



# European Journal of Renewable Energy

Has been issued since 2016.  
E-ISSN 2454-0870  
2021. 6(1). Issued once a year

## EDITORIAL BOARD

**Volkov Aleksandr** – Sochi State University, Sochi, Russian Federation (Editor in Chief)

**Kharchenko Valeriy** – Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation (Deputy Editor in Chief)

**Avezov Rabbanakul** – Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

**Arveladze Revaz** – Academy of Energy of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Berzan Vladimir** – Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Republic of Moldova, Kishinev, Moldova

**Kose Utku** – Suleyman Demirel University, Turkey

**Kozyrskii Vladimir** – The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

**Marmolejo Jose Antonio** – Panamerican University, Mexico

**Sokolov Sergei** – Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Vasant Pandian** – Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia

**Weber Gerhard-Wilhelm** – Poznan University of Technology, Poland

Journal is indexed by: CrossRef, OAJI

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1717 N Street NW, Suite 1,  
Washington, District of Columbia 20036

Passed for printing 16.12.21.  
Format 21 × 29,7/4.

Website: <https://ejre.cherkasgu.press>  
E-mail: [office@cherkasgu.press](mailto:office@cherkasgu.press)

Headset Georgia.

Founder and Editor: Cherkas Global  
University

Order № 6.

European Journal of Renewable Energy

2021

Is. 1

## CONTENTS

### Articles

|  |    |
|--|----|
| Use of Mathematical Models in the Energy Sphere of Human Activity<br>D.A. Inzhuvatov, A. Kalmamatov .....              | 3  |
| Analysis of the Possibility of Introducing Energy Saving Technologies in Russia<br>D.A. Inzhuvatov, I.A. Krasnov ..... | 9  |
| Problems of Using Renewable Energy Sources for Energy Saving in Production<br>K.D. Ivanov, I.V. Soklakova .....        | 15 |
| Collection and Utilization of Biogas<br>M.S. Mitina .....  | 21 |

Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 European Journal of Renewable Energy  
 Has been issued since 2016.  
 E-ISSN 2454-0870  
 2021. 6(1): 3-8

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.3  
<https://ejre.cherkasgu.press>



## Articles

### Use of Mathematical Models in the Energy Sphere of Human Activity

Danila A. Inzhuvatov <sup>a, b, c</sup>, Ali Kalmamatov <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Academy of Management and Production, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

<sup>c</sup> Mozhaysk Open College, Mozhaisk, Russian Federation

#### Abstract

It is impossible to imagine a modern human society without energy, and the need for it is increasing every year. To meet this need, first of all, it is necessary to conduct research in this area. Conducting such studies will show the current state of energy efficiency in the enterprise. It allows you to analyze the use of energy resources of the enterprise, the cost of them, to detect places of unreasonable use of resources, to develop a program for the implementation of energy-saving events and projects. Since these technologies are complex and expensive, scientists suggest testing new technologies on mathematical models, which is faster and much cheaper. This paper provides a literature review of examples of the use of such models in various energy sectors. On these examples it will be possible to clearly see the relevance of this topic. It is concluded that mathematical modeling of energy facilities has widely penetrated into many branches of the national economy. Moreover, the environment for the software implementation of the developed models varies in a wide range, from the universal MathCad type to specialized software packages. The paper considers only some areas of energy, where this issue is most important, and also summarizes the benefits obtained by using mathematical models.

**Keywords:** mathematical modeling, electric drive, technological unit, heat energy accumulation.

#### 1. Введение

Нужда в легкодоступной энергии всегда существовала в любом обществе. Использование энергии вырастает с развитием человечества. Люди пытаются найти новые источники энергии, которые были бы выгодны во всех отношениях: несложность добычи, общедоступность транспортировки, выполняемость. Уголь и газ переставляется на второй план: их используют исключительно там, где невозможно пользоваться чем-либо другим. Энергетика представляется главным для формирования производственных сил в любом государстве. Вдобавок гарантирует верную работу промышленности, сельского хозяйства, транспорта (Гребнев, Демиденко, 2022).

\* Corresponding author

E-mail addresses: [akalmamatov007@gmail.com](mailto:akalmamatov007@gmail.com) (A. Kalmamatov), [antysalo@yandex.ru](mailto:antysalo@yandex.ru) (D.A. Inzhuvatov)

Поэтому важно на сегодняшний день определить выгодные пути развития энергетики, причем выгодные не только лишь с точки зрения дешевизны топлива, но и с точки зрения сложности конструкций, эксплуатации, дешевизны материалов, необходимых для строительства станции, долговечности станций. Энергетика ворвалась во все сферы деятельности человека: промышленность, сельское хозяйство, науку и космос. Представить без электричества наш быт также невозможно. Главным потребителем электроэнергии остается промышленность, впрочем, ее удельный вес в общем полезном потреблении электроэнергии во всём мире существенно снижается. Электричество в быту представляется главной частью обеспечения комфортной жизни людей (Амирханян и др., 2022; Воронина и др., 2016).

Построение математических моделей должно является важной первоначальной точкой развития программы подъема энергетической эффективности. Следовательно, построение математических моделей и их решение являются важным фактором, необходимым для правильного построения пути развития данной сферы деятельности человека (Шенец, Капанский, 2022; Тенев и др., 2010).

## **2. Обсуждение и результаты**

### **Применение математических моделей в энергетике**

Математические модели в энергетической сфере получили широкое распространение. Особенно стоит обратить внимание на сферу передачи электроэнергии. Так, например, в статье К.А. Магомедова предлагается подход к анализу переходных процессов в нелинейных электрических цепях основанный на применении кусочно-линейных операторов (Магомедов, 2022). Метод, примененный автором, основан на кусочной линеаризации характеристик нелинейных элементов электрических цепей. Он позволяет осуществлять анализ во всей области определения кусочно-линейного оператора без необходимости стыковки решений дифференциальных уравнений на отдельных линейных участках. Результаты численного анализа автор получил, моделируя переходные процессы в нелинейных электрических цепях, применяя для этого классические разностные схемы.

Л.Д. Ибрагимов с соавторами также отмечают актуальность и практическую значимость решения проблемы повышения эффективности распределительных сетей (Ибрагимов и др., 2022). Они предполагают, что эта задача может быть решена на основе использования системного подхода, как определение ресурса эксплуатации по состоянию, диагностики раннего предупреждения на основе применения концепции Smart Grid Plus и радиофотонных датчиков на основе трехкомпонентных адресных волоконных брэгговских структур. Чтобы подтвердить свои предположения, авторы разработали математическую модель работы брэгговского оптического измерительного трансформатора напряжения на основе указанного вида структур.

Труд группы авторов под руководством В.А. Горина (Горин и др., 2022), рассматривая задачу надежного электроснабжения наземных комплексов космических войск, говорит о возрастающей роли систем автономного электроснабжения в обеспечении надежного электроснабжения. Для ее решения в настоящее время активно применяются бесщеточные синхронные генераторы, обладающие рядом преимуществ. Авторы разработали математическую модель бесщеточного синхронного генератора в среде Simulink математического пакета MatLab по уравнениям Парка-Горева. Математическая модель включает модель синхронного генератора и бесщеточного возбудителя. Авторы произвели расчет основных параметров полученной модели, которая позволяет серьезно расширить арсенал средств, используемых при проведении математического моделирования систем электроснабжения, и дает возможность исследования систем автономного электроснабжения и, что особо важно, повысить наглядность получаемых результатов.

Моделирование энергетических сетей не оставило без внимания и сельское хозяйство. Для раскрытия закономерности отказов при работе линейного электропривода зерноочистительной машины, С.В. Фефелова и М.Ф. Туктаров предложили математическую модель, основанную на динамической модели конфигурации состояния деталей и всей установки в целом под воздействием внешних и внутренних факторов (Фефелова, Туктаров, 2022). Предложенная ими модель даёт возможность установить взаимозависимость вероятности работоспособного состояния установки от параметров требуемой функции

оборудования и её составных частей, а также предотвратить отказы и аварийные случаи в работе оборудования и минимизировать их негативные последствия.

Благодаря разработке информационной модели энергосберегающей технологии обогрева пола телятника, предложенной Ы.Д. Осмоновым с соавторами (Осмонов и др., 2022), была создана система согласованного взаимодействия и совместной работы гелиоколлектора и биотермической установки для использования солнечной энергии и тепла разложения свежего навоза для обогрева пола животноводческих помещений во время отопительного периода. Функциональная задача гелиоколлектора решена путем моделирования изменчивости солнечного сияния по данным СНИП 23.02.00 «Строительная климатология Кыргызской Республики». Аналогичная задача биотермической установки решена статистическим моделированием накопления навоза в телятнике за отопительный период.

Для понимания важности моделирования в энергосбережении, обязательно нужно рассмотреть также использование математических моделей на примере крупных объектов, таких как электростанции. Наиболее показательный пример – это применение математических моделей в практике работы волновых электростанций, где они используются для управления режимами работы. В работе А.М. Олейникова и Л.Н. Канова (Олейников, Канов, 2021) рассмотрены основные физические процессы при работе волновой электростанции и математические модели, описывающие работу ряда гидроустановок с однотипными генераторами с возбуждением от постоянных магнитов. В качестве резервного источника авторы используют аккумуляторную батарею, но при этом все источники работают на общую шину постоянного тока, к которой подсоединена нагрузка. Сама нагрузка описывается параллельно соединенными полезной (переменной по времени) и балластной (для сброса излишков мощности) нагрузками. Сама математическая модель состоит из уравнения, описывающего вертикальную гидротурбину барабанного типа с учетом действующих на ее лопасти сил и моментов (зависящих от дополнительных аргументов), а также с учетом динамических параметров волны. Синхронные генераторы описаны уравнениями Парка-Горева во вращающихся ортогональных координатах, при этом не учитываются действия демпфирующих контуров и насыщение магнитной цепи. Упрощенная модель аккумуляторной батареи описывается как последовательное соединение внутреннего сопротивления батареи и источника напряжения, а уравнения механического равновесия установки в целом учитывают вращающий момент гидротурбины и тормозные электромагнитные моменты генераторов энергетической установки.

Авторы реализовали модель в среде MathCad, где рассмотрели совместную работу нескольких установок, работающих в разных условиях волнения водной поверхности. Проведенная верификация показала, что модель достаточно адекватно отражает основные физические процессы и взаимодействия основных элементов при изменении исходных параметров волнения. Снижение этих параметров до определенного уровня приводит к заметному снижению эффективности преобразования. Авторами также показаны некоторые возможности изменения конструкции для увеличения их эффективности.

### 3. Заключение

Подводя итог, можно утверждать, что математическое моделирование энергетических объектов широко проникло во многие отрасли народного хозяйства. В работе рассмотрены лишь некоторые сферы энергетики где этот вопрос наиболее важен, а также обобщены преимущества, получающиеся при использовании математических моделей.

### Литература

Амирханян и др., 2022 – Амирханян А.Г., Амирханян Л.Г., Котровская В.Д. Модель оценки энергетического эффекта в результате перехода на зеленую энергетику // *Наука и бизнес: пути развития*. 2022. № 5(131). С. 304-307.

Воронина и др., 2016 – Воронина В.Э., Пикулин Ю.Г., Инжуватов Д.А. Энергосберегающее освещение: некоторый опыт / *Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11 декабря 2016 года*. Чебоксары: Общество с

ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2016. С. 28-30.

[Горин и др., 2022](#) – Горин В.А., Карагодин В.В., Хомич И.В. Построение и расчет математической модели бесщеточного синхронного генератора для исследования режимов в системах автономного электроснабжения // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2022. № 681. С. 54-63.

[Гребнев, Демиденко, 2022](#) – Гребнев М.С., Демиденко Н.Д. Сокращение традиционных и переход к освоению новых источников энергии // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2022. Т. 1. С. 386-389.

[Ибрагимов и др., 2022](#) – Ибрагимов Л.Д., Нуреев И.И., Мисбахов Р.Ш. и др. Математическая модель и анализ структуры брегговского оптического измерительного трансформатора напряжения // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2022. № 8. С. 76-79.

[Магомедов, 2022](#) – Магомедов К.А. Математические модели для анализа нелинейных электрических цепей // *Заметки ученого*. 2022. № 7. С. 96-104.

[Олейников, Канов, 2021](#) – Олейников А.М., Канов Л.Н. Математическое моделирование режимов работы волновой электростанции // *Интеллектуальная электротехника*. 2021. № 4(16). С. 17-35. DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_4\_17

[Осмонов и др., 2022](#) – Осмонов Ы.Д., Жусубалиева А.Ж., Темирбаева Н.Ы., Ордобаев Б.С. Моделирование энергосберегающей технологии обогрева пола телятника // *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2022. Т. 22. № 8. С. 122-126. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-122-126

[Тенев и др., 2010](#) – Тенев В.А. Губерт А.В., Михайлов Ю.О., Корепанов М.А. Исследование процессов в газовых горелках для бытовых плит // *Химическая физика и мезоскопия*. 2010. Т. 12. № 1. С. 45-53.

[Фефелова, Туктаров, 2022](#) – Фефелова С.В., Туктаров М.Ф. Математическая модель определения закономерности отказов линейного электропривода зерноочистительной машины в период хранения и эксплуатации // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. № 4(96). С. 153-159. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-153-159

[Шенец, Капанский, 2022](#) – Шенец Е.Л., Капанский А.А. Метод распределения условно-постоянной составляющей расхода электрической энергии при построении многофакторных математических моделей электропотребления // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2022. № 2(89). С. 35-42.

## References

[Amirkhanyan i dr., 2022](#) – Amirkhanyan, A.G., Amirkhanyan, L.G., Kotrovskaya, V.D. (2022). Model' otsenki energeticheskogo effekta v rezul'tate perekhoda na zelenuyu energetiku [A model for assessing the energy effect as a result of the transition to green energy]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 5(131): 304-307. [in Russian]

[Fefelova, Tuktarov, 2022](#) – Fefelova, S.V., Tuktarov, M.F. (2022). Matematicheskaya model' opredeleniya zakonmernosti otkazov lineinogo elektroprivoda zernoochistitel'noi mashiny v period khraneniya i ekspluatatsii [Mathematical model for determining the failure patterns of a linear electric drive of a grain cleaning machine during storage and operation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 4(96): 153-159. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-153-159 [in Russian]

[Gorin i dr., 2022](#) – Gorin, V.A., Karagodin, V.V., Khomich, I.V. (2022). Postroenie i raschet matematicheskoi modeli besschetchnogo sinkhronnogo generatora dlya issledovaniya rezhimov v sistemakh avtonomnogo elektrosnabzheniya [Construction and calculation of a mathematical model of a brushless synchronous generator for the study of regimes in autonomous power supply systems]. *Trudy Voенно-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo*. 681: 54-63. [in Russian]

[Grebnev, Demidenko, 2022](#) – Grebnev, M.S., Demidenko, N.D. (2022). Sokrashchenie traditsionnykh i perekhod k osvoeniyu novykh istochnikov energii [Reduction of traditional and transition to the development of new energy sources]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 1: 386-389. [in Russian]

[Ibragimov i dr., 2022](#) – Ibragimov, L.D., Nureev, I.I., Misbakhov, R.Sh. i dr. (2022). Matematicheskaya model' i analiz struktury breggovskogo opticheskogo izmeritel'nogo

transformatora napryazheniya [Mathematical model and analysis of the structure of the Bragg optical measuring voltage transformer]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 8: 76-79. [in Russian]

Magomedov, 2022 – Magomedov, K.A. (2022). Matematicheskie modeli dlya analiza nelineinykh elektricheskikh tsepei [Mathematical models for the analysis of nonlinear electrical circuits]. *Zametki uchenogo*. 7: 96-104. [in Russian]

Oleinikov, Kanov, 2021 – Oleinikov, A.M., Kanov, L.N. (2021). Matematicheskoe modelirovanie rezhimov raboty volnovoi elektrostantsii [Mathematical modeling of operating modes of a wave power plant]. *Intellektual'naya elektrotehnika*. 4(16): 17-35. DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_4\_17 [in Russian]

Osmonov i dr., 2022 – Osmonov, Y.D., Zhusubalieva, A.Zh., Temirbaeva, N.Y., Ordobaev, B.S. (2022). Modelirovanie energosberegayushchei tekhnologii obogreva pola telyatnika [Modeling of energy-saving technology for heating the floor of a calf house]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo universiteta*. 22(8): 122-126. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-122-126 [in Russian]

