

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 621.311.6

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ И Г. СЕВАСТОПОЛЬ

Бекиров ¹Э.А., Абдурахманов ²Р.Н., Асанов ³М.М.ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Физико-технический институт

295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181

E mail: bekirov.e.a@cfuv.ru¹, rechatfor@gmail.com², asanov.m.m@cfuv.ru³

Аннотация. В работе проанализированы особенности мирового рынка производства биогаза. Произведен расчет количества сырья для биогазовой энергоустановки с целью выработки электроэнергии для снабжения потребителей Республики Крым и г. Севастополь. Выполнен сравнительный анализ стоимости капитального строительства проанализированной биогазовой энергоустановки и других возобновляемых источников энергии.

Предмет исследования: Биогазовая энергоустановка, предназначенная для покрытия потребностей в электроэнергии потребителей Республики Крым и г. Севастополь, количество ресурсов для организации ее эффективной работы и капитальные затраты на ее строительство.

Результаты: В исследовании установлено, что при использовании всего биогаза, выработанного из местного сырья, энергоустановка может покрыть 8 % из необходимой для потребителей Республики Крым и г. Севастополь электроэнергии. Капитальные затраты на строительство такой биогазовой энергоустановки составят по расчетам около 12 млрд. руб. Для строительства солнечной электростанции, которая будет вырабатывать такое же количество электроэнергии необходимо затратить около 27 млрд. руб., ветроэлектростанции наземного типа – около 38 млрд. руб.

Вывод: Полученные результаты позволяют оценить потенциальные возможности использования местного сырья для производства биогаза с целью выработки электроэнергии на территории Республики Крым и г. Севастополь. Сравнения капитальных затрат на строительство различных энергоустановок возобновляемой энергетики показывают значительное преимущество биогазовых энергоустановок и свидетельствуют о больших перспективах их развития в регионе.

Ключевые слова: производство биогаза, местное сырье, биогазовая энергоустановка, электроэнергия, Республика Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из видов возобновляемых источников энергии является биогаз, получаемый путем переработки органических отходов. В России, как и во многих других странах, интерес к биогазу растет с каждым годом. В статье рассматривается перспектива использования биогаза на основе животных отходов в Республике Крым

В России имеется значительный потенциал для производства биогаза. Огромное количество органических отходов, таких как сельскохозяйственные отходы, стоки клубники, отходы пищевой промышленности и агрохимии, могут быть использованы для производства биогаза. Однако на текущий момент производство биогаза из отходов значительно уступает в технологическом развитии и производственных мощностях таким возобновляемым источниками энергии, как ветровая и солнечная.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ литературных источников показывает, что одной из проблем является недостаточное количество специализированных установок для производства биогаза. В некоторых регионах России уже работают такие установки, однако выработанная ими энергия несоизмерима мала для

развития необходимого потенциала. Это ограничивает производство биогаза и его использование для производства электроэнергии, а также использования его в качестве горючего. Зачастую при ограниченном производстве биогаза, его необходимо использовать в удаленных от сети местности с применением автономных источников. Биогаз используется для генерации электроэнергии, тепло- и энергоснабжения в различных отраслях. Большие перспективы использования биогаза, в качестве биотоплива для транспортных средств, что позволит сократить выбросы вредных веществ и положительно влиять на экологическую обстановку.

Некоторые предприятия в России уже успешно реализуют проекты по производству и использованию биогаза. Подобные проекты позволяют использовать органические отходы, сокращать затраты на электроэнергию и вносить значительный вклад в развитие экологически чистой энергетики.

Как показывают данные Международного энергетического агентства (МЭА) 2022 г производство биогаза в мире ежегодно увеличивается. В 2000 году выработка составляла 129,9 ТВт·ч, а уже на 2022 составила 701,2 ТВт·ч. По прогнозам МЭА выработка биогазовой отрасли по всему миру на 2027 г. достигнет показателей в 912,3 ТВт·ч [1].

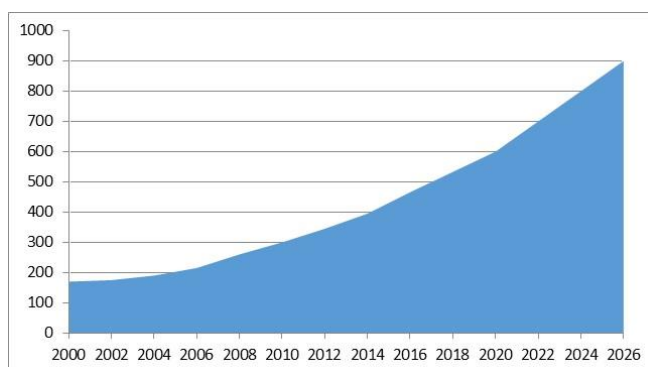


Рис. 1. Общее производство биогаза мира, 2000-2027 [1]

