

УДК 662.767.2

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ
КОНЦЕПЦИИ БИОГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**ALTERNATIVE ENERGY: THE MAIN ASPECTS
OF THE CONCEPT OF BIOGAS PRODUCTION**

**Руслан Рустемович Япаев, Кристина Анатольевна Окишева,
Ильдар Рашидович Фасхутдинов, Лилия Алсыновна Насырова,
Рашид Рифович Фасхутдинов**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,
Россия**

**Ruslan R. Yapaev, Kristina A. Okisheva, Ildar R. Faskhutdinov,
Lilia A. Nasyrova, Rashid R. Faskhutdinov**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: seriyjah@gmail.com**

Аннотация. Проведен анализ образования отходов производства и потребления в Российской Федерации. В ходе анализа определены регионы РФ, которые занимают лидирующее положение по объему накопления отходов агропромышленного комплекса. Показана важность использования этого вида отходов в качестве сырья для производства биотоплива – биогаза. Рассмотрены механизмы и условия эффективного метанового брожения. Представлен анализ исследований отечественных и зарубежных ученых в области интенсификации процесса образования биогаза из биоразлагаемых органоминеральных отходов. Установлены оптимальные конструкции биореакторов (метантенков), а также способы снижения тепловых потерь при производстве биогаза. Предложены наиболее эффективные способы обогащения получаемого биогаза. Разработана блок-схема производства

биогаза, которая обеспечивает непрерывный процесс биоразложения отходов производства и потребления с одновременной выработкой тепловой и электрической энергии за счет создаваемой цифровой системы управления процессом.

Abstract. The analysis of production and consumption waste generation in the Russian Federation is carried out. During the analysis, the regions of the Russian Federation that occupy leading positions in terms of the accumulation of waste from the agro-industrial complex are identified. The importance of using this type of waste as a raw material for the production of biofuels – biogas is shown. Mechanisms and conditions of effective methane fermentation are considered. The analysis of the research of domestic and foreign scientists in the field of intensification of the process of biogas formation from biodegradable organomineral waste is presented. Optimal designs of bioreactors (methane tanks) have been established, as well as ways to reduce heat losses during biogas production. The most effective ways of enrichment of the received biogas are proposed. A block diagram of biogas production has been developed, which provides a continuous process of biodegradation of production and consumption waste with simultaneous generation of thermal and electrical energy due to the digital process control system being created.

Ключевые слова: ресурсосбережение, энергосбережение, альтернативная энергетика, биотопливо, биогаз, биоразложение, метантенк, интенсификация биоразложения, твёрдые коммунальные отходы, твёрдые бытовые отходы, обогащение биогаза

Keywords: resource saving, energy saving, alternative energy, biofuels, biogas, biodegradation, methane tank, intensification of biodegradation, solid municipal waste, solid household waste, biogas enrichment.

Жесткие требования, предъявляемые к ресурсо- и энергосбережению в условиях принятой стратегии экономического развития крупных государств, диктуют внедрение ряда мер, касающихся развития альтернативной энергетики как отрасли. Наибольшего внимания требует направление отрасли, в основе которого заложен принцип «безотходности производства». Этот принцип на протяжении последних 20 лет является основополагающим на предприятиях топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Однако до сих пор существуют другие отрасли экономики, в которых вопрос снижения отходообразования является весьма актуальным. Стоит отметить, что по масштабам образования и накопления в одном ряду с отходами производства находятся отходы потребления. Известно, что они также являются основными вторичными материальными ресурсами, и их качественная переработка в товарные продукты значительно снизит как ресурсо-, так и энергопотребление в целом. Именно такой путь выбрали многие экономически развитые зарубежные страны. Так, одним из европейских лидеров по получению тепловой энергии путем сжигания неперерабатываемых твердых коммунальных и бытовых отходов является Швеция, а Китай, наряду с Индией, является мировым лидером по производству биогаза, который по своим товарным характеристикам не уступает природному газу.

Биогаз – это вид биотоплива, который образуется в результате анаэробного разложения органоминеральных отходов, в т.ч. твёрдых коммунальных [1].