Shenets, Kapanskii, 2022 – Shenets, E.L., Kapanskii, A.A. (2022). Metod raspredeleniya uslovno-postoyannoi sostavlyayushchei raskhoda elektricheskoi energii pri postroenii mnogofaktornykh matematicheskikh modelei elektropotrebleniya [The method of distribution of the conditionally constant component of the consumption of electrical energy in the construction of multifactorial mathematical models of electrical consumption]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2(89): 35-42. [in Russian]

Tenenev i dr., 2010 – Tenenev, V.A. Gubert, A.V., Mikhailov, Yu.O., Korepanov, M.A. (2010). Issledovanie protsessov v gazovykh gorelkakh dlya bytovykh plit [Investigation of processes in gas burners for national stoves]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 12(1): 45-53. [in Russian]

Voronina i dr., 2016 – Voronina, V.E., Pikulin, Yu.G., Inzhuvatov, D.A. (2016). Energosberegayushchee osveshchenie: nekotoryi opyt [Energy-saving lighting: some experience]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya: Sbornik materialov III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Cheboksary, 11 dekabrya 2016 goda*. Cheboksary: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Tsentr nauchnogo sotrudnichestva "Interaktiv plyus". Pp. 28-30. [in Russian]

## Использование математических моделей в энергетической сфере деятельности человека

Данила Александрович Инжуватов <sup>a, b, c</sup>, Али Калмаматов <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

<sup>b</sup> Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

<sup>c</sup> Можайский открытый колледж, Можайск, Российская Федерация

**Аннотация.** Невозможно представить современное человеческое общество без энергетики, причем потребности в ней увеличиваются с каждым годом. Чтобы удовлетворить эту потребность, в первую очередь, необходимо проводить исследования в этой сфере. Проведение таких исследований покажет текущее состояние энергоэффективности на предприятии. Оно позволяет проанализировать использование энергетических ресурсов предприятия, расходы на них, обнаружить места неразумного использования ресурсов, произвести программу реализации энергосберегающих событий и проектов. Поскольку эти технологии являются сложными и дорогими, ученые предлагают испытывать новые технологии на математических моделях, это быстрее, и гораздо дешевле. В данной работе проводится литературный обзор примеров использования таких моделей в различных отраслях энергетики. На этих примерах можно будет наглядно увидеть актуальность данной

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [akalmamatov007@gmail.com](mailto:akalmamatov007@gmail.com) (А. Калмаматов), [antysalo@yandex.ru](mailto:antysalo@yandex.ru) (Д.А. Инжуватов)

темы. Сделан вывод, что математическое моделирование энергетических объектов широко проникло во многие отрасли народного хозяйства. При чем, среда для программной реализации разработанных моделей, варьируется в широком диапазоне, от универсальных типа MathCad до специализированных программных пакетов. В работе рассмотрены лишь некоторые сферы энергетики, где этот вопрос наиболее важен, а также обобщены преимущества, получающиеся при использовании математических моделей.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, электропривод, технологическая установка, аккумулирование тепловой энергии.



Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA  
European Journal of Renewable Energy  
Has been issued since 2016.  
E-ISSN 2454-0870  
2021. 6(1): 9-14

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.9  
<https://ejre.cherkasgu.press>



## Analysis of the Possibility of Introducing Energy Saving Technologies in Russia

Danila A. Inzhuvatov <sup>a, b, c</sup>, Igor A. Krasnov <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Academy of Management and Production, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

<sup>c</sup> Mozhaysk Open College, Mozhaisk, Russian Federation

### Abstract

Due to the difficult global economic situation, the issue of rational use of energy resources is very acute. Therefore, the possibility of introducing various energy-saving technologies in Russia is a topical issue and requires special attention. As a result of the literature review of various experiences in the implementation of these technologies in the world, a conclusion was made about the feasibility of introducing these methods. At the same time, do not forget about optimization problems. Despite the low profitability of this process, in comparison with the introduction of new technologies, at least partial optimization can achieve decent results, and at the same time, reduce costs, because many technologies are at a relatively low level of development. A good alternative would be a smooth transition to technologies related to renewable energy sources, which, despite the cheapness and availability of fossil resources, continue to develop in the Russian Federation. The experience of introducing resource-saving technologies in different regions of Russia is considered: the use of solar, wind geothermal energy.

**Keywords:** housing and communal services, potential, energy resources, energy-saving lamps, standard fuel.

### 1. Введение

Для того чтобы понять специфику внедрения энергосберегающих технологий, необходимо сначала разобраться с самим термином «энергосберегающие технологии». Из работы О.Т. Абдылдаева и Э.З. Садыковой (Абдылдаев, Садыкова, 2022), можно сделать вывод, что под этим термином подразумеваются нормы, направленные на рациональное и эффективное использование энергетических и топливных ресурсов. Также они реализуются с целью экономии топливной энергии и электроэнергии, топлива, воды, возобновляемых источников энергии.

Стоит отметить, что важным показателем энергосбережения является зависимость годового расхода топливно-энергетических ресурсов к годовому производству продукции. Так в работе А.В. Бальчугова и А.В. Баденикова (Бальчугов, Бадеников, 2022) была получена эта зависимость, исходя из данных крупной нефтяной компании. Ими также было установлено, что динамика изменения расхода топливно-энергетических ресурсов свидетельствует о высокой эффективности внедренных энергосберегающих технологий. Следовательно, особое внимание, при внедрении энергосберегающих технологий, стоит уделить проблемам оптимизации, о чем упоминает И.И. Наумов с соавторами (Наумов и др., 2021).

\* Corresponding author

E-mail addresses: [goga.krasnov.01@list.ru](mailto:goga.krasnov.01@list.ru) (I.A. Krasnov)

Прежде чем, вводить новые технологии, необходимо проанализировать возможности оптимизации текущих технологий и рентабельность этих мероприятий. Вариант полного технического переоснащения (рассмотрен А.А. Карпенко (Карпенко, 2021)), является самым радикальным методом оптимизации затрат в организациях топливно-энергетического комплекса, но он финансово затратен. Реализовать его можно только за счет повышения тарифов, а это, в конечном итоге, ляжет на плечи потребителей. Более оптимальным вариантом представляется энергосбережение (Тененев и др., 2010). Преимущества очевидны: минимальные затраты приведут к снижению потребления и значительной экономической выгоде уже в самом в ближайшем будущем. Отсюда получается невыгодность полной оптимизации производства, и необходимость перехода к энергосбережению.

Одним из самых простых решений задачи энергосбережения – использование технологий, связанных с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Так как ископаемых ресурсов в России предостаточно, для начала необходимо перейти на гибридные системы.

## 2. Обсуждение и результаты

С.Г. Обухов и А. Ибрагим рассказывают о разработанной ими методике и ее программной реализации для решения задачи оптимизации состава оборудования гибридных энергетических систем (Обухов, Ибрагим, 2020). На основе этой методики они провели синтез математической модели, выделив основные компоненты гибридных систем в составе: фотоэлектрическая станция, ветроэнергетическая установка, аккумуляторная батарея и дизель-генераторная установка.

Для условий России наиболее значимой также является гидроэнергетика, так как водные ресурсы России, в сравнении с другими странами, имеют просто гигантские масштабы (Куликова, 2022). Но, как ни странно, «законодатель мод» в области гидроэнергетики является Швеция (Искра, 2021), правительство которой находит разнообразные пути для стимулирования строительства гидроэлектростанций, в том числе относительно небольших. Для мотивирования предпринимателей, чтобы они возводили мини-ГЭС, в Швеции на государственном уровне производится возмещение 15 % стоимости станции, что уже сейчас положительно сказалось на экономике страны. В настоящее время Швеция не только полностью обеспечила себя энергией, получаемой в значительной части от мини-ГЭС, но и поставляет ее на европейский рынок. Этот факт сделал ее крайне привлекательной для иностранных инвестиций. Было бы хорошо перенять этот ценный опыт, ведь на территории РФ кроме крупных, протекает очень много небольших рек. Они вполне могут не только обеспечить электрической энергией потребности имеющихся там хозяйств, но и позволят поставлять электроэнергию в общую энергосистему страны.

В южных регионах РФ палочкой-выручалочкой при решении данного вопроса будет являться солнечная энергетика. Например, при проведении перевода в Крымском регионе уличных светильников с обычных ламп накаливания, на светодиодные от солнечной батареи, обнаружилась высокая стоимость оборудования (Кувшинов и др., 2022), (Воронина и др., 2016). Но эта сумма будет в ближайшем будущем полностью компенсирована за счёт отсутствия затрат на электроэнергию и даже генерацией ее излишков в сеть.

Использование в теплом климате Европы в прибрежных регионах морских плавучих ветрогенераторов, с системами аккумуляции энергии, также является хорошим примером для перенимания этого опыта в России. Преимущество морской ветроэнергетики заключается в отсутствии необходимости отчуждения земли для размещения установок, что является крайне болезненным вопросом, особенно для прибрежных курортных зон. А кроме того, эффективность использования ветра в открытом море намного эффективней из-за отсутствия ветровой тени, характерной для суши, особенно в гористой местности.

Кроме того, плавучие ветроустановки позволяет решить две главные проблемы, сдерживающие их широкомасштабное применение: во-первых, удорожанием стоимости с увеличением глубины моря и во-вторых, неизбежной привязке к прибрежной зоне, где, как правило, идет интенсивное судоходство. Еще одно существенное преимущество получается при совмещении плавучих ветрогенераторов с автономными системами аккумуляции. Это может обеспечить снижение себестоимости всей установки, поскольку не требуется

дублирование генераторов и отпадает необходимость в размещении дополнительных емкостей для хранения сжатого или сжиженного воздуха (Капустянский и др., 2021).

Отличным вариантом также является использование солнечных коллекторов. На основании проведенных исследований И.Ю. Шелеховым с соавторами (Шелехов и др., 2022) было установлено, что даже в условиях Сибири, в весенне-осенний период, солнечные коллекторы дают возможность снизить энергетические затраты на 25-30 %. В зимний период времени их использование, естественно, не целесообразно, зато в летний период, солнечный коллектор настолько перекрывает потребность в горячей воде, что даже создается избыток. По опыту эксплуатации, его нередко приходилось специально укрывать, чтобы снизить температуру приготавливаемой горячей воды. По расчетам авторов этой работы, окупаемости солнечного коллектора составил 5,2 года. И это для условий Сибири, не говоря уже, об использовании ее на юге России.

Для северных регионов страны, самым лучшим вариантом из ВИЭ будет являться использование геотермальных источников энергии. Самый крупный в мире геотермальный проект реализуется в Калифорнии, в Долине больших гейзеров. Ещё один, не самый большой, но эффективный проект осуществляется в Исландии (Корбуш, 2019). Помимо этого, эффективность станции можно существенно повысить применением системы автоматизации (Минцаев и др., 2022), а также получать еще и холод (Цветкова и др., 2022). Из полученных результатов видно, что затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию геотермальной системы обогрева и охлаждения меньше, чем у традиционных источников теплоснабжения и охлаждения.

### 3. Заключение

Таким образом, можно отметить, что не стоит забывать о проблемах оптимизации. Несмотря на низкую рентабельность этого процесса, по сравнению с внедрением новых технологий, произведя хотя бы частичную оптимизации, можно достичь достойных результатов, и при всем при этом, снизить затраты, потому что многие технологии находятся на относительно невысоком уровне развития. Неплохой альтернативой будет плавный переход на технологии, связанные с ВИЭ, которые, несмотря на дешевизну и доступность ископаемых ресурсов, продолжают развиваться в Российской Федерации.

### Литература

Абдылдаев, Садыкова, 2022 – Абдылдаев О.Т. Энергияны үнөмдөө технологиялары жана аны ишке киргизүүдөгү көйгөйлөр // *Вестник Ошского государственного педагогического университета имени А. Мырсабекова*. 2022. № 1-2(19). С. 97-101.

Бальчугов, Бадеников, 2022 – Бальчугов А.В. Годовой расход топливно-энергетических ресурсов как показатель эффективности энергосберегающих технологий // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2022. № 9. С. 7-8.

Воронина и др., 2016 – Воронина В.Э., Пикулин Ю.Г., Инжуватов Д.А. Энергосберегающее освещение: некоторый опыт / *Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11 декабря 2016 года*. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2016. С. 28-30.

Искра, 2021 – Искра Е.С. Проблематика использования возобновляемых источников энергии в Европе // *Журнал исторических, политологических и международных исследований*. 2021. № 3(78). С. 70-76.

Капустянский и др., 2021 – Капустянский, М.С., Новых А.В., Свириденко И.И. Сравнительный анализ способов аккумулирования энергии на морских плавучих ветрогенераторах // *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*. 2021. № 4. С. 150-170. DOI: 10.47404/2619-0605\_2021\_4\_150

Карпенко, 2021 – Карпенко А.А. Направления оптимизации затрат в организациях топливно-энергетического комплекса // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 32. С. 939-947.

**Корбуш, 2019** – Корбуш А.Д. Альтернативная энергетика. Геотермальная энергия // *Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века*. 2019. № 13. С. 171-173.

**Кувшинов и др., 2022** – Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Тиман Д.И. и др. Использование энергосберегающих технологий для системы электрического освещения города на основе фотоэлектрических преобразователей // *Энергетические установки и технологии*. 2022. Т. 8. № 1. С. 78-83.

**Куликова, 2022** – Куликова А.В. Современные регионоведческие справочники, посвященные водным ресурсам России: аннотированный список // *Исторический курьер*. 2022. № 3(23). С. 255-267. DOI: 10.31518/2618-9100-2022-3-18

**Минцаев и др., 2022** – Минцаев М.Ш., Хакимов З.Л., Лабазанов М.А. и др. Автоматизированное управление геотермальной станцией: выбор программных средств на примере Ханкальской геотермальной станции // *Вестник ГНТУ. Технические науки*. 2022. Т. 18. № 1(27). С. 18-28. DOI: 10.34708/GSTOU.2022.58.23.003

**Наумов и др., 2021** – Наумов И.И., Моторин Д.Е., Кочубей А.Л., Кудрявцев И.А. Повышение энергоэффективности и модернизация энергетических систем в России: Энергоэффективность и энергоменеджмент // *Дневник науки*. 2021. № 10(58). DOI: 10.51691/2541-8327\_2021\_10\_5

**Обухов, Ибрагим, 2020** – Обухов С.Г., Ибрагим А. Оптимизация состава оборудования гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2020. Т. 20. № 2. С. 64-76. DOI: 10.14529/power200206

**Тенев и др., 2010** – Тенев В.А., Губерт А.В., Михайлов Ю.О., Корепанов М.А. Исследование процессов в газовых горелках для бытовых плит // *Химическая физика и мезоскопия*. 2010. Т. 12. № 1. С. 45-53.