Fig. 1. Total biogas production of the world, 2000-2027 [1]

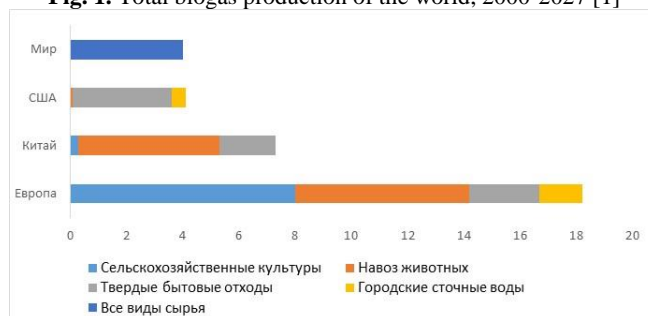


Рис. 2. Производство биогаза по регионам и видам сырья, 2018 [2]

Fig. 2. Biogas production by region and type of raw materials, 2018 [2]

Развитие биогаза во всем мире было неравномерным, поскольку оно зависит не только от доступности сырья, но и от политики, использования новых технологий поощряющей его производство и использование. На Европу, Китайскую Народную Республику и Соединенные Штаты приходится 90% мирового производства (рис. 2).

На рисунке 2 видно, что Европа является крупнейшим производителем биогаза. Германия на сегодняшний день является крупнейшим рынком, и на нее приходится две трети мощностей биогазовых установок в Европе [2]. Как можно заметить, биогазовая отрасль стала одной из самых быстроразвивающихся источников возобновляемой энергетики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе приведен анализ перспектив строительства биогазовой станции для выработки электроэнергии на основе отходов животного происхождения. Произведен сравнительный анализ стоимости строительства данного типа энергоустановок с электростанциями, работающими на солнечной и ветровой энергии, а также на газовом топливе.

Для подсчета суточного выхода навоза с поголовья скота будут использованные данные из таблицы 1 [3].

Таблица 1. Суточный выход навоза/помета [3]

Table 1. Daily yield of manure/manure [3]

Животное	Масса навоза/помета, кг/гол/сут.
Хряки	11,1
Свиноматки	11,36
Поросята	0,97
Свиньи на откорме	5,75
Быки-производители	40
Коровы лактирующие стельные (сухостойные) и нетели за два месяца до отела	55
Телята	8,7
Молодняк: телки и нетели	20,5
На откорме	30,5
Куры	0,216
Индейки	0,45
Утки	0,43
Гуси	0,59

На основании данных таблицы 1 усредненный коэффициент выработки сырья кг/гол/сут составит:

$$K_{pc} - 31 \text{ кг/гол/сут};$$

$$K_c - 7,3 \text{ кг/гол/сут};$$

$$K_n - 0,3 \text{ кг/гол/сут};$$

где K_{pc} - крупнорогатый скот; K_c – свиньи; K_n – птица.

Согласно данным Управления Федеральной службы государственной статистики по Республике

Крым и г. Севастополь поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий на 1 января 2022г. показаны в таблице 2 [4].

Для расчета были приняты сельскохозяйственные организации и крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели (рис. 3,4,5). Хозяйства населения не приняты во внимание в связи с сложностью контроля и транспортировки сырья [5].

Таблица 2. Поголовье скота в Крыму [4]
Table 2. Livestock in Crimea [4]

Все категории хозяйств	2020 г	2021 г	2022 г
Крупный рогатый скот (тыс. голов)	102,3	101,3	100,8
в т.ч. Коровы (тыс. голов)	49,9	48,6	49,9
Свиньи (тыс. голов)	114,4	112,6	104,5
Птица (тыс. голов)	6343,4	5626,4	5980

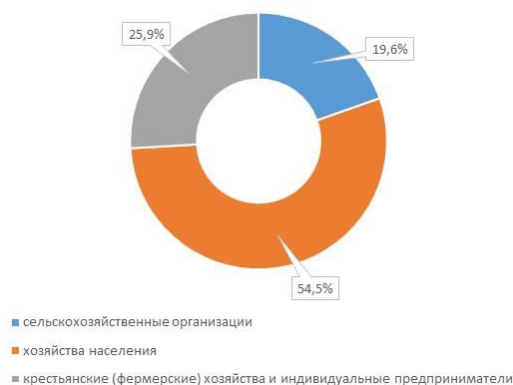


Рис.3. Количество поголовья КРС на период 2022г [5]
Fig.3. The number of cattle for the period 2022 [5]