В Российской Федерации, согласно данным, представленным Росприроднадзором об образовании, обработке, утилизации отходов производства и потребления за 2019 год, образовано твёрдых коммунальных отходов, в том числе населением, в общем объеме свыше 61 млн т, при этом на утилизацию отправляется только 2,6 млн т отходов [2], а остальное размещается на полигонах захоронения твёрдых коммунальных и бытовых отходов. Таким образом, экономически выгодное

сырье для получения дешевой энергии просто закапывается. Причем в РФ есть регионы, которые по величине производственного потенциала вторичных энергоресурсов в силу географического положения относятся к лидерам. Условное разделение РФ на производственные секторы позволило выявить огромный сельскохозяйственный кластер, который является одним из крупных поставщиков биоразлагаемого органоминерального сырья для производства биотоплива. Анализ [2, 3] показал, что основная доля агропромышленного комплекса РФ сконцентрирована в Центральном федеральном округе (26 %), Приволжском федеральном округе (23 %) и Южном федеральном округе (16 %). Так, согласно данным Росстата за 2015 год, среди субъектов Федерации лидерами по сельхозпроизводству являются Краснодарский край, Ростовская область и Белгородская область [3].

Производство биогаза в данных федеральных округах представляет большой интерес, поскольку здесь образуется около 69 % от всех твердых коммунальных отходов России, при этом только четвертая часть этих отходов перерабатывается [2, 3]. Это свидетельствует о колоссальных потерях вторичного материального сырья, которое возможно использовать для производства различных видов биотоплива.

Метановое брожение органических отходов – неотъемлемая часть процесса получения биогаза. Оно начинается при создании анаэробных условий без специальной микробной инокуляции за счет спонтанно развивающихся микроорганизмов, присутствующих в отходах. Процесс происходит в четыре стадии [4]:

1) стадия гидролиза сложных биополимерных молекул (белков, липидов, полисахаридов и др.) на более простые олиго- и мономеры: аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др.;

2) кислотогенная стадия – образовавшиеся мономеры конвертируются бактериями-бродильщиками в ряд простых соединений: летучие жирные кислоты, спирты, молочную кислоту, метанол, CO_2 , H_2 , NH_3 и H_2S ;

3) ацетогенная стадия – образовавшиеся на предыдущей стадии продукты конвертируются в ацетат, H_2 , CO_2 ;

4) метаногенная стадия – уксусная кислота, H_2 и CO_2 , муравьиная кислота и метанол трансформируются в метан и CO_2 .

Известно, что на процесс биогазообразования значительное влияние оказывает температура. В связи с этим выделяют три основных режима:

- 1) психрофильный (температура варьируется в пределах 10–20 °C);
- 2) мезофильный (25–45 °C);
- 3) термофильный (50–65 °C).

Наиболее благоприятным для максимального выхода биогаза является термофильный режим. Обеспечение постоянного температурного режима биогазообразования возможно только в условиях осуществления сбраживания в специальных устройствах – биореакторах (метантенках).

Метантенк – это герметичная ёмкость, частично погружённая в землю и снабжённая газгольдером – ёмкостью переменного объёма для сбора биогаза. В конструкции метантенков важным является обеспечение тщательного перемешивания гетерогенного содержимого аппарата. Максимальное выделение метана достигается в аппаратах со слабым перемешиванием. При метаногенезе перемешивание должно обеспечивать гомогенизацию, препятствовать образованию твердой плавающей корки и оседанию твердых частиц [5].

Конструктивно различают метантенки с неподвижным затопленным перекрытием, с неподвижным незатопленным перекрытием и с подвижным, или плавающим, перекрытием. Наибольшее распространение получили метантенки с неподвижным незатопленным перекрытием [6, 7].

В таблице 1 приведены конструктивные типы метантенков, их режимы работы, полезные объёмы, давление паров и объёмы выходящего газа.

Таблица 1. Типы метантенков и их характеристики

Table 1. Types of sludge digesters and their characteristics

Тип	Режим работы	Полезный объём, м ³	Давление пара, кПа	Усредненный выход биогаза, м ³ /сут
Метантенки с неподвижным незатопленным перекрытием	Термофильный (50–65 °С)	~6000	3,0–3,5	~5000
Метантенки с неподвижным затопленным перекрытием	Термофильный (50–65 °С)	~8000	3,3–4,1	~7500
Метантенки с подвижным перекрытием	Мезофильный (25–45°С)	—	—	—

Как отмечалось ранее, поддержание температуры на определенном уровне является одним из важнейших факторов непрерывного биогазообразования.