**Цветкова и др., 2022** – Цветкова Г.В., Аль-Наджар М.А., Нагхави Я. Геотермальная система отопления и охлаждения // *Фундаментальные основы механики*. 2022. № 9. С. 106-112. DOI: 10.26160/2542-0127-2022-9-106-112

**Шелехов и др., 2022** – Шелехов И.Ю., Пахомова Е.С., Гористов И.А. Опыт использования солнечных коллекторов в условиях Сибири // *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 84-1. С. 114-117. DOI: 10.18411/trnio-04-2022-28

## References

**Abdyldaev, Sadykova, 2022** – Abdyldaev, O.T. (2022). Energiyany үнөмдөө технологиялары жана аны ишке киргизүүдөгү көйгөйлөр [Energy saving technologies and problems in their implementation]. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. Myrsabekova*. 1-2(19): 97-101. [in Kyrgyz]

**Bal'chugov, Badenikov, 2022** – Bal'chugov, A.V. (2022). Godovoi raskhod toplivno-energeticheskikh resursov kak pokazatel' effektivnosti energosberegayushchikh tekhnologii [Annual consumption of fuel and energy resources as an indicator of the effectiveness of energy-saving technologies]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress*. 9: 7-8. [in Russian]

**Iskra, 2021** – Iskra, E.S. (2021). Problematika ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii v Evrope [The problem of using renewable energy sources in Europe]. *Zhurnal istoricheskikh, politologicheskikh i mezhdunarodnykh issledovaniy*. 3(78): 70-76. [in Russian]

**Kapustyanskii i dr., 2021** – Kapustyanskii, M.S., Novykh A.V., Sviridenko I.I. (2021). Sravnitel'nyi analiz sposobov akkumulirovaniya energii na morskikh plavuchikh vetrogeneratorakh [Comparative analysis of energy storage methods on offshore floating wind generators]. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 4: 150-170. DOI: 10.47404/2619-0605\_2021\_4\_150 [in Russian]

**Karpenko, 2021** – Karpenko, A.A. (2021). Napravleniya optimizatsii zatrat v organizatsiyakh toplivno-energeticheskogo kompleksa [Directions of cost optimization in organizations of the fuel and energy complex]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 32: 939-947. [in Russian]

[Korbush, 2019](#) – *Korbush, A.D.* (2019). Al'ternativnaya energetika. Geotermal'naya energiya [Alternative energy. Geothermal energy]. *Nauchno-obrazovatel'nyi potentsial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka*. 13: 171-173. [in Russian]

[Kulikova, 2022](#) – *Kulikova, A.V.* (2022). Sovremennye regionovedcheskie spravochniki, posvyashchennye vodnym resursam Rossii: annotirovannyi spisok [Modern regional reference books dedicated to the water resources of Russia: an annotated list]. *Istoricheskii kur'er*. 3(23): 255-267. DOI: 10.31518/2618-9100-2022-3-18 [in Russian]

[Kuvshinov i dr., 2022](#) – *Kuvshinov, V.V., Kakushina, E.G., Timan, D.I. i dr.* (2022). Ispol'zovanie energosberegayushchikh tekhnologii dlya sistemy elektricheskogo osveshcheniya goroda na osnove fotoelektricheskikh preobrazovatelei [The use of energy-saving technologies for the electric lighting system of the city based on photoelectric converters]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 8(1): 78-83. [in Russian]

[Mintshev i dr., 2022](#) – *Mintshev, M.Sh., Khakimov, Z.L., Labazanov, M.A. i dr.* (2022). Avtomatizirovannoe upravlenie geotermal'noi stantsiei: vybor programmnykh sredstv na primere Khankal'skoi geotermal'noi stantsii [Automated control of a geothermal station: the choice of software tools on the example of the Khankala geothermal station]. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. T. 18. № 1(27): 18-28. DOI: 10.34708/GSTOU.2022.58.23.003 [in Russian]

[Naumov i dr., 2021](#) – *Naumov I.I., Motorin D.E., Kochubei A.L., Kudryavtsev I.A.* (2021). Povyshenie energoeffektivnosti i modernizatsiya energeticheskikh sistem v Rossii: Energoeffektivnost' i energomenedzhment [Improving Energy Efficiency and Modernizing Energy Systems in Russia: Energy Efficiency and Energy Management]. *Dnevnik nauki*. 10(58). DOI: 10.51691/2541-8327\_2021\_10\_5 [in Russian]

[Obukhov, Ibragim, 2020](#) – *Obukhov, S.G., Ibragim, A.* (2020). Optimizatsiya sostava oborudovaniya gibridnykh energeticheskikh sistem s vozobnovlyaemymi istochnikami energii [Optimization of the equipment composition of hybrid energy systems with renewable energy sources]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*. 20(2): 64-76. DOI: 10.14529/power200206 [in Russian]

[Shelekhov i dr., 2022](#) – *Shelekhov, I.Yu., Pakhomova, E.S., Goristov, I.A.* (2022). Opyt ispol'zovaniya solnechnykh kollektorov v usloviyakh Sibiri [Experience in the use of solar collectors in Siberia]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 84-1: 14-117. DOI: 10.18411/trnio-04-2022-28 [in Russian]

[Tenenev i dr., 2010](#) – *Tenenev, V.A., Gubert, A.V., Mikhailov, Yu.O., Korepanov, M.A.* (2010). Issledovanie protsessov v gazovykh gorelkakh dlya bytovykh plit [Investigation of processes in gas burners for domestic stoves]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 12(1): 45-53. [in Russian]

[Tsvetkova i dr., 2022](#) – *Tsvetkova, G.V., Al'-Nadzhar, M.A., Nagkhavi, Ya.* (2022). Geotermal'naya sistema otopleniya i okhlazhdeniya [Geothermal heating and cooling system]. *Fundamental'nye osnovy mekhaniki*. 9: 106-112. DOI: 10.26160/2542-0127-2022-9-106-112 [in Russian]

[Voronina i dr., 2016](#) – *Voronina, V.E., Pikulin, Yu.G., Inzhuvatov, D.A.* (2016). Energosberegayushchee osveshchenie: nekotoryi opyt [Energy-saving lighting: some experience]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya: Sbornik materialov III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Cheboksary, 11 dekabrya 2016 goda*. Cheboksary: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Tsentral'noye nauchnoye sotrudnichestvo "Interaktiv plus". Pp. 28-30. [in Russian]

## Анализ возможности внедрения энергосберегающих технологий в России

Данила Александрович Инжуватов <sup>a, b, c</sup>, Игорь Александрович Краснов <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

<sup>b</sup> Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

<sup>c</sup> Можайский открытый колледж, Можайск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [goga.krasnov.01@list.ru](mailto:goga.krasnov.01@list.ru) (И.А. Краснов)

**Аннотация.** В связи со сложной общемировой экономической ситуацией, вопрос о рациональном использовании энергоресурсов стоит очень остро. Следовательно, возможность внедрения различных энергосберегающих технологий в России является актуальным вопросом и требует к себе особого внимания. В результате проведенного литературного обзора различного опыта внедрения данных технологий в мире, сделан вывод о целесообразности внедрения этих методов. При этом, не стоит забывать о проблемах оптимизации. Несмотря на низкую рентабельность этого процесса, по сравнению с внедрением новых технологий, произведя хотя бы частичную оптимизации, можно достичь достойных результатов, и при всем при этом, снизить затраты, потому что многие технологии находятся на относительно невысоком уровне развития. Неплохой альтернативой будет плавный переход на технологии, связанные с возобновляемыми источниками энергии, которые, несмотря на дешевизну и доступность ископаемых ресурсов, продолжают развиваться в Российской Федерации. Рассмотрен опыт внедрения ресурсосберегающих технологий в разных регионах России: использование солнечной, ветряной геотермальной энергии.

**Ключевые слова:** ЖКХ, потенциал, энергетические ресурсы, энергосберегающие лампы, условное топливо.

Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA  
European Journal of Renewable Energy  
Has been issued since 2016.  
E-ISSN 2454-0870  
2021. 6(1): 15-20

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.15  
<https://ejre.cherkasgu.press>



## Problems of Using Renewable Energy Sources for Energy Saving in Production

Kirill D. Ivanov <sup>a,\*</sup>, Irina V. Soklakova <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation

<sup>b</sup> Academy of Management and Production, Russian Federation

### Abstract

The article discusses the problems of using renewable energy sources. The advantages and disadvantages of different types of energy are studied, the effects on the environment are compared, and the characteristics of each type are analyzed. The possibility and prospects of using industrial buildings remote from the grid for power supply and in case of problems with electricity are being investigated. In practice, many types of autonomous power systems are used, each of which has its own advantages and disadvantages. The choice of the best option may depend on the future location of the installation, the climate in a particular region, and other important factors. You should also pay attention to the cost of equipment, components and periodic maintenance. In any case, autonomous power supply is an opportunity to avoid dependence on the central network, saving on electricity bills.

**Keywords:** renewable energy sources, nuclear power plants, wind farms, solar power plants, carbon-free energy.

### 1. Введение

Последние десятилетия на фоне новостей о «глобальном потеплении» и сокращения запасов углеводородов в развитых странах активно развивается энергетика, основанная на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

### 2. Обсуждение и результаты

#### Возобновляемые источники энергии

Существуют следующие альтернативные источники энергии: солнечная энергия, энергия ветра и геотермальная энергия. У каждого из них есть как свои преимущества, так и недостатки.

К плюсам солнечной энергии можно отнести ее неисчерпаемость, бесшумность и отсутствие вредных выбросов в атмосферу. К минусам – зависимость от светового дня, большая площадь солнечных батарей и ядовитые и токсичные вещества, используемые для производства таких батарей, т.е. в итоге проблема с их утилизацией.

Энергия ветра хороша тем, что ее производство абсолютно экологично и неиссякаемо. Недостаток такого вида энергии в шуме, производимом ветряной станцией и зависимости от силы ветра да и вообще от его наличия.

Что касается геотермальной энергии, то ее добыча не зависит ни от времени суток, ни от поры года. Но есть существенный минус в том, что отработанные насыщенные

\* Corresponding author

E-mail addresses: [irinasok2011@yandex.ru](mailto:irinasok2011@yandex.ru) (K.D. Ivanov), [irinasok2011@yandex.ru](mailto:irinasok2011@yandex.ru) (I.V. Soklakova)

токсическими веществами термальные воды нужно закачивать обратно под землю, что влечет за собой существенные неудобства и затраты.

При этом наиболее экологически чистым источником электроэнергии считаются малые гидроэлектростанции, атомные электростанции, волновые станции, солнечные станции, приливные станции.

Ветряные фермы не так уж и экологичны. Им не требуется энергия для своей работы, но они вызывают гибель многих животных, особенно птиц и летучих мышей (Кузьмин, 2019).

В этом плане солнечные электростанции намного безопаснее, особенно если это не огромные поля, сплошь загроможденные панелями, а «малая энергетика», когда панели устанавливаются на крышах и стенах зданий (Иванов, 2021). Размещение их просто на земле, когда они занимают много гектаров, также не лучшим образом сказывается на флоре этой местности.

Атомные электростанции, особенно после Чернобыля и Фукусимы, воспринимаются многими как адские дьяволы, особенно зеленые, обычно их выключают и склонны переключаться на гораздо более вредное тепло, но при правильном проектировании и производственной дисциплине это намного безопаснее, чем любая другая тепловая установка. Единственная опасность – это радиоактивные отходы, но при строгом соблюдении всех требований безопасности воздействие на окружающую среду минимально. Кроме того, технологии переработки являются непрерывными, и ториевые станции (вместо традиционных урановых на  $U_{235}$ ) в этом отношении намного лучше (Аругтонов, 2019).

А вот волновые и приливные станции – наиболее экологически чистые варианты, но также могут быть проблемы с рыбой и другими животными, живущими в реке (Комплексная..., 2018).

### **Проблемы применения ВИЭ на производстве**

Несмотря на свои недостатки, солнечная энергия является самой быстрорастущей отраслью альтернативной энергетики, и сегодня на ее долю приходится около 1 % энергии. Тем не менее, по оценкам Международного энергетического агентства, к 2050 году солнечная энергия обеспечит порядка 20-25% мировой энергии.

Производство солнечных батарей представляет собой энергоемкий процесс. На современном этапе большая часть энергии, которая используется с целью производства солнечных панелей, поступает из ископаемого топлива, поэтому даже производство этих экологически чистых продуктов способствует загрязнению окружающей среды и дальнейшему развитию глобального потепления (Borshova et al., 2018).

Около 600 кВт·ч энергии используется для производства каждого квадратного метра солнечных панелей, чего достаточно, чтобы зажечь 1000 ламп накаливания мощностью 60 Вт в течение десяти часов. В средней энергосистеме используются две или три панели, каждая размером около 2 м<sup>2</sup>. При установке в удачном месте солнечная панель может производить до 200 кВт·ч электроэнергии на м<sup>2</sup> в год. Таким образом, энергия, затраченная на изготовление панели, компенсируется только через несколько лет эксплуатации (Gorlov et al., 2019).

Сырьем для производства солнечных элементов выступает трихлорсилан – это токсичный и взрывоопасный продукт. Когда он перегоняется и восстанавливается водородом, получают чистый кремний. Соляная кислота является побочным продуктом этой стадии производства. Затем кремний плавится и получают слитки, из которых изготавливают элементы для солнечных панелей (Марченко, 2018).

Производство солнечных батарей требует использования многих опасных химикатов. Яды, такие как мышьяк, хром и ртуть, также являются побочными продуктами производственного процесса. Эти химические вещества могут нанести серьезный ущерб окружающей среде при неправильной утилизации. Утилизация вредных солнечных элементов должна контролироваться специалистами по утилизации (Коробко и др., 2021).

Если будет соблюдена технология улавливания и очистки токсичных газов и жидкостей, производство станет безвредным, но часто, особенно в развивающихся странах, это оборудование не устанавливают на предприятиях, из-за чего происходит загрязнение окружающей среды.



Энергия, используемая для производства солнечных панелей – не единственный источник энергии. Также необходимо учитывать энергию, используемую для их транспортировки, особенно если панели импортируются из другой части мира. Утилизация солнечных панелей – большая проблема. Многие из материалов, из которых они сделаны, трудно перерабатывать, а сам процесс переработки требует много энергии (Некрасов, 2018).

Солнечные электростанции требуют больших площадей земли для выработки значительного количества электроэнергии. В некоторых местах, например в штате Калифорния, есть пустыни с большим количеством места и солнечным светом, но эти районы также являются естественной средой обитания, поддерживающей дикую природу. Например, экологические отчеты не смогли оценить количество пустынных черепах, перемещенных солнечной электростанцией Иванапа в пустыне Мохаве в Калифорнии. За той же солнечной электростанцией также пристально наблюдали, когда в ее районе увеличилась смертность птиц. Их крылья были оплавлены или обожжены жаром зеркал в солнечном парке.

Воздействие солнечных электростанций на отдельные виды может в конечном итоге повлиять на все экосистемы. Например, такие животные, как совы, роющие норы в пустыне Мохаве в Калифорнии, укрываются в норах, вырытых пустынными черепахами. Когда солнечные электростанции разрушают или уничтожают виды в определенной среде обитания, они также устраняют ценные факторы экосистемы, которые они обеспечивают среде обитания. Среда обитания становится все менее подходящей для диких растений и животных, которые адаптировались к ее специфическим условиям.

Споры по поводу солнечного проекта вызвали споры среди защитников окружающей среды. Развитие возобновляемых источников энергии и сокращение выбросов парниковых газов являются важными целями для многих экологов, но следует также уважать принцип сохранения среды обитания и разнообразия видов. Эти позиции представляют собой веские экологические аргументы за и против солнечных электростанций. Возможно, на эту проблему не существует идеального ответа, но важно включить в обсуждение обе точки зрения, чтобы найти разумные решения (Марченко, 2018).

Немногие страны, операторы и сама отрасль еще не полностью справились с долгосрочными последствиями того, как утилизировать эти системы, которые имеют свои собственные опасности для окружающей среды, такие как токсичные металлы, масло, стекловолокно и другие материалы.

Кроме того, можно рассчитывать на то, что компании, разбогатевшие за счет солнечной и ветровой энергии, будут делать все возможное для защиты окружающей среды. Многие лидеры отрасли не являются защитниками окружающей среды – они просто знают неиспользованный рынок и разумный финансовый ход, когда видят его. Частные лица, владеющие солнечными панелями, также будут частью проблемы, если переработка не станет доступной по цене и должным образом стимулирована для среднего потребителя (Коробко и др., 2021).

Агентство по охране окружающей среды (EPA) прогнозировало, что к 2050 г. мир будет иметь огромное количество фотоэлектрических отходов; только у США будет 10 тонн, а у Китая вдвое больше.

Вторичная переработка является важным элементом нашего будущего не только для таких потребительских товаров, как бумага и пластик (Коробко и др., 2021), но и для постоянно расширяющегося сектора возобновляемых источников энергии. Без стратегии управления их утилизацией так называемые зеленые технологии, такие как солнечные панели, аккумуляторы электромобилей и ветряные мельницы, в конечном итоге создадут такое же непреднамеренное бремя для нашей планеты и экономики, что и традиционные товары (Кузьмин, 2019).

Срок службы большинства солнечных панелей составляет около 30 лет, очевидно, что количество отходов солнечных панелей превышает возможности по переработке. Поэтому необходимо использовать различные инновации для продления срока службы и снижения отходов (Сурат и др., 2021).

Рост количества солнечных отходов уже ограничивает возможности по переработке и утилизации, некоторые панели неправильно попадают на муниципальные свалки или

отправляются на склады, в то время как продолжается ожидание более недорогих способов утилизации.