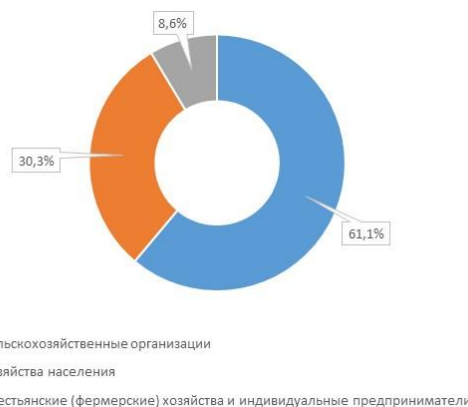


Рис.4 Количество поголовья свиней на период 2022г [5]
Fig.4 The number of pigs for the period 2022 [5]



Рис.5 Количество поголовья птиц на период 2022г [5]
Fig.5 The number of birds for the period 2022 [5]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Количество получаемого сырья в сутки (т) найдем по формуле:

$$m = Z_i * \frac{k_1}{100} * K_i, \quad (1)$$

где Z_i – поголовье скота, тыс. голов; k_1 – процент сельскохозяйственных организаций и крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные

предприниматели; K_i – усредненный коэффициент выработки сырья, кг/гол/сут.

Объем получаемого биогаза найдем по формуле:
 $V = m * k_2, \quad (2)$

где k_2 – коэффициент биогаза, выделившегося при разложении 1 т сырья, м³/т [6]; m – масса загружаемого сырья, т.

Для выработки электрической энергии был выбран газотурбинный генератор, работающий на

биогазе: газопоршневая электростанция 3000 кВт, двигатель ЯМЗ-8503, Vaudouin, серии АГ-3000С-Т400-1Р, полная комплектация "Maximum", в режиме параллельной работы (АГ-3000 Мини-ТЭЦ, в составе десяти газовых генераторов ГПУ 10*315 кВт с синхронизацией, суммарной мощностью 3000 кВт - 3 МВт / 0,4 кВ). Расход данной установки в номинальном режиме составляет 950 м³/ч [7].

Необходимое количество установок для полного использования топлива найдем по формуле:

$$A = \frac{V}{e}, \quad (3)$$

где V – объем биогаза, м³/ч; e – потребление одной установки в час (950 м³/ч).

Количество получаемой электрической энергии при использовании разного сырья найдем по формуле с помощью выбранных установок:

$$\mathcal{E} = A * P * t, \quad (4)$$

где P – мощность одной установки (3 МВт); t – время работы установки (1 час).

Результаты расчетов были занесены в таблицу 3.

Согласно официальным статистическим данным Филиала Системного оператора – Черноморское

РДУ потребления Республики Крым и г. Севастополь в мае 2022 года составило 606,7 млн кВт•ч.[8]

Полученные результаты, приведенные в таблице 3, показывают, что суммарное количество энергии, выработанное на основе коровьего, свиного навоза и куриного помета составляет 51 МВт*ч, что позволит покрывать 8% от потребления Республики Крым и г. Севастополь.

Согласно данным Управления энергетической информации США, капитальная стоимость постройки электростанций различного типа предоставлена в таблице 4 [9].

Капитальные затраты на строительство электростанции такой же мощности составят:

$$C = c * \sum P, \quad (5)$$

где P – мощность электростанции, Вт; c – капитальная стоимость одного киловатта электростанции.

Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 3. Итоговые результаты

Table 3. Final results

Вид животного	КРС	Свиньи	Птицы
Общее поголовье скота в Крыму в 2022 г., тыс. голов	100,8	104,5	5980
Усредненный коэффициент выработки сырья, кг/гол/сут	31	7,3	0,3
Количество получаемого сырья, т/сут	2126,6	531,7	1359,8
Объем получаемого биогаза, м ³ /сут	170128	45197	45197
Объем получаемого биогаза, м ³ /ч	7088,7	1883,21	7932,5
Необходимое количество установок для полного использования топлива, шт	7,46 (принято 7)	1,98 (принято 2)	8,34 (принято 8)
Получаемая электроэнергия МВт*ч	21	6	24

Таблица 4. Капитальная стоимость постройки электростанций (US\$/кВт)

Table 4. Capital cost of construction of power plants (US\$/kW)

Тип электростанции	Солнечная электростанция	Ветроэлектростанция наземного типа	Газотурбинная электростанция	Биогазовая электростанция
ЕІА	1561	1428	920	2592

Таблица 5. Капитальные затраты на строительство электростанций

Table 5. Capital costs for the power plants construction

Тип электростанции	Солнечная электростанция	Ветроэлектростанция наземного типа	Газотурбинная электростанция	Биогазовая электростанция
ЕІА(тыс\$)	79611	72828	46920	132192
ЕІА(млрд р)	7,165	6,554	4,223	11,9

Для солнечной и ветроэлектростанций необходимо сделать поправку на непостоянную выработку электрической энергии.