Технически снижение тепловых потерь в биореакторах, как правило, достигается за счет изоляции почвы вокруг заглубленного биореактора. Наиболее экономичный способ предложили авторы [8, 9]: покрыть поверхность почвы слоем асфальта толщиной 2 см в радиусе 5 м вокруг метантенка, при этом доказав, что стационарные тепловые потери в почву были сокращены более чем на 20 %.

В последнее время все чаще предлагается к использованию практика косвенного нагрева с помощью системы трубчатых теплообменников, расположенных внутри или снаружи метантенка. Она бывает нескольких видов [10]:

- система «напольного» отопления;
- система наружных теплообменников;
- система внутрикамерных теплообменников.

Каждая из представленных систем имеет ряд недостатков. Так, система «напольного» отопления эффективна только на протяжении определенного времени в самом начале процесса биоразложения. Это объясняется тем, что образующийся в процессе и накапливающийся на дне метантенка осадок затрудняет процесс теплопередачи внутрь метантенка, что не обеспечивает поддержание постоянной температуры процесса. Система наружных теплообменников, напротив, обеспечивает постоянство температуры внутри биореактора, но весьма энергозатратна, поскольку много тепла расходуется в окружающую среду. Наиболее оптимальной с точки зрения поддержания непрерывности процесса биогазообразования является система внутрикамерных теплообменников. Причем, чем выше суммарная площадь поверхности теплообмена, тем интенсивнее идет процесс. Однако из-за наличия в реакторной зоне метантенка перемешивающих устройств возможно механическое повреждение теплообменников, что может привести к аварийной остановке биореактора.

Для более корректного анализа и удобства в управлении теплообменными процессами при анаэробном сбраживании можно использовать модель, учитывающую источники и поглотители тепла (включая солнечное излучение, почву, внешнее отопление, приток и отток навозной жижи и т.д.). Модель использует метод конечных разностей (один из методов решения дифференциальных уравнений, который основан на замене производных разностными схемами) с фиксированным временным шагом (5 мин) [11].

Модель может использовать подробные данные о погоде, предоставленные пользователем, или встроенное трехпараметрическое синусоидальное приближение на основе максимальной и минимальной средней температуры воздуха за год и самого жаркого дня в году. Применяемая методология позволяет использовать модель с подробными или приблизительными входными данными, что делает её полезной для

принятия решений при практическом управлении метантенками в областях, где доступ к данным ограничен [11].

На выход биогаза и глубину биоразложения значительное влияние оказывает интенсификация процесса. Интенсификация процесса биогазообразования достигается за счет введения в биоразлагаемое сырье различных биодобавок. Авторы [4] доказывают эффективность использования биодобавки при внесении ее в сырье в количестве 5–7 % масс. (рисунок 1).