Несмотря на эти тревожные тенденции, есть много оснований для надежды на то, что к 2050 г. будет гораздо более совершенная инфраструктура для переработки растущего количества отходов возобновляемой энергии. В то время как новый документ ЕРА вызывает чрезвычайно серьезную озабоченность по поводу потенциальных негативных внешних воздействий на окружающую среду возобновляемой энергетики, он также показывает, что и ученые, и политики хорошо осведомлены о проблемах и о том, что необходимо сделать для их решения. Сообщения о том, что возобновляемые источники энергии будут не лучше для мира, чем ископаемое топливо, можно легко отвергнуть как паникерские и мальтузианские.

Хотя у возобновляемых источников энергии есть свои экологические недостатки, они остаются абсолютной необходимостью в глобальной борьбе с катастрофическим изменением климата. У нас нет роскоши времени, чтобы полностью разработать 100 % устойчивый жизненный цикл инфраструктуры чистой энергии от колыбели до могилы, прежде чем начать установку. У нас очень короткий срок, чтобы спасти планету от верного армагеддона, и следующим должен быть неопределенный армагеддон. Совершенно необходимо начать серьезные попытки превратить всю энергетическую отрасль в экономику замкнутого цикла (Арутюнов, 2019).

В будущем, ожидается, что водород станет универсальным посредником в безуглеродной энергетической системе, энергоносителем в виде «зеленых молекул», получаемых из электроэнергии, производимой ядерными, гидроэнергетическими, возобновляемыми и другими неуглеродными и низкоуглеродными источниками. Ожидается, что ископаемое топливо, оснащенное системой улавливания углерода для производства так называемого «голубого водорода», также будет играть важную роль.

Водородный Совет, коалиция ведущих энергетических, транспортных и промышленных компаний, обязался к 2030 году выработать 40 ГВт зеленого водорода в Европе. Это серьезное обязательство по «зеленым молекулам», которые соединят различные части энергетической системы.

Переход к безуглеродной энергетике, который планируется западными странами, старающимися навязать этот курс всему миру, станет основным источником повышенного спроса на медь. По оценкам экспертов, удельное потребление меди в безуглеродной энергетике в 12 раз превышает потребление в традиционной. Так, в ветроустановках используется 2,5-6,4 т. меди на мегаватт установленной мощности, а в солнечных станциях потребляется порядка 5,5 т. на мегаватт. Дополнительным источником спроса на медь выступают электромобили и сеть зарядных станций, которую придется многократно увеличивать в ближайшее 10 лет. Ряд европейских стран намерено запретить продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания после 2035 г. Согласно прогнозу Fitch Solutions, в 2021-2030 гг. потребление меди в альтернативной энергетике и электромобилях будет увеличено, в среднем, на 13% в год и возрастет от 1,4 млн. т в 2021 г. до 5,4 млн. т в 2030 г. Доля этих секторов на мировом рынке меди увеличится за это время от 5,6 до 15,7 %. Как прогнозирует генеральный директор корпорации Glencore Айвен Глазенберг, мировое потребление меди увеличится вдвое в ближайшие 30 лет и достигнет в 2050 г. около 60 млн. т. Это означает, что горнодобывающим компаниям надо удвоить темпы прироста. По оценкам Глазенберга, в предыдущее десятилетие мировое производство меди увеличивалось, в среднем, на 0,5 млн. т в год, а теперь надо будет довести этот показатель до 1 млн. т. (Borshova et al., 2018).

Солнечные и ветряные источники энергии – это аппараты будущего. Пока экологичные солнечные батареи дороги и малоэффективны. Особенно в стране с дождливым климатом, где мало солнечных дней. Так что зависимость от погодных условий – это второй недостаток. И срок окупаемости солнечных батарей большой. Один квадратный метр солнечной батареи средней производительности выдаёт всего лишь около 120 Вт мощности. Такой мощности не хватит даже для того, чтобы нормально поработать за портативным компьютером. В некоторых странах энергию солнца используют для нагрева воды (Марченко, 2018). Ветряные мельницы, производящие электричество, изобрели в XIX в. в Дании. Ветряные генераторы используют. Так в Германии ветрогенераторы производят 8 % всей электроэнергии. Но источник электроэнергии для ветряных

генераторов не стабилен. Сегодня есть ветер, завтра нет. Такое непостоянство требует дорогостоящих аккумуляторов.

### 3. Заключение

Чтобы обеспечить электричеством здания, удаленные от сети, во избежание возможных проблем из-за централизованных отключений электроэнергии владельцы часто устанавливают автономные энергосистемы. На практике используется множество его разновидностей, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Выбор оптимального варианта может зависеть от будущего местоположения установки, климата в конкретном регионе и других важных факторов. Также следует обратить внимание на стоимость оборудования, комплектующих и периодического обслуживания. В любом случае автономное электроснабжение – это возможность избежать зависимости от центральной сети, сэкономив на счетах за электроэнергию.

### Литература

- [Арутюнов, 2019](#) – Арутюнов В.С. Нефть XXI. Мифы и реальность альтернативной энергетики. М.: Алгоритм, 2019. 207 с.
- [Иванов, 2021](#) – Иванов К.Д. Особенности управления системой энергопотребления предприятия // *Вестник Академии управления и производства*. 2021. № 1. С. 23-30.
- [Комплексная..., 2018](#) – Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики бассейна реки Амур. М.: WWF России, 2018. 279 с.
- [Коробко и др., 2021](#) – Коробко В.И., Соклакова И.В., Сурат В.И., Сурат И.Л. Гарбология: теория и практика. М.: Дашков и К, 2021. 212 с.
- [Кузьмин, 2019](#) – Кузьмин С.Н. Нетрадиционные источники энергии: биоэнергетика: Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2019. 128 с.
- [Марченко, 2018](#) – Марченко О.В. Комплексное использование возобновляемых источников энергии разных типов для совместного производства электричества и тепла // *Промышленная энергетика*. 2018. № 5. С. 52-57.
- [Некрасов, 2018](#) – Некрасов С.А. Трансформация требований к развитию энергоснабжения в результате расширения использования возобновляемых источников энергии // *Промышленная энергетика*. 2018. № 4. С. 37-42.
- [Сурат и др., 2021](#) – Сурат В.И., Лебедева Е.В., Соклакова И.В., Санталова М.С. Инновационный менеджмент: Учебно-методическое пособие. М., 2021.
- [Borshova et al., 2018](#) – Borshova A.V., Gorlov V.V., Soklakova I.V., Surat I.L., Gorlova I.S., Rogulenko T.M. The management of renewables in the Russian Federation // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Т. 9. № 12. С. 36-44.
- [Gorlov et al., 2019](#) – Gorlov V.V., Gorlova I.S., Rogulenko T.M., Soklakova I.V., Surat V.I., Surat I.L. Investment activity of the fuel and energy complex of Russia: organizational and economic mechanism // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Т. 8. № 4. Pp. 9050-9053.

### References

- [Arutyunov, 2019](#) – Arutyunov, V.S. (2019). Neft' XXI. Mify i real'nost' al'ternativnoi energetiki [Oil XXI. The myths and reality of alternative energy]. Moscow: Algorithm, 207 p. [in Russian]
- [Borshova et al., 2018](#) – Borshova, A.V., Gorlov, V.V., Soklakova, I.V., Surat, I.L., Gorlova, I.S., Rogulenko, T.M. (2018). The management of renewables in the Russian Federation. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 9(12): 36-44.
- [Gorlov et al., 2019](#) – Gorlov, V.V., Gorlova, I.S., Rogulenko, T.M., Soklakova, I.V., Surat, V.I., Surat, I.L. Investment activity of the fuel and energy complex of Russia: organizational and economic mechanism. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 8(4): 9050-9053.
- [Ivanov, 2021](#) – Ivanov, K.D. (2021). Osobennosti upravleniya sistemoi energopotrebleniya predpriyatiya [Features of management of the energy consumption system of the enterprise]. *Vestnik Akademii upravleniya i proizvodstva*. 1: 23-30. [in Russian]

**Kompleksnaya..., 2018** – Kompleksnaya ekologo-ekonomicheskaya otsenka razvitiya gidroenergetiki basseina reki Amur [Comprehensive environmental and economic assessment of hydropower development in the Amur River basin]. M.: WWF Rossii, 2018. 279 p. [in Russian]

**Korobko i dr., 2021** – Korobko, V.I., Soklakova, I.V., Surat, V.I., Surat, I.L. (2021). Garbologiya: teoriya i praktika [Garbology: theory and practice]. M.: Dashkov i K, 212 p. [in Russian]

**Kuzmin, 2019** – Kuzmin, S.N. (2019). Netraditsionnye istochniki energii: bioenergetika [Unconventional Energy Sources: Bioenergy]: Uchebnoe posobie. M.: Infra-M, 128 p. [in Russian]

**Marchenko, 2018** – Marchenko, O.V. (2018). Kompleksnoe ispol'zovanie vozobnovlyaemykh istochnikov energii raznykh tipov dlya sovmestnogo proizvodstva elektrichestva i tepla [Complex use of renewable energy sources of different types for joint production of electricity and heat]. *Promyshlennaya energetika*. 5: 52-57. [in Russian]

**Nekrasov, 2018** – Nekrasov, S.A. (2018). Transformatsiya trebovaniy k razvitiyu energosnabzheniya v rezul'tate rasshireniya ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii [Transformation of requirements for the development of energy supply as a result of the expansion of the use of renewable energy sources]. *Promyshlennaya energetika*. 4: 37-42. [in Russian]

**Surat et al., 2021** – Surat, V.I., Lebedeva, E.V., Soklakova, I.V., Santalova, M.S. (2021). Innovatsionnyi menedzhment [Innovation management]. Uchebno-metodicheskoe posobie. M. [in Russian]

## **Проблемы использования возобновляемых источников энергии для энергосбережения на предприятии**

Кирилл Дмитриевич Иванов <sup>a, \*</sup>, Ирина Владимировна Сохлакова <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация

<sup>b</sup> Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы использования возобновляемых источников энергии. Изучаются достоинства и недостатки разных видов энергии, сравниваются последствия воздействия на окружающую среду, анализируются особенности каждого вида. Исследуется возможность и перспективы использования для электроснабжения производственных зданий, удаленных от сети и в случае возникновения проблем с электричеством. На практике используется множество разновидностей автономных энергосистем, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Выбор оптимального варианта может зависеть от будущего местоположения установки, климата в конкретном регионе и других важных факторов. Также следует обратить внимание на стоимость оборудования, комплектующих и периодического обслуживания. В любом случае автономное электроснабжение – это возможность избежать зависимости от центральной сети, сэкономив на счетах за электроэнергию.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, атомные электростанции, ветряные фермы, солнечные электростанции, безуглеродная энергетика.

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [irinasok2011@yandex.ru](mailto:irinasok2011@yandex.ru) (К.Д. Иванов),  
[irinasok2011@yandex.ru](mailto:irinasok2011@yandex.ru) (И.В. Сохлакова)

Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA  
European Journal of Renewable Energy  
Has been issued since 2016.  
E-ISSN 2454-0870  
2021. 6(1): 21-40

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.21  
<https://ejre.cherkasgu.press>



## Collection and Utilization of Biogas

Marina S. Mitina <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Academy of Management and Production, Moscow, Russian Federation

### Abstract

The article deals with the problems of collection and utilization of biogas. The types of biogas, its main sources, the composition and patterns of biogas formation, the dependence of the biogas yield on the type of organic source are analyzed. The problems of climate change, global warming and the greenhouse effect are considered. Possibilities for the collection and utilization of biogas are being explored. A system for biological treatment of domestic wastewater is being developed. The advantages and disadvantages of modern biogas processing plants are analyzed. The problems of animal waste processing in Russia and the possibility of building biogas parks are considered, using the example of Germany.

Due to the fact that industrial gas production is developing very actively, production volumes are increasing. This negatively affects the state of the ecosystem. As a result of the ever-increasing consumption of natural resources and, in particular, natural gas, emissions of carbon dioxide into the atmosphere have increased dramatically. This led to a sharp increase in the greenhouse effect. Which in turn leads to climate change no longer locally, but on a planetary scale: melting glaciers, an increase in the water mass of the oceans, global warming. Therefore, the urgency of the problem of collecting and utilizing biogas is increasing every day.

**Keywords:** methane, greenhouse effect, global warming, greenhouse effect, environmental pollution, global climate change.

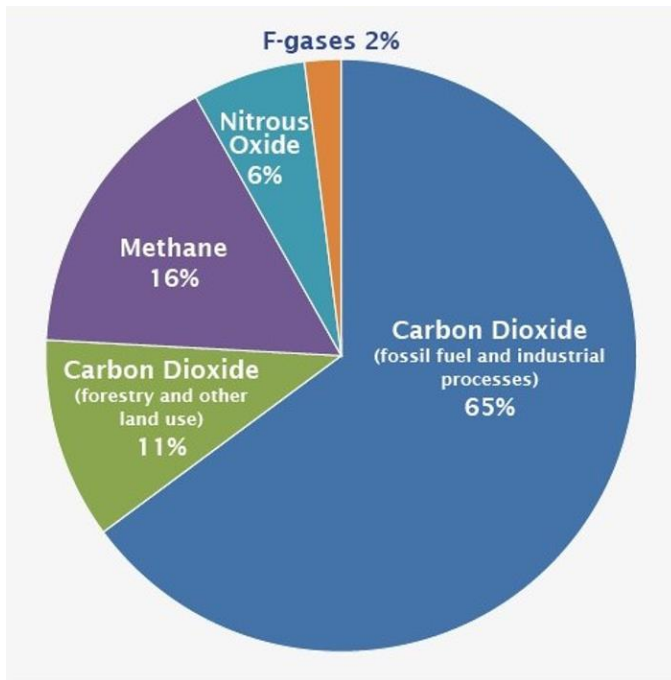
### 1. Введение

Биогаз – это смесь газов, образующаяся при анаэробном гниении, бактериальном разложении сложных органических веществ, входящих в состав отработавшей биомассы. Поступление биогаза в атмосферу крайне нежелательно, так как основным компонентом в его состав входит метан, являющийся парниковым газом. Выбросы метана, даже в незначительных количествах, вносят существенный вклад в усиление парникового эффекта, приводящее к глобальному потеплению и сопутствующим климатическим изменениям. При относительно небольшой концентрации, метан в атмосфере даёт существенный тепловой форсинг на климат.

Все газовые примеси атмосферы, в молекуле которых содержится 3 и более атомов, относятся к типу парниковых. Выбросы метана в два раза превышают поступление всех остальных «парниковых» газов от различных источников, уступая лишь объемам эмиссии углекислого газа ([Рисунок 1](#)).

\* Corresponding author

E-mail addresses: [mitina@amp1996.ru](mailto:mitina@amp1996.ru) (M.S. Mitina)



**Рис. 1.** Процентное соотношение выбросов различных парниковых газов (F – фреоны) (Al-Yasiri, Gécz, 2021)

Концентрация метана в тропосфере сейчас составляет 1,813 ppm (Кароль, Решетников, 2014). По сравнению с доиндустриальным периодом (18 век) содержание метана в воздухе увеличилось более чем в 2,5 раза. Дисбаланс между поступлением  $\text{CH}_4$  в атмосферу и его стоком составляет 60 млн. тонн в год при общем объёме круговорота 250 млн. тонн в год (Kvenvolden, Rogers, 2005). Таким образом, содержание метана в воздухе непрерывно увеличивается, потому что он является «долгоживущей» газовой примесью. Среднее время его пребывания в атмосфере составляет 12 лет (Дзюба и др., 2012). Поскольку метан относится к углеводородам, это гидрофобное вещество, малорастворимое в воде. Поэтому его вынесение из атмосферы с осадками крайне затруднено.

Примерно 90% от всего годового стока метана удаляется абиогенным путём за счёт реакций окисления его гидроксил-радикалом OH (Кароль, Киселев, 2006). Гидроксил-радикал вследствие фотодиссоциации водяного пара постоянно присутствует в атмосфере в концентрациях от 500 000 до 5 000 000 молекул/см<sup>3</sup> (Коровицкий, Тоцкая, 2017). Примерно 6% метана поднимается в стратосферу и разрушается там при взаимодействии с электронно-возбуждёнными коротковолновым солнечным излучением атомами кислорода, хлора и фтора. На долю окисления метана аэробными почвенными микроорганизмами приходится менее 4% его количества.