Для расчета необходимой номинальной мощности солнечной электростанции P_1 равной по годовой выработке биогазовой используем следующее выражение:

$$P_1 = \frac{b * P_c}{\sum(t_1 * K)}, \quad (6)$$

где P_c – необходимая выработка солнечной станции (51 МВт); t_1 – продолжительность светового дня (ч); K – количество солнечных дней в месяц; P_1 – номинальная мощность станции (МВт); b – количество часов в году (8760 ч).

Данные о продолжительности солнечного дня и процента облачности были взяты из Cedar Lake Ventures [10].

Для расчета необходимой номинальной мощности ветроэлектростанции P_2 за основу взяты ветрогенераторы Vopus B82 /2300 номинальной мощностью 2,3 МВт, а также данные о скорости ветра из [11, 12].

Номинальная мощность ветроэлектростанции с показателем выработки, аналогичным с биогазовой энергоустановкой составит:

$$P_2 = \frac{P_c * b}{\sum(P_i * \vartheta_i)} * P_n \quad (7)$$

где P_c – необходимая выработка ветроэлектростанции (51 МВт); ϑ_i – среднечасовая

скорость ветра, м/с [12]; P_i – мощность ветрогенератора при текущей скорости ветра, Вт; P_n – номинальная мощность ветрогенератора, Вт (2,3 МВт).

Итоговые результаты вычислений занесены в таблицу 6.

Таблица 6. Капитальные затраты на строительство электростанций, аналогичных биогазовой энергоустановки по выработке

Тип электростанции	Солнечная электростанция	Ветроэлектростанция наземного типа	Газотурбинная электростанция	Биогазовая электростанция
Номинальная мощность (МВт)	186	294,4	51	51
EIA(млн \$)	296,590	420,403	46,920	132,192
EIA(млрд р)	26,693	37,836	4,223	11,9

Table 6. Capital costs for the construction of power plants similar to a biogas power plant in terms of production

ВЫВОДЫ

В работе был проанализирован потенциал использования биогаза в Республике Крым. По полученным данным можно сделать вывод о том, что регион на данный момент имеет потенциал для строительства электростанции, которая используя отходы животного происхождения будет обладать номинальной мощностью 51 кВт. Это в свою очередь может покрыть 8% нужд потребителей электроэнергии Республики Крым и г. Севастополь. Анализ капитальной стоимости строительства показал, что биогазовая электростанция имеет экономический потенциал и возможности конкурировать с другими источниками энергии на возобновляемом топливе. Затраты на строительство такой станции, использующей биоресурс, в два раза меньше, чем на строительство солнечной электростанции и более чем в три раза меньше, чем на строительство ветроэлектростанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МЭА (2022), Возобновляемые источники энергии 2022, МЭА, Париж URL <https://www.iea.org/reports/renewables-2022> Лицензия: CC BY 4.0
2. МЭА (2020), Перспективы биогаза и биометана: перспективы органического роста, МЭА, Париж URL <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth> Лицензия: CC BY 4.0
3. Система нормативных документов агропромышленного комплекса министерства сельского хозяйства российской федерации методические рекомендации по технологическому проектированию методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета рд-апк 1.10.15.02-17 дата введения 1 сентября 2017 года
4. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г.Севастополю [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL

<https://82.rosstat.gov.ru/folder/27566>(Дата обращения 14.05.2023)

5. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г.Севастополю [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL <https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Инфографика%20погол%20%20скота.pdf> (Дата обращения 14.08.2023)

6. Томас А. Руководство по биогазу. От получения до использования / Томас А. Хартвиг фон Бредов. Жаклин Д. Г. [и др.] //Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR) Район Гюльцов Хофплатц 1 18276 Гюльцов-Прюцен, Германия, 5-е полностью переработанное издание, Гюльцов, 2010 г. С-79

7. ООО Компания «Дизель-Систем» [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/gpu3000/> (Дата обращения 24.09.2023)

8. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://www.so-ups.ru/odu-south/news/odu-south-news-view/news/18472/> (Дата обращения 24.09.2023)

9. Construction cost data for electric generators installed in 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL <https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/> (Дата обращения 20.02.2024)

10. Cedar Lake Ventures (WeatherSpark) [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://ru.weatherspark.com/about> (Дата обращения 20.02.2024)

11. Wind-turbine-models 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://en.wind-turbine-models.com/about> (Дата обращения 20.02.2024)

12. National Renewable Energy Laboratory [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://nrsdb.nrel.gov/data-viewer> (Дата обращения 20.02.2024)