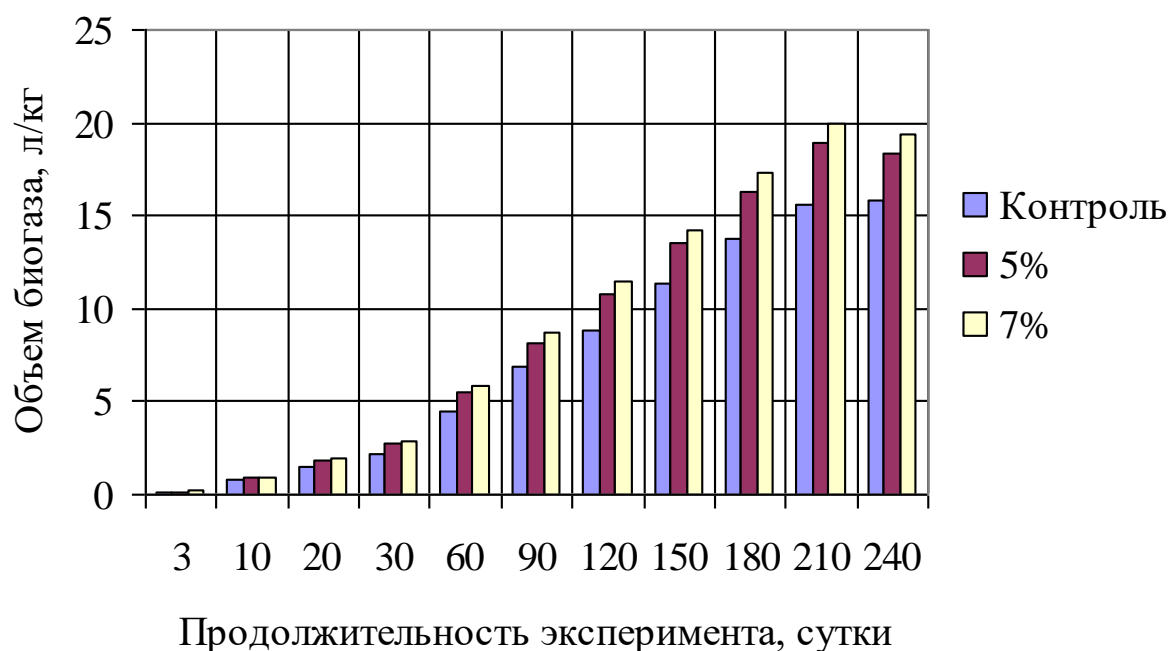


Рисунок 1. Динамика образования биогаза в процессе биоразложения ОТХОДОВ

Figure 1. Dynamics of biogas formation in the process of waste biodegradation

При этом оптимальное соотношение компонентов было установлено экспериментально (таблица 2).

Таблица 2. Компонентный состав биодобавки

Table 2. Component composition of the supplement

Наименование компонента	Содержание, % масс.
Отход производства кормов (пыль комбикормовая)	85–93
Инокулят аборигенной микрофлоры	3–5
N:P:K-комплекс минеральных удобрений	0,1–0,2
Витамины	0,01–0,02
Биопротектор глутамат	1,0 –1,5
Известковая крошка	3–5

Как видно, отход производства кормов (пыль комбикормовая) является формообразующей основой биодобавки и служит носителем аборигенной микрофлоры. Остальные компоненты выполняют следующие функции:

- N:P:K-комплекс минеральных удобрений и витамины – питательный элемент для аборигенной микрофлоры;
- биопротектор глутамат обеспечивает водный и ионный баланс в живых клетках микроорганизмов;
- известковая крошка поддерживает постоянный уровень кислотности среды, близкий к нейтральному.

Очевидно, что использование отхода производства кормов (пыль комбикормовая) и известковой крошки решает также проблему их утилизации. Результаты исследований [4] показывают увеличение скорости биогазообразования в среднем в 1,2 раза.

Внесение инокулята аборигенной микрофлоры в биореактор, как уже показано выше, положительно влияет на скорость процесса биогазообразования. Согласно исследованиям [9], добавление мезофильного (*Enterobacter cloacae*) или термофильного водород-продуцирующего (*Caldicellulosyruptor saccharolyticus*) штамма бактерий в субстрат, состоящий из активного ила очистных сооружений сточных вод,