Влияние метана на парниковый эффект обусловлено сильным поглощением создаваемого поверхностью Земли длинноволнового инфракрасного излучения (ДИИ), в районе  $\lambda = 7,66$  мкм (Белан, Креков, 2012). Вследствие поглощения теплоты, метан, присутствующий в приземном слое воздуха, создаёт положительный форсинг на климат, вызывающий повышение среднеглобальной температуры системы «тропосфера — поверхность». В настоящее время, антропогенная «добавка» к форсингу на климат, вызванная «парниковым» эффектом составляет 2,63 Вт/м<sup>2</sup> (Shindell et al., 2013). Основной форсинг создаёт углекислый газ: 1,7 Вт/м<sup>2</sup>, а на долю метана приходится примерно 0,5 Вт/м<sup>2</sup>. Однако, с учётом концентрации в атмосфере, получается, что для  $\text{CO}_2$  удельный форсинг составляет 0,004 Вт/(м<sup>2</sup> ppm), а для метана 0,28 Вт/(м<sup>2</sup> ppm).

Таким образом, метан влияет на глобальное потепление в гораздо большей степени (с учётом концентрации), чем самый известный «парниковый» газ –  $\text{CO}_2$ . Согласно прогнозу, приведённому в работе (Folberth et al., 2012) к 2050 году тепловой форсинг метана на климат возрастёт более чем в два раза. Если рассматривать интервалы времени до века

(ста лет), то время жизни метана с его двенадцатью годами оказывается значительно выше, чем у  $\text{CO}_2$ . Сейчас в климатических моделях учитывают даже выделение  $\text{CH}_4$  от крупного рогатого скота в животноводстве (Chianese, Rotz, 2009), поэтому разработаны даже индивидуальные газоуловители для животных.

Высокая стоимость природного газа делает рентабельным сбор и накопление биогаза даже от источников с небольшими объемами выделения. Так, согласно сообщениям деловых средств массовой информации (Лещенко, 2022), цена на газ в Европе 21 декабря 2021 года превысила отметку \$2300 за 1 тыс. куб. м впервые за всё время биржевых торгов. Стоимость январского (2022 г.) фьючерса на хабе TTF в Нидерландах на пике росла на 24 %, достигая \$ 2,3 тыс. за тысячу кубометров. В этот же день к 17:30 мск цены январских фьючерсов по индексу TTF составили \$ 2120, что на 23,5 % выше расчетной цены 20 декабря (\$ 1716,7).

Поэтому вопросы, связанные с улавливанием и утилизацией биогаза, в настоящее время крайне актуальны и экономически обоснованы.

## 2. Обсуждение и результаты Образование и состав биогаза

Антропогенными источниками биогаза являются агропромышленные технологии: разложение органических отходов, выращивание риса на водно-болотных угодьях, желудочная ферментация у сельскохозяйственных животных. Биогаз также образуется при анаэробном разложении твердых бытовых отходов и городских сточных вод.

Все процессы образования биогаза представляют собой анаэробную ферментацию. С точки зрения химии происходит не прямое окисление исходных и промежуточных веществ в бескислородных условиях. В ходе нее происходит гидролиз сложных органических веществ, их растворение и разложение до простых компонентов, с последующей газификацией их значительной части, а также выпадение нерастворимой фазы в осадок (активный ил). Этот осадок потом можно использовать как удобрение для подкормки растений.

Ферментация называется метановой, так как она осуществляется метанообразующими бактериями, а одним из основных конечных продуктов разложения органических веществ является метан. При оптимальных условиях выход газа, которого на выходе может быть от 50 до 90 %, осуществляется в несколько фаз. Процесс достаточно подробно изложен в литературе, например, (Шейна, Сысоев, 2009), (Ткаченко и др., 2017) и др.

Первая фаза, впервые предложенная Беркером (Шейна, Сысоев, 2009) представляет собой кислотную или водородную ферментацию, разложение сложных молекул до простых веществ: органических кислот (уксусная, муравьиная, молочная, масляная, пропионовая и т.д.), спиртов (метилловый, этиловый, пропиловый, бутиловый и т.д.), газов (углекислый газ, водород, сероводород, аммиак), аминокислот, нитратов, глицерина и т.д. Этот распад осуществляется обычными сапрофитными анаэробами, которые широко распространены в природе, в том числе и те, которые содержатся в выделениях человека. Наиболее оптимальная ферментация происходит при  $\text{pH} = 4,5-7,0$ .

К сапрофитам относятся маслянокислые, протеинолитические, липолитические и прочие бактерии, грибки и дрожжи. Целлюлозу перерабатывают представители видов *Ruminococcus*, *Bacteroides*, *Cellobacterium* и др.; крахмал – *Succinomonas*, *Butyrivibrio* и др.; белки – *Bifidobacterium* и *Selenomonas*. Выделение органических кислот осуществляют бактерии: *Syntrophomonas* sp.; *Clostridium* sp.; *Hydrogenobacter thermophilus*; *Hydrogenovibrio marinus*; *Helicobacter pylori* и др. (Егорова и др., 2008). Кислое брожение на финальной стадии характеризуется обильным образованием и выделением широкого спектра карбоновых кислот, что проявляется в виде закисления среды и падения  $\text{pH}$  до 5-4,5. Процесс сопровождается появлением неприятного гнилостного запаха.

На второй фазе (щелочная или метановая ферментация) метанообразующие бактерии осуществляют дальнейшее разложение веществ, образовавшихся в первой фазе. Процесс идет с выделением  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . В отличие от бескислородного протекания первой фазы, мета-новые бактерии являются строгими анаэробами. Они более чувствительны к кислороду и другим окислителям, чем большинство других бактерий. Отсюда, предотвратить выделение метана можно путем значительного количества нитрат-ионов в сточных водах.

Хотя схема Баркера не имеет строгого термодинамического обоснования. Поэтому с этой схемой категорически не согласны ряд исследователей, выделяющие три или даже больше фаз (Шейна, Сысоев, 2009). Но представление о двух фазах достаточно наглядно, удобно для контроля, а самое важное, подтверждается экспериментальными данными.

При содержании  $O_2$  примерно 0,01 мг/л происходит гибель всех метановых бактерий. Из анаэробных бактерий только археобактерии способны продуцировать метан, чья вся энергия метаболизма направлена на его образование, как основного конечного продукта. Они не только осуществляют химическое преобразование энергии, но и перерабатывают субстрат, созданный всеми мертвыми бактериями. Археобактерии образуют  $CH_4$  из простых органических веществ, таких как  $CO_2$ , кислот и спиртов на основе ряда низших углеводов.

В работах выделяется около полусотни бактерий, осуществляющих метаногенез: *Methanobacterium*, *Methanogenium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera*, *Methanothermus*, *Methanococcus*, *Methanocorpusculum*, *Methanoculleus*, *Methanofollis*, *Methanopyrus*, *Methanoregula*, *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanolobus*, *Methanospirillum*, *Methanothrix* и многие другие. Их обычно подразделяют на две группы, различающихся разным количеством  $CH_4$  на выходе.

Примерно 28 % этого газа производится путем связывания углекислого газа, метанола, муравьиной кислоты и других органических соединений водородом (бактерии используют эту смесь как субстрат роста):



Метановые бактерии первой группы являются единственными на Земле организмами, способными утилизировать диоксид углерода без хлорофилла и поглощения солнечной энергии.

Но более важным субстратом, дающим на выходе до 72 % метана, является другой механизм. Вторая группа метанобактерий производит расщепление уксусной кислоты:



Способность метановой группы бактерий использовать С проявляется в простых органических и неорганических средах, таких как карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая), спирты (метиловый, этиловый) и газы ( $H_2$ ,  $CO_2$  и  $CO$ ) – то есть, содержащие только те вещества, которые образуются в первой фазе брожения. Поскольку каждый вид метанобактерий способен разрушать определенные органические вещества, в целом специально подобранное сообщество метанобактерий может трансформировать практически все продукты первой фазы брожения.

Поэтому обычно говорят о симбиозе – трофическом взаимодействии двух типов анаэробов – производящих органические кислоты и эти кислоты разлагающие. Так, деятельность бактерий *Acetobacterium*, выделяющих уксусную кислоту, протекает в одной пространственной зоне совместно с метанобактериями. Бактерии: *Synthrobacter* и *Synthrophomonas* разлагают жирные кислоты (пропионовую и масляную), некоторые спирты и даже ароматические соединения (бензойную кислоту), совместно с метаногенными бактериями. Общая схема процесса метанового брожения и основные группы участвующих в нём микроорганизмов представлены на Рисунке 2. Происходящие химические реакции с разными микроорганизмами, кроме указанных выше двух, подробнее описаны в работе (Шейна, Сысоев, 2009). Следует отметить, что до сих пор обнаруживаются и описываются новые бактерии, осуществляющие химические реакции, совершенно отличные от известных ранее. Вполне вероятно, что в ближайшем будущем возможно возникновение реакторов на других химических принципах.

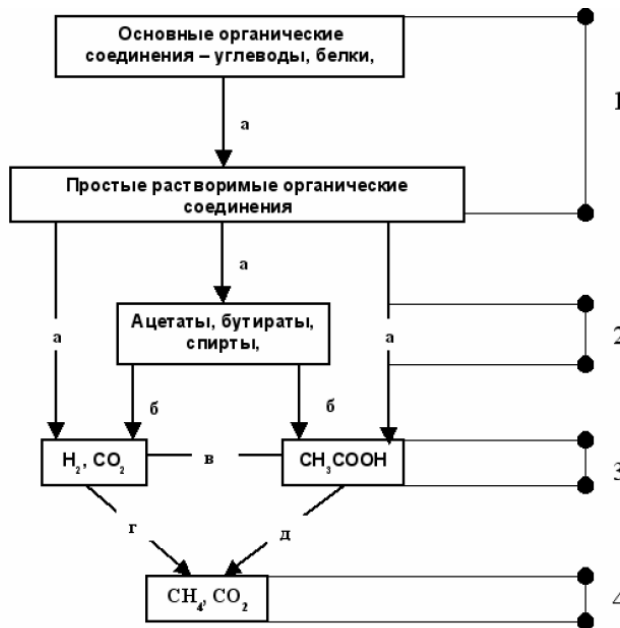
Поскольку метановые бактерии на использовать N из аминокислот, для нормального их развития кроме  $CO_2$  необходимо присутствие определенного количества азотистых соединений. Если естественный фон сточных вод не содержат достаточного количества азотистых соединений, их необходимо добавлять вручную. Наибольшую эффективность для деятельности метановых бактерий продемонстрировало добавление  $(NH_4)_2CO_3$ ,  $NH_4Cl$  и  $NH_3$ . Для лучшего протекания ферментации необходимо порядка 3,5 мг азота на 1 г сухого



вещества активного ила. Необходимым условием также является поддержание соотношения азота и углерода 1:20 в среде метантенка.

Еще одним фактором, определяющим жизнедеятельности метановых бактерий является кислотность. Наибольшая активность метановых бактерий зарегистрирована при pH = 6,4-7,2. В более кислых и более основных средах (pH > 8 или pH < 6) скорость роста бактерий резко падает, а, например, при pH < 5,5 процесс выработки метана вообще прекращается.

Еще одним существенным аргументом в функции выхода метана является температура. В зависимости от нее различают психрофильное (T ≈ 20-25 °C), мезофильное (T ≈ 30-35 °C) и термофильное (T ≈ 50-55 °C) сбраживание. При этом каждый тип осуществляется своей, только ему присущей группой бактерий, соответственно психрофильной, мезофильной и термофильной микрофлоры. Два последних типа брожения обычно осуществляется в специальных сооружениях: биореакторах-метантенках с подогревом.

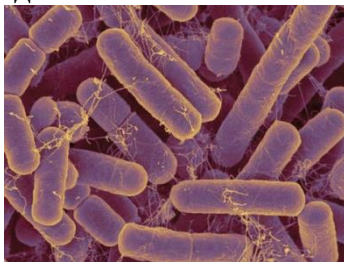


**Участвующие группы бактерий:**  
**а** – ферментативные кислотогены,  
**б** – ацетогены, образующие H<sub>2</sub>,  
**в** – ацетогены, использующие H<sub>2</sub>,  
**г** – метаногены, восстанавливающие CO<sub>2</sub>,  
**д** – метаногены, использующие уксусную кислоту

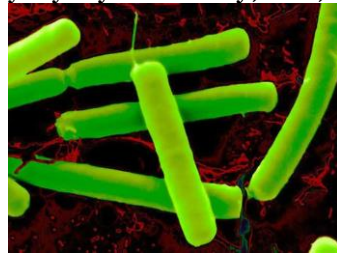
**Стадии процесса:**  
**1** – гидролиз,  
**2** – кислотообразование,  
**3** – образование уксусной кислоты,  
**4** – образование метана.

Схема анаэробного метанового сбраживания стоков

а) **Bacteroides** производят гидролиз органических соединений



б) **Clostridium** выделяет уксусную кислоту, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>



в) **Helicobacter** выделяет уксусную кислоту при окислении H<sub>2</sub>



г) **Methanosaeta** преобразует CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> в CH<sub>4</sub>

д) **Methanospaera** превращает уксусную кислоту в CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>



**Рис. 2.** Основные этапы метанового брожения и участвующие группы микроорганизмов

Наиболее быстро проходит термофильная ферментация, скорость реакции которой примерно вдвое выше остальных. За счет этого полезный объем биореактора можно снизить в два раза. Еще одним преимуществом этой ферментации является то, что при ней происходит полная дегельминтизация осадка. Для сравнения, при мезофильной ферментации погибает лишь примерно 50-80 % яиц гельминтов. Зато ее безусловным преимуществом является самодостаточность процесса за счет тепла, получаемого при сгорании выделившегося при реакции метана. Термофильная ферментация требует дополнительного расхода топлива, особенно в холодное время года, а кроме того, полученный обезвоживать намного труднее, чем осадок мезофильной ферментации.

В состав биогаза, помимо метана, входят также углекислый газ, водород, сероводород. Общее количество биогаза и соотношение различных компонентов в его составе определяется типом исходного органического для различных видов, отходов приведены в [таблице 1](#).

**Таблица 1.** Влияние состава исходного органического вещества на выход биогаза и содержание в нём метана ([Ткаченко и др., 2017](#))

| Вид исходного вещества             | Выход биогаза, м <sup>3</sup> /тонну сухого вещества | Содержание метана, % по объему |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| Коммунальные сточные воды, фекалии | 310-740  | 70                             |
| Овощные отходы                     | 330 - 500  | 50-70                          |
| Пшеничная солома                   | 200 - 300  | 50-60                          |
| Листья масличных культур           | 280 - 320  | 59-65                          |

Теплота сгорания биогаза ниже, чем чистого метана, вследствие присутствия в биогазе CO<sub>2</sub>. Для чистого CH<sub>4</sub> теплота сгорания составляет 37,3 МДж/м<sup>3</sup>, а у биогаза – от 17,8 до 24,9 МДж/м<sup>3</sup> при содержании метана от 50 до 70% по объёму соответственно. Поэтому, кроме сбора биогаза от различных источников, актуальна так же его очистка от примесей, с целью повышения его теплотворной способности

## Сбор биогаза

### Хозяйственно-бытовые источники

В агропромышленном и коммунальном хозяйстве источниками образования биогаза являются следующие отходы: жидкий навоз, биологические отходы предприятий по переработке крупного рогатого скота, молочные продукты, овощи и фрукты, жидкие и твердые органические отходы пивоваренных и винокуренных заводов, отходы производства сахара, растительного масла, вина, твердый компост, непродовольственные товары биомасса (трава, стебли листьев, пшеничный и кукурузный силос, жом сахарной свеклы и т.д.), жир, сточные воды, фекальные стоки.

Поэтому уже построены крупные биогазовые установки (парки), в которых биогаз получают из органических отходов агропромышленного комплекса в процессах анаэробного метанового брожения, его сбора, очистки и хранения в метантенках с последующей

доставкой потребителям. Самый крупный в мире биогазовый парк расположен в Германии, в федеральной земле Мекленбург — Померания (Mecklenburg-Vorpommern) на окраине небольшого города Гюстров (Güstrow). (Тимофеева, 2021). Строительство данного парка под названием Nawaro Bio-Energie Park Güstrow стартовало в 2009 г., а через полтора года, в 2010 г. парк заработал на полную мощность. Величина инвестиций составила 100 млн. евро, число занятых на сданном в эксплуатацию объекте — 100 человек.

