas consumption by the population on the population size. The calculation of the mass of organic waste and the density of substrate formation is made, on the basis of which the potential for biomethane production in the municipal districts of the Belgorod region is determined. It has been established that the potential volume of biomethane in the Belgorod region is 633194 thousand m<sup>3</sup> / year, or 11% of the total gas consumption. A diagram of the location of biomethane plants and gas pipelines for supplying biomethane to gas networks has been built. The optimal values of the technological parameters of the biomethane gas supply system have been established: the operating range of the biomethane plant depending on the substrate formation density, the length of the gas network for biomethane supply, depending on the gas consumption density.

**Keywords:** gas consumption, gas supply system, biomethane, biomethane plant, economic costs.

**REFERENCES**

1. Gasification [Gazifikaciya]. URL <https://www.gazprom.ru/about/production/gasification>. (rus). (date of treatment: 12.07.2021).
2. Gasification of the region [Gazifikaciya oblasti]. URL <https://belregiongaz.ru/activities/gasification>. (rus). (date of treatment: 12.07.2021).
3. 2020 European biomethane map Infrastructure for biomethane production. AdobeAcrobatReader. URL [https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE\\_EBA\\_BIO\\_2020\\_A0\\_FULL\\_FINAL.pdf](https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE_EBA_BIO_2020_A0_FULL_FINAL.pdf). (date of treatment: 12.07.2021).
4. 2020 EBA Statistical Report 2018. AdobeAcrobatReader. URL [https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA\\_Statistical-Report-2018\\_AbridedPublic\\_web.pdf](https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA_Statistical-Report-2018_AbridedPublic_web.pdf). (date of treatment: 12.07.2021).
5. Suwansri S., Moran J. C., Aggarangsi P., Tippayawong N., Bunkham A., Rerkriangkrai P. A biomethane solution for domestic cooking in Thailand. Energy for Sustainable Development. 2014. Vol. 23. Pp. 68–77.
6. Hoo P.Y., Patrizio P., Leduc S., Hashim H., Kraxner F., Tan S.T., Ho W.S. Optimal Biomethane Injection into Natural Gas Grid – Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Malaysia. Energy Procedia. 2017. Vol. 105. Pp. 562–569.
7. Repele M., Ramanis M., Bazbauers G. Biomethane Supply Support Policy: System Dynamics Approach. Energy Procedia. 2016. Vol. 95. Pp. 393–400.
8. Chinnici G., Selvaggi R., D’Amico M., Pecorino B. Assessment of the potential energy supply and biomethane from the anaerobic digestion of agro-food feedstocks in Sicily Renewable and Sustainable. Energy Reviews. 2018. Vol. 82(1). Pp. 6–13.
9. Weidenaar T.D. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis. University of Twente. 2014. 188 p.
10. O’Shea R., Wall D.M., Kilgallon I., Browne J.D., Murphy J.D. Assessing the total theoretical, and financially viable, resource of biomethane for injection to a natural gas network in a region. Applied Energy. 2017. Vol. 188 Pp. 237–256.
11. Paturska A., Repele M., Bazbauers G. Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure. Energy Procedia. 2015. Vol. 72 Pp. 71–78.
12. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK // Chemical Engineering Research and Design. Vol. 131. Pp. 193–213.
13. Budzianowski W.M., Brodacka M. Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability. Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 141. Pp. 254–273.
14. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application. Renewable Energy. 2017. Vol. 102. Pp. 417–432.
15. Cucchiella F., D’Adamo I. Technical and economic analysis of biomethane: A focus on the role of subsidies. Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 119. Pp. 338–351.



16. Ionin, A.A. Gas supply [Gazosnabzhenie]: Textbook for universities. 4th ed., Rev. and add. M.: Stroyizdat. 1989. 439 p. (rus).

17. Tabunshchikov Yu.A., Prokhorov V.I., Bryukhanov O.N., Zhila V.A., Klochko A.K. Goals and objectives of optimization of gas distribution networks [Celi i zadachi optimizacii setej gazoraspredeleniya]. Vestnik MGSU. 2012. No. 4. Pp. 73–77. (rus).

18. Medvedeva O.N. Development of efficient gas distribution systems [Razrabotka effektivnyh gazoraspredelitel'nyh sistem]: dis ... doc. tech.

sciences. Saratov: SSTU named after Gagarina Yu.A. 2015. 447 p. (rus).

19. Osipova N.N. Development of scientific foundations for improving regional and settlement systems for the supply of liquefied gas [Razrabotka nauchnyh osnov sovershenstvovaniya regional'nyh i poselkovykh sistem snabzheniya szhizhennym gazom]: dis ... doc. tech. sciences. Saratov: SSTU named after Gagarina Yu.A. 2015. 357 c. (rus).

20. Suslov D. Y. Application of Biomethane for Gas Supply Within the Settlements. J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 1066. 012004.

*Information about the authors*

**Suslov, Denis Y.** PhD. E-mail: suslov1687@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 17.07.2021*

**Для цитирования:**

Суслов Д.Ю. Теоретическое обоснование оптимальных параметров систем газоснабжения биометаном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 49–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57

**For citation:**

Suslov D.Y. Theoretical substantiation of the use of biomethane in gas supply systems. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 49–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57