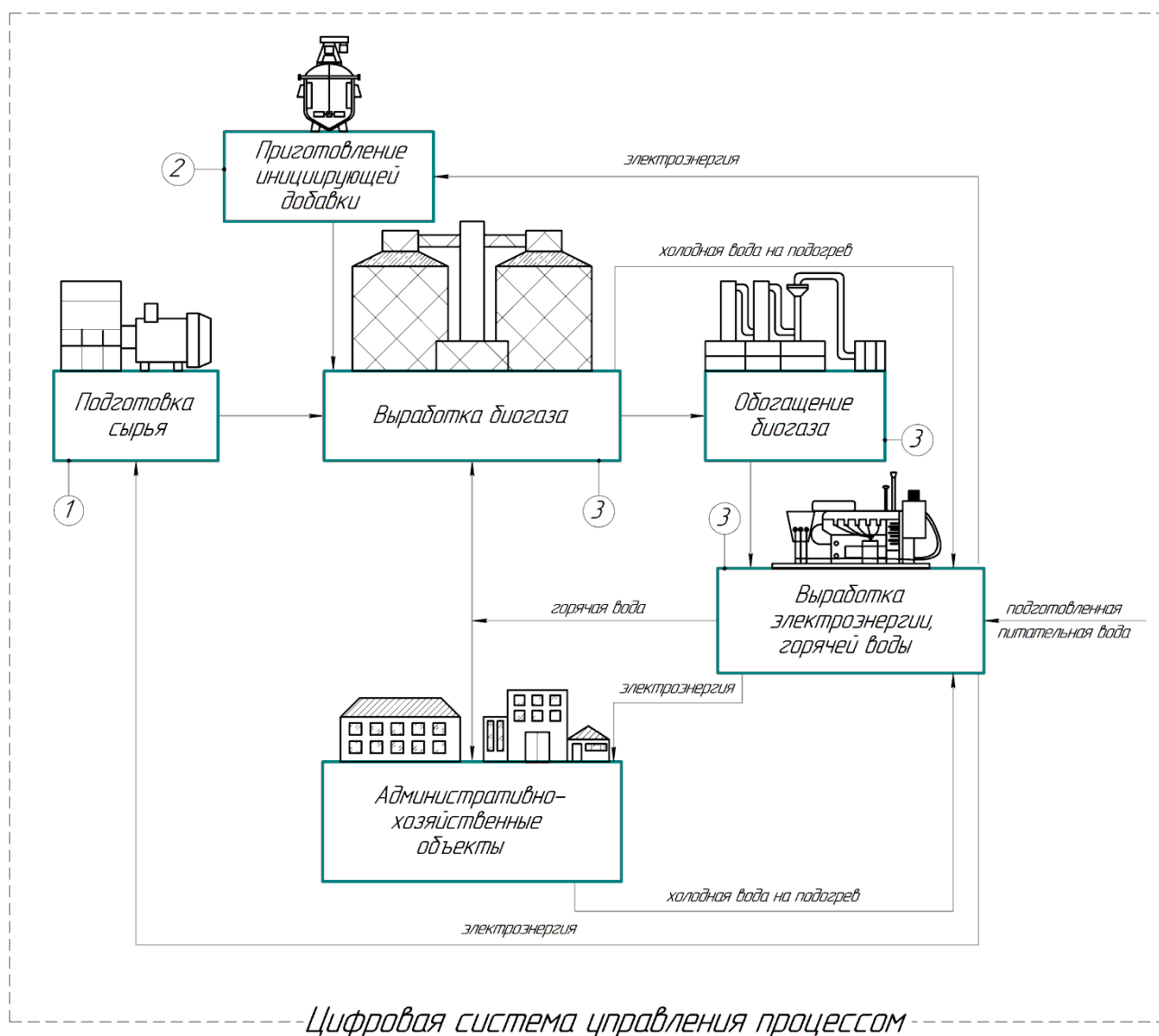
высушенной биомассы растений топинамбура и навоза свиней, интенсифицирует процесс в среднем в 1,6–1,7 раза по сравнению с обычным процессом биоразложения исследуемого субстрата. Важно отметить также, что *C. saccharolyticus* не только является хорошим продуцентом водорода, но и обладает целлюлолитической активностью, следовательно, он подходит для эффективной ферментации биомассы, содержащей целлюлозу.

Все рассмотренные методы интенсификации относятся к физико-химическим и биохимическим. В последнее время все большее внимание обращают на себя исследования, базирующиеся на физических методах. Среди них наиболее интересен метод гидродинамической кавитации. Как утверждают авторы [12], предварительная обработка исходного субстрата (пшеничной соломы) гидродинамической кавитацией привела к увеличению объема образовавшегося биогаза в 2,5 раза, что свидетельствует об интенсификации процесса биоразложения. При этом дополнительная обработка щелочью также способствовала увеличению скорости биоразложения уже в 5,4 раза.

Образующийся биогаз имеет в составе нежелательные примеси (H_2S , CO_2 , водяные пары и др.), которые негативно влияют на его эксплуатационные свойства. В связи с этим необходимо обогащение биогаза с целью доведения его до качества природного газа. Эта цель достигается путем очистки биогаза следующими известными способами [13]:

- абсорбционный;
- адсорбционный;
- метод мембранного разделения;
- криогенный.

Весь процесс производства товарного биогаза схематично представлен на рисунке 2.