Название парка содержит наименование фирмы разработчика и подрядчика, осуществлявшей полный контроль всех работ — NAWARO BioEnergie AG, входящей в инжиниринговый концерн NAWARO. Поставки оборудования, средств автоматизации и др. осуществляли более 20 фирм из Германии. Так выглядит часть Nawaro Bio-Energie Park Güstrow (Рисунок 3) (Панцхава, 2014).



**Рис. 3.** Биоэнергетическая станция Nawaro Bio-Energie Park Güstrow в Германии

Парк занимает площадь в 20 гектаров, на которой расположены 5 модулей, в общей сложности 20 ферментеров и 20 контейнеров для продуктов брожения по 5 тысяч тонн каждый, а также здания, площадка для подготовки биомассы, сточные воды из которой поступают в ферментеры, компрессорная станция для подачи газа в сеть природного газа и т.д.

Этот парк имеет следующие характеристики: Годовая мощность по производству биогаза составляет 46 миллионов кубических метров (10 000 кубических метров в час). Компрессорная станция обеспечивает подачу природного газа в сеть в объеме до 5000 кубометров в час. Этого достаточно для производства 160 млн кВт\*ч электроэнергии или 180 млн кВт\*ч тепла в год. Этого количества энергии достаточно, чтобы обеспечить 50 тысяч домохозяйств, то есть небольшой город. Сырьем для производства энергии являются кукуруза, злаки, скошенные травы, в том числе силос.

В общей сложности в год требуется около 450 тысяч тонн сырья. Из них силос составляет 364 тыс. тонн, зерновые — 10 тыс. тонн, солома — 50 тыс. тонн и скошенная трава — 8 тыс. тонн.

Поставщиками являются сельскохозяйственные фермы, расположенные в радиусе 50 км. Их владельцы подписали 3-летние контракты на поставку субстратов. За каждую тонну поставщик получает от 28 до 30 евро. Таким образом, обеспечивается до 75 % потребностей парка в сырье. Оставшиеся продукты брожения сушат, прессуют и используют в качестве удобрения. В общей сложности в год производится до 85 тыс. тонн прессованных удобрений и 90 тыс. тонн удобрений с жидким веществом. Все это реализуется в одном и том же регионе.

Однако установка биогазовой установки довольно проста в реализации для небольшой фермы. Например, в США производство биогаза в США поддерживается законодательством на федеральном уровне и уровне штатов (Киселев, 2019). Приняты соответствующие программы, бизнес ведет активную деятельность. Существует закон о фермерских хозяйствах 2002 года. В общей сложности около 2000 объектов по всей территории производят биогаз. В больших метантенках в Ле-Суер, штат Миннесота, метан производится из навоза и кукурузного силоса, который питает генераторы, вырабатывающие электричество; в белых куполах хранится биогаз на заводе Hometown BioEnergy. Анаэробные метантенки так же используются на молочных фермах для переработки навоза и растительных отходов в энергию. В Южном Сент-Поле в этом году планируется построить метантенк стоимостью 30 миллионов долларов на предприятии под названием Sanimax, где из биогаза будут производить электроэнергию.

Имеется федеральная программа по биогазу AgSTAR, субсидируемая Федеральным агентством по защите окружающей среды, Министерством сельского хозяйства и Министерством энергетики. Из федеральных источников финансируются следующие программы: Environmental Quality Incentives Program (EQIP), Regional Biomass Energy Programs, Renewable Energy Systems and Energy Efficiency Improvements Program, Sustainable Agriculture Research and Education. На программу «The Renewable Energy Systems», финансируемую согласно 9006-й части 2002 Farm Bill, на 2007 год выделено 11,4 млн. долларов на гранты и 176,5 млн. долларов – на займы.

На уровне практически всех штатов приняты программы по биогазу, причем выделяются большие средства. Так, например, в штате Калифорния действует Self-Generation Incentive Program, на которую в 2004 году было выделено 100 млн. долларов. В этом же штате функционируют еще 3 программы по биогазу (в том числе California's Dairy Power Production Program – DPPP) с общим финансированием более 15 млн. долларов. На региональную программу штатов Мичиган, Миннесота, северная и Южная Дакота, Висконсин, сформированную ещё в 1999 г., было выделено 16 млн. долларов на 19 проектов по возобновляемой энергии, из них 7 – по биомассе.

В штате Пенсильвания реализуется программа стоимостью 21,8 млн. долларов. В штате Нью-Йорк есть программа по биогазу стоимостью 10 млн. долларов. В Техасе с 1988 г. действует соответствующая программа с минимальным финансированием 95 млн. долларов. Наконец, в штате Орегон осуществляются 4 программы.

На одну из них – Business Energy Tax credit – с 1980 г. выделено инвестиций для 6500 участников на более чем 549 млн. долларов. На остальные программы этого штата также предусмотрена сумма более 5 млн. долларов.

Биогаз обеспечивает 8 % электроэнергии, производимой из возобновляемого сырья в Соединенных Штатах (данные за 2006 год). Большинство биогазовых ферм расположены в Калифорнии, Пенсильвании, Висконсине и Нью-Йорке.

В России всего семь биогазовых установок, работающих на сельскохозяйственных отходах. Два расположены в Белгородской области, по одному во Владимирской, Калужской, Курской, Московской областях и в Республике Татарстан. Станция в Лаки (Белгородская область), запущенная в 2012 году, установленной мощностью 3,6 мегаватт является крупнейшей в России (Клунова, 2019). В полукилометре от станции находится крупная свиноферма (селекционно-генетический центр, входит в холдинг "Агро-Белогорье"), которая является основным поставщиком "топлива" – от фермы под землей проложена труба, по которой фекалии поступают на станцию. Другие животноводческие комплексы также вывозят сюда свои отходы.

Общий вид биогазовой станции показан на [Рисунке 4](#).

В состав биогазовой станции входят бассейны для приёма и хранения сырья. Биореакторы-метантенки для анаэробного мезофильного (+ 37°C) метанового брожения, газгольдеры для усреднения состава и хранения биогаза, электрогенерационная установка. Станция так же имеет зарядное устройство для электромобилей. Биогазовая установка перерабатывает около 98 000 тонн органических отходов в год. Всё оборудование станции произведено в Германии фирмой SEVA Energie AG.



**Рис. 4.** Биогазовая электростанция «Лучки», Прохоровский район, Белгородская область, Россия

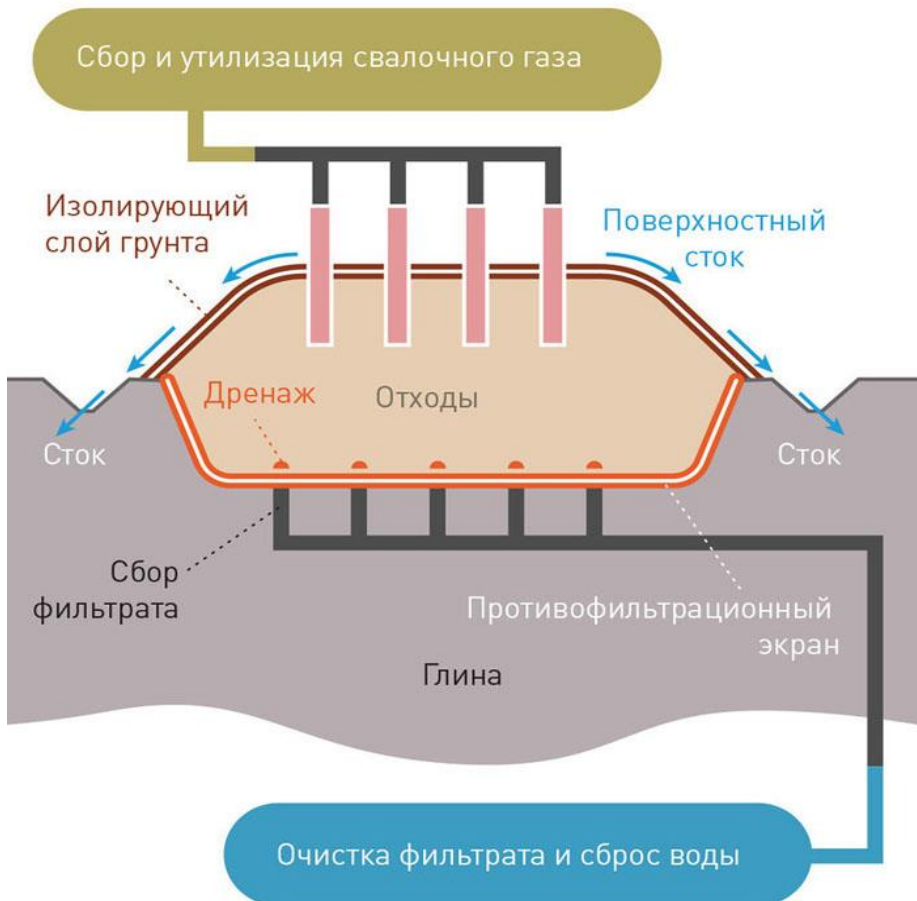
Исходным сырьём для получения биогаза служат:

- навозные стоки;
- отходы убоя птиц;
- отходы убоя свиней;
- отходы птицеводства;
- отходы очистных сооружений боенских предприятий;
- жом сахарной свеклы;
- отходы производства овощей и прочие виды сырья.

Анаэробные метаногены выделяют больше газа, если навоз смешивают с отходами растениеводства — свекловичным и овощным жомом, шелухой, соломой, неиспользованной ботвой. Смешивание осуществляется в биореакторах с помощью смесителей. После сбора урожая вместо отходов используются предварительно приготовленные силос и сено. Биогаз содержит много примесей, включая углекислый газ, водяной пар и сероводород, поэтому перед использованием биогаз проходит процесс очистки. Сброженная масса представляет собой удобрение, которое соответствует требованиям ГОСТ 33380-2015 и может быть внесено на близлежащие поля для повышения урожайности.

#### **Свалочный газ**

Для извлечения биогаза со свалок, как правило, используется определенная схема (Рисунок 5): вертикальные скважины, проникающие вглубь слежавшегося тела мусора, подключаются к линиям газопровода, в котором вакуумное оборудование формирует вакуум, необходимый для перемещения газа из скважины к месту его использовать. Устройства для сбора, хранения и утилизации биогаза размещаются на заранее подготовленной площадке за пределами полигона.



**Рис. 5.** Технологическая схема экстракции и утилизации свалочного газа (Григорьева, 2022)

В каждом колодце осуществляется дренаж из определенного блока твердых бытовых отходов бытового характера, который имеет цилиндрическую форму. Создание системы отвода газа осуществляется в месте расположения полигона после консервации полигона, кроме того, такая система может быть создана в отдельных частях полигона в зависимости от очереди их загрузки. Территория расположения полигонов твердых бытовых отходов, где планируется сформировать систему сбора газов, должна быть подвергнута рекультивации, то есть покрыта слоем почвы, толщина которого составляет не менее 40 см.

При создании скважин в глубине тела отходов целесообразно использовать бурение шнекового типа. Это недорогой и доступный метод, так как он широко применяется при инженерно-геологических работах. При использовании этого метода бурения максимально допустимый диаметр скважины составляет 0,5 м. Тем не менее, их создание сопряжено с трудностями, связанными с наличием большого количества посторонних включений (частиц от металла и бетона, остатков машин и устройств). Эти инородные частицы затрудняют бурение и часто приводят к поломке бурового инструмента. Практика показывает, что при сравнительной простоте можно создавать скважины диаметром 250-300 мм, при этом их глубины будут вполне достаточно для извлечения свалочного газа.

Температура газов в глубине корпуса отходов может составлять около 50 градусов, а относительная влажность составляет 70 %. После того, как отбор газа завершен и он поступает в газопроводы, температура резко падает, образуется конденсат, который выделяется в больших количествах. Например, при добыче свалочного газа в количестве 100 кубометров за один час образуется около 1 кубометра конденсата. Удаление этой жидкости с использованием специального оборудования является важной задачей. Наличие конденсата в газопроводе приведет к усложнению или невозможности процесса добычи газа.

Газопровод формируется в траншеях, которые прокладываются на глубине, предотвращающей замерзание труб при отрицательных температурах воздуха. При создании трубопроводных линий для предотвращения образования конденсата следует создавать

специальные уклоны для стока конденсата, а также устанавливать устройства для отвода конденсата, которые своевременно удаляют влагу. Конденсатоотводчик представляет собой стальной резервуар, в который стекает конденсат, устройство имеет гидравлический механизм блокировки. С его помощью заправочная станция поддерживается в рабочем состоянии.

Для регулирования функционирования газопровода используются запорные детали в виде специальных кранов и заслонок. С помощью запорных клапанов обеспечивается надежность, скорость и безопасность при использовании системы с низкими гидравлическими затратами. При использовании трубопроводов газы доставляются в назначенный пункт сбора. Зона сбора газа используется для удаления свалочного газа из толщи свалки. Для этих целей при использовании электрического вентилятора в механизме газопровода обеспечивается разряд (показатель примерно 100 мбар).

В значительных объемах такой газ собирается и утилизируется в западных странах: в США, Великобритании, Франции, Дании (Таблица 2). Объем добычи газа за год указывает на то, что глобальные работы по переработке дают результаты в размере около 1,2 млрд куб. м. в течение одного года, или 429 тыс. тонн метана или 1 % от его мирового производства. Можно сделать вывод, что объем экстрагируемых веществ ничтожно мал по сравнению с объемом их образования. Это открывает широкие перспективы для развития биогаза как отдельной отрасли.

**Таблица 2.** Объемы годовой добычи свалочного газа

| Страна         | Объем добычи, млн. куб.м/год |
|----------------|------------------------------|
| США            | 500                          |
| Германия       | 400                          |
| Великобритания | 200                          |
| Нидерланды     | 50                           |
| Франция        | 40                           |
| Италия         | 35                           |
| Дания          | 5                            |
| Итого:         | 1230                         |

Для определения возможностей распространения технологии в России были проведены технико-экономические расчеты потенциальных стандартных объектов в этой области. В качестве исходной информации были использованы результаты пилотных проектов, реализованных организацией "Геополис" в Московской области. Период продолжительности стандартного проекта в таких расчетах был равен одному десятилетию. Стоит отметить, что при определении прибыли от добычи газа и электроэнергии использовались цены ниже действующих в настоящее время в сфере энергоресурсов (180 рублей за кубометр свалочного газа и 250 рублей за 1 кВт в час электроэнергии).

Эти данные были получены в результате опроса потенциальных потребителей электроэнергии из газов. Были рассмотрены два типа схем устранения СГ. Первый включал в себя выработку электроэнергии, второй включал передачу сырого газа потребителям. Результаты этих исследований позволяют сделать выводы: объекты электроэнергетики нуждаются в больших денежных вложениях и являются максимально прибыльными в соответствии с абсолютными показателями. С увеличением массы тел свалочного типа технико-экономические показатели увеличиваются прямо пропорционально. Все рассмотренные методы отличаются экономической эффективностью. Важно добавить, что эти расчеты также имеют ограничения. Налогообложение и инфляционный процесс здесь не принимаются во внимание. Их появление в схеме расчетов негативно скажется на показателях прибыли.

Таким образом, очевидно, что добыча свалочного биогаза практически не работает в России, несмотря на большие объемы образующихся отходов и большие территории, занимаемые полигонами для складирования мусора.

### Канализационный газ

Канализационный или аэрационный газ - это продукт брожения жидких сточных вод в канализационной сети населенного пункта. Газы, образующиеся в канализации, являются продуктом разложения органических отходов, они могут быть зловонными, токсичными или взрывоопасными. Чтобы предотвратить их попадание в жилые и офисные помещения, все приемники сточных вод (умывальники, туалеты, приемники промышленных установок и т.д.) оснащены гидравлическими клапанами (сифонами).

В состав канализационных газов входит 60-68 % метана, 30-35 % углекислого газа, до 2 % водорода, сероводорода и некоторых других компонентов. Теплотворная способность такой смеси составляет 5500 ккал/нм<sup>3</sup> (Годиш, 2012). Если из его состава удалить диоксид углерода, газ становится относительно однородным топливом, содержание метана увеличивается до 85 %, а теплотворная способность достигает 6900 ккал/нм<sup>3</sup>. (нм<sup>3</sup> – это обычный кубический метр, т.е. объем газа в 1 кубическом метре, измеренный при температуре +20 ° C).

Использование канализационного газа в качестве топлива пока не получило широкого распространения из-за того, что рентабельность может быть достигнута только при высокоразвитой канализационной сети, которая могла бы окупить затраты на строительство специальных сооружений с отапливаемыми метантенками, осуществляющими термофильное сбраживание сточных вод. Есть данные о том, что с перерабатывающей станции, которая питается сточными водами, обслуживающей 100 тысяч человек, можно получать суточный объем канализационных газов, равный примерно 2500 м<sup>3</sup>. Это эквивалентно примерно 2000 литрам бензина.

В городской канализации биологическая очистка обычно используется в аэротенках, т.е. с доступом кислорода в воздухе. Выделение метана, водорода, CO<sub>2</sub> и сероводорода происходит из-за образования анаэробных условий, которые могут развиваться в небольшой ограниченной части сточных вод (например, в области стенок труб и коллекторов). Если предусмотрена специальная система анаэробной очистки сточных вод, загрязненных органическими веществами (не обязательно в протяженной и разветвленной канализационной системе), то выход биогаза может быть более значительным.

Созданию установок извлечения биогаза из бытовых стоков способствует рост цен на природный газ. Например, в городе Сент-Луис-Парк (округ Хеннепин, штат Миннесота, США) может появиться система переработки жидких органических отходов населенного пункта. Застройщик жилого района Крис Веласко из компании «PLACE», расположенной в Миннеаполисе, хочет построить на месте бывшей кофейни «McGarvey Coffee» на шоссе № 7 квартал, состоящий из жилых квартир, студий и рабочих помещений с экологичной установкой, которая в Миннесоте чаще встречается на молочных фермах: анаэробным биореактором-метантенком (Star Tribune...). Метантенк превращает то, что сейчас является отходами, в биогаз, который будет питать генератор для производства электроэнергии, которая будет обогревать и охлаждать здания. Жидкое и твердое удобрение из метантенка будет использоваться для выращивания продуктов питания в теплицах на территории комплекса.

«Мы живем в обществе, где не задумываемся о том, откуда берется наша пища и энергия и куда деваются наши отходы», – сказал Веласко, соучредитель «PLACE». «Есть реальная польза в том, чтобы люди понимали, как эти вещи работают вместе. В конечном итоге это делает жизнь более доступной и одновременно уменьшает воздействие на окружающую среду».

Администрация Сент-Луис Парк пересматривает свои нормативные документы, чтобы разрешить анаэробные метантенки. «Нам нравится идея устойчивого развития; она инновационная», – говорит Мэг МакМонигал, руководитель отдела городского планирования и зонирования. «Мы работаем над постановлением, а затем они вернутся с планом».

В Европе анаэробные метантенки были построены рядом с гостиницами, а в Дании один из них соединен с рестораном «Burger King», сказал Веласко. Но в жилых районах они используются редко. Тим Фарнан, специалист по переработке органики из Агентства по контролю за загрязнением окружающей среды штата Миннесота, сказал, что ему не известно ни об одном метантенке, привязанном к жилым комплексам в Миннесоте. Использование органических отходов жилых домов для надежного производства биогаза может быть сложнее, чем использование навоза, сказал Фарнан. В то время как в



сельскохозяйственных реакторах ежедневно используется одна и та же смесь ингредиентов, сказал он, органические отходы жилых домов могут быть богаты арбузами в одно время года и другими видами продуктов в другое.

Веласко сказал, что его компания работает с фирмой, которая строит метантенки, чтобы создать установку, подходящую для жилых домов. Власти Сент-Луис-Парка заявили, что не хотят ни запаха, ни шума, связанных с метантенком. Веласко сказал, что герметичный метантенк со шнеком, который будет медленно вращать отходы, превратит пищевые отходы в биогаз за 21 день. «Они сильно отличаются от навозных метантенков», – сказал он. «Они будут закрытыми, тихими и фильтрованными. ... Мы хотим, чтобы люди жили, работали, а дети играли рядом с ним, не подозревая о его существовании».

В метантенке будет перерабатываться 35 000 тонн органических отходов в год, вырабатывая около полутора мегаватт энергии. Веласко сказал, что община будет подключена к электросети в качестве резервной, «но мы представляем, что в конце года мы будем чистым производителем энергии и будем утилизировать больше [отходов], чем производим».

В случае реализации проекта, Веласко сказал, что хотел бы, чтобы в метантенк поступали органические отходы, которые уже собираются в Сент-Луис-Парке, а также органические отходы из округа Хеннепин. Он сказал, что уже разговаривал с одним комиссаром округа о возможном пилотном проекте. По словам Веласко, «PLACE» заключила генеральный договор аренды на участок Мак Гарви по адресу 5725 State Highway 7 с возможностью выкупа. Он планирует создать сообщество «совместной работы», состоящее из квартир и деловых или студийных помещений, ориентированных на арендаторов с разным уровнем дохода. «Мы думаем о креативном классе, включая создателей, которые заинтересованы в создании вещей, обмене новыми технологиями... предпринимателей для бизнеса и технологической инфраструктуры, и все это в атмосфере сотрудничества», – сказал он. По его словам, цель проекта – сделать в квартале систему самобеспечения, работающую от источников возобновляемой энергии. В квартале будут теплицы для круглогодичного производства продуктов питания с использованием жидких удобрений, производимых метантенком.

Таким образом, создание установок для анаэробной биологической очистки бытовых сточных вод с возможностью сбора и последующей утилизации биогаза является инновацией по мировым меркам и поэтому весьма перспективно.

### **Утилизация биогаза**

Утилизировать биогаз можно как обычное газообразное топливо, используемое в газогенераторах для выработки электроэнергии (Губерт, Корепанов, 2009). Состав оборудования показан на рис. 6, в качестве примера источника выбран сбор свалочного газа.

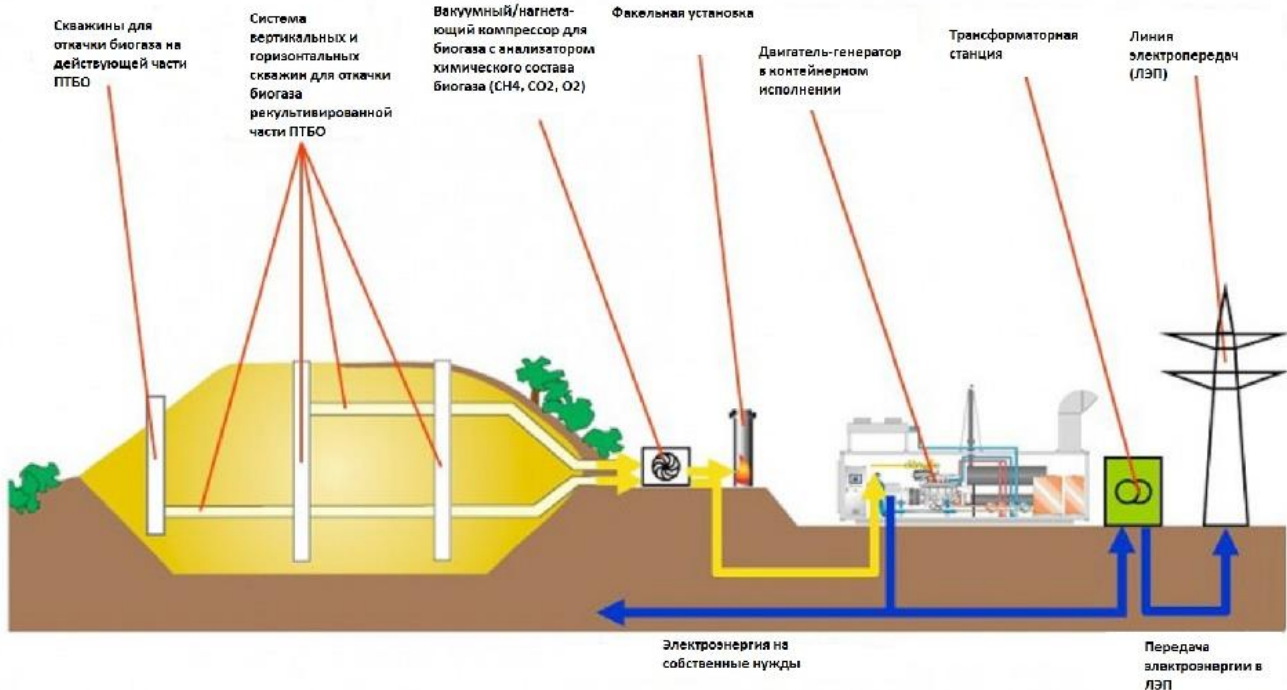
Свалочный газ содержит в своем составе большое количество вредных примесей и водяного пара, поэтому использовать его в качестве топлива невозможно. Чтобы очистить свалочный газ от примесей и сделать его пригодным для использования, обычно используются специальные скрубберы.

Скруббер – это газоочистное устройство, которое используется для очистки газообразных сред в различных химических и технологических процессах от примесей. Способ очистки газа, поступающего со свалки, в данном случае основан на промывке газа любой жидкостью, обычно, из-за дешевизны, здесь используется вода.

Этот метод позволяет полностью удалить из газа аэрозольные и пылевые частицы, а свалочный газ перестает содержать вредные вещества. Это означает, что после очистки свалочный газ может быть использован следующими способами:

- прямое сжигание в факелах для производства тепловой энергии.
- использовать в качестве топлива для двигателей и турбин с целью выработки тепла и электроэнергии.

Все эти методы идеально подходят для утилизации свалочного газа, но они не являются наиболее эффективными с точки зрения экономических выгод. Дело в том, что свалочный газ содержит в своем составе метан, а это значит, что его также можно использовать в газовых сетях общего назначения. Однако здесь не все так просто – из-за высокого содержания углекислого газа CO<sub>2</sub> в свалочном газе это не самое лучшее топливо. Следовательно, газ перед свалкой должен быть обогащен.



**Рис. 6.** Схема сбора и использования биогаза при рекультивации полигона твёрдых отходов (Короткая, Тимофеева, 2018)

Под обогащением свалочного газа понимается процесс доведения содержания метана в свалочном газе до 94-95 % (уровня природного газа). Этот процесс осуществляется на специализированных установках. После завершения обогащения свалочный газ может свободно использоваться в городских газовых сетях общего назначения.

Для того чтобы рассчитать точный выход свалочного газа с одной конкретной свалки, необходимо учитывать ряд различных факторов. Наиболее оправданным с экономической точки зрения является сбор и утилизация свалочного газа на тех полигонах твердых бытовых отходов, которые имеют глубину более 10 метров и содержат более 1 миллиона тонн отходов. Желательно, чтобы большая часть отходов на полигоне была не старше 10 лет. При соблюдении этих условий количество собираемого свалочного газа обычно составляет не менее 5 кубометров в год на одну тонну твердых бытовых отходов. Это особенно выгодно, поскольку такие объемы производства будут стабильными в течение 20 лет.

В качестве электростанций могут использоваться газопоршневые и газотурбинные установки. Газопоршневая электростанция 100 кВт (ЭГП-100) может использовать в качестве топлива природный газ, сжиженный пропан-бутан, сжатый газ, магистральный газ, попутный нефтяной газ, синтез-газ, пары больших дыханий резервуаров, промышленный газ, пиролизный газ, коксовый газ, биогаз, шахтный газ, газ сточных вод (Дизель-систем...). Установка создана на базе двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-238. Газопоршневые установки ЭГП-100 выпускаются в блочно-контейнерном исполнении (Рисунок 7), с автоматическим электронным регулированием стехиометрического соотношения воздуха и газа в топливной смеси, контролируемого лямбда-зондом.



**Рис. 7.** Газопоршневая электростанция ЭГП-100. Общий вид и установка во всепогодном металлическом кожухе

Металлический всепогодный шумозащитный кожух оборудован неподвижными защитными жалюзи на проемах приточной и вытяжной вентиляции. Конструкция металлического кожуха и расположение дверей обеспечивают удобный доступ ко всем основным узлам генератора для их осмотра и сервисного технического обслуживания. Дверцы легко снимаются. Внутренние поверхности кожуха облицованы термостойким звукопоглощающим материалом.

Система выпуска газов – газовыхлопной теплоизолированный трубопровод двигателя с промышленным глушителем (уровень снижения шума 12-15 дБА) с сифоном и искрогасителем. Глушитель расположен внутри кожуха.

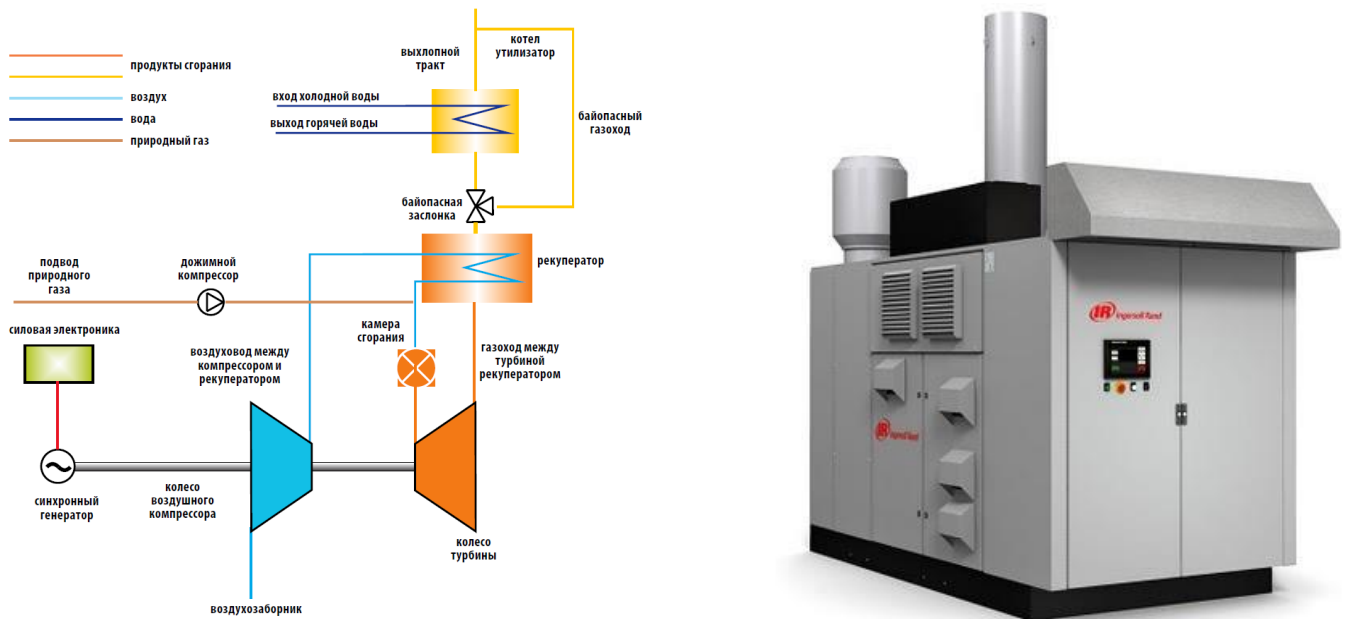
В качестве источников энергоснабжения при утилизации биогаза возможно использование микротурбинных энергоустановок. Принцип действия их схож с обычными газотурбинными электростанциями, отличие заключается в компактности, малом уровне шума (уровень звука на расстоянии 1 м от установки не более 75 дБА) и возможности производить рекуперацию тепловой энергии. Мини-электростанция Calnetix TA-100 RCHP – это микротурбина для комбинированного производства электроэнергии и рекуперации теплоты. При утилизации теплоты потребитель может получить или систему отопления и горячего водоснабжения, или, с помощью дополнительно используемого абсорбционного чиллера – систему охлаждения. Общий КПД установки при этом может составлять более 75 % ([Микротурбинная установка...](#)).

Установка ([Рисунок 8](#)) содержит газотурбинный двигатель, встроенный дожимной газовый компрессор, генератор, котёл-утилизатор, систему управления, аккумуляторы, звукоизолирующий кожух.

Газотурбинный двигатель состоит из одноступенчатого центробежного компрессора со степенью сжатия 4, который обеспечивает подачу воздуха в камеру сгорания, в которой производится смешение горючих газов с воздухом. Конструкция камеры обеспечивает стабильное горение и преобразование химической энергии газообразного топлива в тепловую энергию продуктов горения. Одноступенчатая центробежная турбина преобразует энергию горячих отходящих газов в крутящий момент на валу и является приводом для центробежного компрессора и высокоскоростного генератора. Рекуператор представляет собой газо-воздушный теплообменник, предназначенный для повышения экономичности установки за счёт передачи части тепла сжатому воздуху, поступающему из компрессора в камеру сгорания.