- 1 – контроль качества исходного сырья;
2 – контроль качества приготовления иницирующей добавки;
3 – контроль и регулирование технологического режима

Рисунок 2. Блок-схема производства биогаза

Figure 2. Block diagram of biogas production

Вывод

Разработанная блок-схема производства позволяет обеспечить непрерывный процесс биоразложения отходов за счет создаваемой системы цифрового контроля за стадиями процесса, начиная с подачи сырья и заканчивая автоматическим мониторингом химического состава биогаза после обогащения. Согласно схеме, обогащенный биогаз используется

непосредственно на производстве для выработки электроэнергии и горячей воды, которые необходимы для обеспечения административных зданий, а также для обогрева метантенков.

Представленная концепция производства биогаза, которая разработана на основе анализа мирового опыта в области обращения с отходами, а также исследований, проводимых отечественными и зарубежными учеными, решает острую проблему роста накопления отходов и затрагивает один из значимых аспектов альтернативной энергетики – биотопливо.

Список источников

1. Япаев Р.Р., Ахтарьянова Л.М., Окишева К.А., Садреева К.К. Получение биогаза из твёрдых коммунальных отходов на примере города Уфы // Вопросы социализации, воспитания, образования детей и молодёжи: сб. ст. Киров: Веси, 2020. Вып. 19 (2). С. 317-327.

2. Регулирование в сфере обращения с отходами // Росприроднадзор. URL: https://rpn.gov.ru/new_structure/activities/regulation (дата обращения: 10.01.2022).

3. Продукция сельского хозяйства // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b16_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/14-01.doc (дата обращения: 10.01.2022).

4. Шаимова А.М., Насырова Л.А., Ягафарова Г.Г. Утилизация отходов производства и потребления на полигонах твердых бытовых отходов с получением альтернативного источника энергии – свалочного биогаза. Уфа: Изд-во Нефтегазовое дело, 2010. 154 с.

5. Мокринская Г.Л. Метантенки – утилизация отходов с пользой // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2009. № 5. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/metantenki-utilizaciya-othodov-s-pol-zoy> (дата обращения: 15.01.2022).

6. Кевбрина М.В. Опыт использования метантенков, генерации энергии и повышения энергоэффективности МГУП «Мосводоканал» // Энергосовет. 2013. № 1. С. 26-30.

7. Луканин А.В. Инженерная экология: защита литосферы от твердых промышленных и бытовых отходов. М.: ИНФРА-М, 2018. 555 с.
8. Hreiz R., Adouani N., Jannot Y., Pons M.N. Modeling and Simulation of Heat Transfer Phenomena in a Semi-Buried Anaerobic Digester // Chemical Engineering Research and Design. 2017. Vol. 119. P. 101-122. DOI: 10.1016/J.CHERD.2017.01.007.
9. Bagi Z., Acs N., Balint B. Biotechnological Intensification of Biogas Production // Applied Microbiology and Biotechnology. 2007. Vol. 76. P. 473-482. DOI: 10.1007/s00253-007-1009-6.
10. Digester Heating // Energypedia. URL: https://energypedia.info/wiki/Digester_Heating (дата обращения: 15.01.2022).
11. Pedersen S.V., Marti-Herrero J., Sommer S.G., Hafner S.D. New Tool for Improving Management of Biogas Digesters: A Heat Transfer Model for Anaerobic Digestion // RAMIRAN 2015: 16th International Conference. Rural-Urban Symbiosis. Hamburg, Germany. 2015.
12. Patil P.N., Gogate P.R., Csoka L. Intensification of Biogas Production Using Pretreatment Based on Hydrodynamic Cavitation // Ultrasonics Sonochemistry. 2016. Vol. 30. P. 79-86. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.009.
13. Тихонравов В.С. Ресурсосберегающие биотехнологии производства альтернативных видов топлива в животноводстве: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2011. 52 с.

References

1. Yaraev R.R., Akhtaryanova L.M., Okisheva K.A., Sadreeva K.K. Poluchenie biogaza iz tverdykh kommunal'nykh otkhodov na primere goroda Ufy [Obtaining Biogas from Municipal Solid Waste on the Example of the City of Ufa]. *Sbornik statei «Voprosy sotsializatsii, vospitaniya, obrazovaniya detei i molodezhi»* [Collection of Articles «Issues of Socialization, Upbringing, Education of Children and Youth»]. Kirov, Vesi Publ., 2020, Issue 19 (2), pp. 317-327. [in Russian].