Номинальная мощность установки составляет 100 кВт, максимальная – 200 кВт. В качестве топлива может использоваться широкий спектр горючих газов, в том числе – метан, образующийся в процессе анаэробной очистки сточных вод от органических загрязнений. Расход газа составляет 32-37 м<sup>3</sup>/час в зависимости от теплоты сгорания топлива. Объём отходящих газов: 0,8 м<sup>3</sup>/сек. Установка может быть смонтирована внутри небольшого сооружения отдельного технического модуля с организацией отвода наружу

продуктов сгорания. Размеры установки для монтажа в помещении, длина: 3100 мм, ширина: 850 мм, высота: 1930 мм, масса установки 1860 кг.



**Рис. 8.** Микротурбинная установка Calnetix

Необходимо отметить, что так как при сжигании  $\text{CH}_4$  в атмосферу выделяется  $\text{CO}_2$ , то утилизация биогаза для производства энергии попадает под действие трансграничного углеродного регулирования. Однако в итоговом документе 26-ой Конференции ООН по климату, прошедшей в 2021 г. в Глазго (Великобритания), записано, что принятые ограничения не распространяются на сжигание органического топлива с технологиями очистки выбросов от углекислого газа (CCS – carbon capture and storage), нейтрализующими вред окружающей среде. Поэтому сбор и использование биогаза для получения электроэнергии с использованием технологий очистки как самого газа, так и образующихся продуктов его сгорания – можно отнести к «зелёной» энергетике, наряду с альтернативными и возобновляемыми источниками.

### 3. Заключение

В связи с тем, что промышленная добыча газа очень активно развивается, увеличиваются объемы добычи. Это негативно сказывается на состоянии экосистемы. В результате постоянно растущего потребления природных ресурсов и, в частности природного газа, выбросы в атмосферу углекислого газа резко возросло. Это повлекло за собой резкий рост парникового эффекта. Что в свою очередь ведет к изменению климата уже не локально, а в масштабах всей планеты: происходит таяние ледников, увеличение водной массы океанов, глобальное потепление.

Поэтому с каждым днем повышается актуальность проблемы сбора и утилизации биогаза. Наше будущее, будущее наших потомков и всей планеты в целом в наших руках.

### Литература

Белан, Креков, 2012 – Белан Б.Д., Креков Г.М. Влияние антропогенного фактора на содержание парниковых газов в тропосфере. Ч. 1. Метан // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. № 4. С.361-373.

Годиш, 2012 – Годиш Т. Канализационный газ // *Записная книжка для внутренней среды*. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Канализационный\\_газ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Канализационный_газ) (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Григорьева, 2022 – Григорьева Е. «Conveco». Установки утилизации биогаза для свалочных полигонов. URL: <https://conveco.ru/skhema-ekstraktsii-i-utilizatsii-gaza> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Губерт, Корепанов, 2009 – Губерт А.В., Корепанов М.А. Возможности термической утилизации газообразных отходов // *Химическая физика и мезоскопия*. 2009. Т. 11. № 4. С. 430-432.

Дзюба и др., 2012 – Дзюба А.В., Елисеев А.В., Мохов И.И. Оценка изменений скорости стока метана из атмосферы при потеплении климата // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2012. Т. 48. № 3. С. 372-382.

Дизель-систем... – «Дизель-систем»: Газопоршневая электростанция 100 кВт (ЭГП-100) АГП-100, когенерационная установка 100 кВт, газогенератор 100 кВт на биотопливе (ГГУ-100). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/6/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Егорова и др., 2008 – Егорова Т.А., Клунова С.М., Живухина Е.А. Основы биотехнологии: Учебное пособие. Изд. 4-е, стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 208 с.

Кароль, Киселев, 2006 – Кароль И.Л., Киселев А.А. Фотохимические модели атмосферы и их использование в исследованиях озоносферы и климата (Обзор) // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2006. Т. 42. № 1. С. 3-34.

Кароль, Решетников, 2014 – Кароль И.Л., Решетников А.И. Парниковые газы, аэрозоли, климат // *Труды ГГО им. А.И. Воейкова*. 2014. № 573. С. 5-38.

Киселев, 2019 – Киселев А.Л. Биогаз в США. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosbiogas.ru/literatura/perspektivi-razvitiya-biogazovix-texnologij/biogaz-v-ssha.html> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Клунова, 2019 – Клунова С.М. Биогазовая электростанция в Лучках. [Электронный ресурс]. URL: <https://mikhed.ru/world/2015-08-Biogaz-Powerplant-Luchki.html> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Коровицкий, Тоцкая, 2017 – Коровицкий С.А., Тоцкая А.А. Естественные пути стока парниковых газов из атмосферы на примере метана / *Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 6-ти частях*. Казань: Агентство международных исследований, 2017. Т. 1. С. 6-8.

Короткая, Тимофеева, 2018 – Короткая А.И., Тимофеева Т.А. Рекультивация полигонов отходов. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/5913890/page:5/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Леценко, 2022 – Леценко С. Цена на газ в Европе превысила \$2300 за 1 тыс. куб. м. [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/1267776/2021-12-22/tcena-na-gaz-v-evrope-prevysila-2300-za-1-tys-kub-m> (дата обращения: 02.01.2022 г.)

Микротурбинная установка... – Микротурбинная установка Calnetix TA-100 RCHP. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.micro-turbines.ru/service.php?id=2&item=1> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Панцхава, 2014 – Панцхава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика. М.: КноРус медиа, 2014.

Тимофеева, 2021 – Тимофеева Л.И. Крупнейшие биогазовые установки в мире. [Электронный ресурс]. URL: <http://wp.shbiogas.ru/234/> (дата обращения: 02.01.2022 г.).

Ткаченко и др., 2017 – Ткаченко Ю.Л., Морозов С.Д., Рахметова Э.Р. Разработка системы замкнутого водооборота для автономного энерго- и экологонезависимого жилого модуля // *Успехи современной науки и образования*. 2017. Т. 5. № 2. С. 83-85.

Шейна, Сысоев, 2009 – Шейна О.А., Сысоев В.А. Биохимия процесса производства биогаза как альтернативного источника энергии // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2009. Т. 14. № 1. С. 73-76.

Al-Yasiri, Gécz, 2021 – Al-Yasiri Q., Gécz G. Global Warming Potential: Causes and Consequences // *Academia Letters*. 2021. Article № 3202. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL3202>

Chianese, Rotz, 2009 – Chianese D.S., Rotz C.A., Richard T.L. Simulation of Methane Emissions from Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies // *Transactions of the ASABE (Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph, Mich.)*. 2009. Vol. 52. № 4. Pp. 1313-1323.

Folberth et al., 2012 – Folberth G.A., Rumbold S.T., Collins W.J., Butler T.M. Global radiative forcing and megacities // *Urban Climate*. 2012. № 1. Pp. 4-19.

Kvenvolden, Rogers, 2005 – Kvenvolden K.A., Rogers B.W. Gaia's breath – global methane exhalations // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. Vol. 22. № 20. Pp. 579-590.

Shindell et al., 2013 – Shindell D.T. et al. Radiative forcing in the ACCMIP historical and future climate simulations // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. Vol. 13. Pp. 2939-2974.

Star Tribune... – «Star Tribune»: Zero-waste community may sprout in St. Louis Park. [Electronic resource]. URL: <https://www.startribune.com/zero-waste-community-may-sprout-in-st-louis-park/254123221/> (date of access: 02.01.2022).

## References

Al-Yasiri, Géczy, 2021 – Al-Yasiri, Q., Géczy, G. (2021). Global Warming Potential: Causes and Consequences. *Academia Letters*. Article № 3202. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL3202>

Belan, Krekov, 2012 – Belan, B.D., Krekov, G.M. (2012). Vliyaniye antropogennogo faktora na sodержaniye parnikovykh gazov v troposfere. Ch. 1. Metan [Influence of the anthropogenic factor on the content of greenhouse gases in the troposphere. Part 1. Methane]. *Optika atmosfery i okeana*. 25(4): 361-373. [in Russian]

Chianese, Rotz, 2009 – Chianese, D.S., Rotz, C.A., Richard, T.L. (2009). Simulation of Methane Emissions from Dairy Farms to Assess Greenhouse Gas Reduction Strategies. *Transactions of the ASABE (Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph, Mich.)*. 52(4): 1313-1323.

Dizel'-sistem... – «Dizel'-sistem»: Gazoporshnevaya elektrostantsiya 100 kVt (EGP-100) AGP-100, kogeneratsionnaya ustanovka 100 kVt, gazogenerator 100 kVt na biotoplive (GGU-100) ["Diesel-system": Gas piston power plant 100 kW (EGP-100) AGP-100, cogeneration plant 100 kW, biofuel gas generator 100 kW (GGU-100)]. [Electronic resource]. URL: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/6/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Dzyuba i dr., 2012 – Dzyuba, A.V., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I. (2012). Otsenka izmenenii skorosti stoka metana iz atmosfery pri potepnenii klimata [Estimation of changes in the rate of methane runoff from the atmosphere during climate warming]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 48(3): 372-382. [in Russian]

Egorova i dr., 2008 – Egorova, T.A., Klunova, S.M., Zhivukhina, E.A. (2008). Osnovy biotekhnologii: Uchebnoe posobie [Fundamentals of Biotechnology: Textbook]. Izd. 4-e, ster. M.: Izdatel'skii tsentr «Akademiya». 208 p. [in Russian]

Folberth et al., 2012 – Folberth, G.A., Rumbold, S.T., Collins, W.J., Butler, T.M. (2012). Global radiative forcing and megacities. *Urban Climate*. 1: 4-19.

Godish, 2012 – Godish, T. (2012). Kanalizatsionnyi gaz [Sewer gas]. *Zapishnaya knizhka dlya vnutrennei sredy*. [Electronic resource]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Kanalizatsionnyi\\_gaz](https://ru.wikipedia.org/wiki/Kanalizatsionnyi_gaz) (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Grigor'eva, 2022 – Grigor'eva, E. (2022). «Conveco». Ustanovki utilizatsii biogaza dlya svalochnykh poligonov ["Conveco" Biogas utilization plants for landfills]. [Electronic resource]. URL: <https://conveco.ru/skhema-ekstraktsii-i-utilizatsii-gaza> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Gubert, Korepanov, 2009 – Gubert, A.V., Korepanov, M.A. (2009). Vozmozhnosti termicheskoi utilizatsii gazoobraznykh otkhodov [Possibilities of thermal utilization of gaseous wastes]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 11(4): 430-432. [in Russian]

Karol', Kiselev, 2006 – Karol', I.L., Kiselev, A.A. (2006). Fotokhimicheskie modeli atmosfery i ikh ispol'zovanie v issledovaniyakh ozonosfery i klimata (Obzor) [Photochemical models of the atmosphere and their use in the study of the ozonosphere and climate (Review)]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 42(1): 3-34. [in Russian]

Karol', Reshetnikov, 2014 – Karol', I.L., Reshetnikov, A.I. (2014). Parnikovyye gazy, aerzoli, klimat [Greenhouse gases, aerosols, climate]. *Trudy GGO im. A.I. Voeikova*. 573: 5-38. [in Russian]

Kiselev, 2019 – Kiselev, A.L. (2019). Biogaz v SSHA [Biogas in the USA]. [Electronic resource]. URL: <https://www.rosbiogas.ru/literatura/perspektivi-razvitiya-biogazovix-texnologij/biogaz-v-ssha.html> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

Klunova, 2019 – Klunova, S.M. (2019). Biogazovaya elektrostantsiya v Luchkakh [Biogas power plant in Luchki]. [Electronic resource]. URL: <https://mikhed.ru/world/2015-08-Biogas-Powerplant-Luchki.html> (date of access: 02.01.2022 g.). [in Russian]

**Korotkaya, Timofeeva, 2018** – *Korotkaya, A.I., Timofeeva, T.A.* (2018). Rekul'tivatsiya poligonov otkhodov [Recultivation of landfills]. [Electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/5913890/page:5/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

**Korovitskii, Totkaya, 2017** – *Korovitskii, S.A., Totkaya, A.A.* (2017). Estestvennye puti stoka parnikovyykh gazov iz atmosfery na primere metana [Natural ways of greenhouse gas sinks from the atmosphere on the example of methane]. *Kontseptsii ustoychivogo razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh: Sbornik statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 6-ti chastyakh*. Kazan': Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy. 1: 6-8. [in Russian]

**Kvenvolden, Rogers, 2005** – *Kvenvolden, K.A., Rogers, B.W.* (2005). Gaia's breath – global methane exhalations. *Marine and Petroleum Geology*. 22(20): 579-590.

**Leshchenko, 2022** – *Leshchenko, S.* (2022). Tsena na gaz v Evrope prevysila \$2300 za 1 tys. kub. m. [The price of gas in Europe exceeded \$2,300 per 1,000 cubic meters. m.]. [Electronic resource]. URL: <https://iz.ru/1267776/2021-12-22/tcena-na-gaz-v-evrope-prevysila-2300-za-1-tys-kub-m> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

**Mikroturbinnaya ustanovka...** – Mikroturbinnaya ustanovka Calnetix TA-100 RCHP [Microturbine installation Calnetix TA-100 RCHP]. [Electronic resource]. URL: <http://www.microturbines.ru/service.php?id=2&item=1> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

**Pantskhava, 2014** – *Pantskhava, E.S.* (2014). Bioenergetika. Mir i Rossiya. Biogaz. Teoriya i praktika [Bioenergetics. World and Russia. Biogas. Theory and practice]. M.: KnoRus media. [in Russian]

**Sheina, Sysoev, 2009** – *Sheina O.A., Sysoev V.A.* (2009). Biokhimiya protsessa proizvodstva biogaza kak al'ternativnogo istochnika energii [Biochemistry of the biogas production process as an alternative source of energy]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 14(1): 73-76. [in Russian]

**Shindell et al., 2013** – *Shindell, D.T. et al.* (2013). Radiative forcing in the ACCMIP historical and future climate simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 13: 2939-2974.

**Star Tribune...** – «Star Tribune»: Zero-waste community may sprout in St. Louis Park. [Electronic resource]. URL: <https://www.startribune.com/zero-waste-community-may-sprout-in-st-louis-park/254123221/> (date of access: 02.01.2022).

**Timofeeva, 2021** – *Timofeeva, L.I.* (2021). Krupneishie biogazovye ustanovki v mire [The largest biogas plants in the world]. [Electronic resource]. URL: <http://wp.shbiogaz.ru/234/> (date of access: 02.01.2022). [in Russian]

**Tkachenko i dr., 2017** – *Tkachenko, Yu.L., Morozov, S.D., Rakhmetova, E.R.* (2017). Razrabotka sistemy zamknutogo vodooborota dlya avtonomnogo energo- i ekologozavisimogo zhilogo modulya [Development of a closed water circulation system for an autonomous energy and environmentally independent residential module]. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya*. 5(2): 83-85. [in Russian]

## Сбор и утилизация биогаза

Марина Сергеевна Митина <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы сбора и утилизации биогаза. Анализируются виды биогаза, основные его источники, состав и схемы образования биогаза, зависимость выхода биогаза от вида органического источника. Рассматриваются проблемы изменения климата, глобального потепления и парникового эффекта. Изучаются возможности сбора и утилизации биогаза. Разрабатывается система биологической очистки бытовых сточных вод. Анализируются достоинства и недостатки современных установок по

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [mitina@amp1996.ru](mailto:mitina@amp1996.ru) (М.С. Митина)

переработке биогаза. Рассматриваются проблемы переработки отходов животноводства в России и возможность постройки биогазовых парков, на примере Германии.

В связи с тем, что промышленная добыча газа очень активно развивается, увеличиваются объемы добычи. Это негативно сказывается на состоянии экосистемы. В результате постоянно растущего потребления природных ресурсов и, в частности природного газа, выбросы в атмосферу углекислого газа резко возросло. Это повлекло за собой резкий рост парникового эффекта. Что в свою очередь ведет к изменению климата уже не локально, а в масштабах всей планеты: происходит таяние ледников, увеличение водной массы океанов, глобальное потепление. Поэтому с каждым днем повышается актуальность проблемы сбора и утилизации биогаза.

**Ключевые слова:** метан, парниковый эффект, глобальное потепление, парниковый эффект, загрязнение окружающей среды, глобальное изменение климата.