2. Regulirovanie v sfere obrashcheniya s otkhodami [Regulation in the Field of Waste Management]. *Rosprirodnadzor*. Available at: https://rpn.gov.ru/new_structure/activities/regulation/ (accessed 10.01.2022). [in Russian].

3. Produktsiya sel'skogo khozyaistva [Agricultural Products]. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki*. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b16_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/14-01.doc (accessed 10.01.2022). [in Russian].

4. Shaimova A.M., Nasyrova L.A., Yagafarova G.G. *Utilizatsiya otkhodov proizvodstva i potrebleniya na poligonakh tverdykh bytovykh otkhodov s polucheniem al'ternativnogo istochnika energii – svalochного biogaza* [Utilization of Production and Consumption Wastes at Municipal Solid Waste Landfills with the Production of an Alternative Energy Source – Landfill Biogas]. Ufa, Neftgazovoe delo Publ., 2010. 154 p. [in Russian].

5. Mokrinskaya G.L. Metantenki – utilizatsiya otkhodov s pol'zoi [Methane Tanks – Waste Disposal with Benefit]. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie – Plumbing, Heating, Air-Conditioning*, 2009, No. 5. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/metantenki-utilizaciya-othodov-s-pol-zoy> (accessed 15.01.2022). [in Russian].

6. Kevbrina M.V. Opyt ispol'zovaniya metantenkov, generatsii energii i povysheniya energoeffektivnosti MGUP «Mosvodokanal» [Experience in the Use of Digesters, Energy Generation and Energy Efficiency Improvement of MGUP Mosvodokanal]. *Energosovet – Energy Council*, 2013, No. 1, pp. 26-30. [in Russian].

7. Lukanin A.V. *Inzhenernaya ekologiya: zashchita litosfery ot tverdykh promyshlennykh i bytovykh otkhodov* [Engineering Ecology: Protection of the Lithosphere from Solid Industrial and Domestic Waste]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018. 555 p. [in Russian].

8. Hreiz R., Adouani N., Jannot Y., Pons M.N. Modeling and Simulation of Heat Transfer Phenomena in a Semi-Buried Anaerobic Digester. *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, Vol. 119, pp. 101-122. DOI: 10.1016/J.CHERD.2017.01.007.

9. Bagi Z., Acs N., Balint B. Biotechnological Intensification of Biogas Production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007, Vol. 76, pp. 473-482. DOI: 10.1007/s00253-007-1009-6.
10. Digester Heating. *Energypedia*. Available at: https://energypedia.info/wiki/Digester_Heating (дата обращения: 15.01.2022).
11. Pedersen S.V., Marti-Herrero J., Sommer S.G., Hafner S.D. New Tool for Improving Management of Biogas Digesters: A Heat Transfer Model for Anaerobic Digestion. *16th International Conference. Rural-Urban Symbiosis «RAMIRAN 2015»*. Hamburg, Germany, 2015.
12. Patil P.N., Gogate P.R., Csoka L. Intensification of Biogas Production Using Pretreatment Based on Hydrodynamic Cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, Vol. 30, pp. 79-86. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.009.
13. Tikhonravov V.S. *Resursosberegayushchie biotekhnologii proizvodstva al'ternativnykh vidov topliva v zhivotnovodstve: nauchnyi analiticheskii obzor* [Resource-Saving Biotechnologies for the Production of Alternative Fuels in Animal Husbandry: a Scientific Analytical Review]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2011. 52 p. [in Russian].

Информация об авторах

Information about the authors

Япаев Руслан Рустемович, магистрант кафедры «Прикладная экология», учебный мастер кафедры «Технология нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Ruslan R. Yapaev, Undergraduate Student of Applied Ecology Department, Educational Master of Oil and Gas Technology Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: seriyjah@gmail.com

Окишева Кристина Анатольевна, студент кафедры «Биохимия и технология микробиологических производств», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Kristina A. Okisheva, Student of Biochemistry and Technology of Microbiological Production Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: kristina.okisheva@gmail.com

Фасхутдинов Ильдар Рашидович, студент кафедры «Технология нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Ildar R. Faskhutdinov, Student of Oil and Gas Technology Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Насырова Лилия Алсыновна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Прикладная экология», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Lilia A. Nasyrova, Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor of Applied Ecology Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: lilian_74@mail.ru

Фасхутдинов Рашид Рифович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Rashid R. Faskhutdinov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Technology Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia