

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BGQF1934>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 44.01.05

<https://doi.org/10.48081/BGQF1959>

**Н. Т. Рустамов¹, *О. Д. Меурбекова²,
А. Н. Бергузинов³, А. Г. Калтаев⁴**

^{1,2}Международный казахско-турецкий университет
имени Ходжи Ахмеда Ясави,

Республика Казахстан, г. Туркестан;

^{3,4}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1684-3347>

*e-mail: oksana_120183@mail.ru

ГИБРИДНАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ, РАБОТАЮЩАЯ НА БИОТОПЛИВЕ

В процессе эксплуатации энергостанций распределённой генерации (РГ) возникает одна из ключевых проблем – обеспечение стабильного и бесперебойного электроснабжения потребителей. Особенно это актуально для гибридных систем РГ, работающих на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, чья выработка напрямую зависит от погодных условий и времени суток. Традиционно данная проблема решалась использованием резервных дизельных или бензиновых генераторов, которые автоматически подключались при снижении мощности основных источников. Однако такие решения приводят к значительному увеличению себестоимости электроэнергии и росту выбросов вредных веществ в атмосферу.

Предлагаемое в работе решение направлено на создание автономной и экологически устойчивой энергосистемы. Для этого в качестве топлива предлагается использовать биогаз, получаемый из сельскохозяйственных и животноводческих отходов. Такой подход не только снижает эксплуатационные затраты, но и способствует переработке отходов, улучшая экологическую обстановку. В качестве генерирующего оборудования применяется газотурбинный генератор

(ГТГ), который способен работать в когенеративном режиме – то есть одновременно производить электрическую и тепловую энергию. Это особенно важно для удалённых и труднодоступных регионов, где помимо электроэнергии требуется также теплоснабжение. Таким образом, использование ГТГ на биотопливе обеспечивает повышение энергоэффективности, снижение себестоимости электроэнергии и уменьшение зависимости от внешних энергетических ресурсов.

Ключевые слова: распределенная генерация, режим когенеративности, эффективность работы ГРГ, биотопливо, биогаз.

Введение

Как известно, сегодня автономные энергетические системы, вырабатывающие электрическую энергию и находящиеся в эксплуатации на рынке, ориентированы на строго определённый регион. В этом случае такие системы в определённой степени теряют универсальность. С другой стороны, такие системы в значительной степени зависят от погодных условий. Для устранения этой зависимости применяются дополнительные установки генерации электрической энергии. Например, дизельные электростанции (ДЭС) [1]. Такой подход к устранению зависимости от погодных условий приводит к удорожанию себестоимости вырабатываемой электроэнергии данными РГ. Самое главное, использование таких РГ в удалённых регионах не обеспечивает возможности расширения их функциональности и работы в когенеративном режиме. Очевидно, что появление новых гибридных РГ требует систематизации существующих решений. Разработка новых гибридных РГ, работающих в когенеративном режиме и обеспечивающих выработку электроэнергии с низкой себестоимостью, сегодня является востребованной.

Целью работы является проектирование гибридной распределенной генерации (ГРГ), не зависящей от капризов погоды, работающей в когенеративном режиме и обеспечивающей стабильную выработку электрической энергии с низкой себестоимостью [2].

Материалы и методы

Сочетание гарантированного источника энергии – ДЭС и РГ – позволяет построить универсальные энергокомплексы с удовлетворительными технико-экономическими характеристиками. По данной технологии можно в определённой степени проектировать надёжные РГ для различных децентрализованных объектов. Однако при этом не только себестоимость

выработанной электрической энергии остаётся высокой, но и не обеспечивается работа РГ в режиме когенерации.

Такой вариант энергетического комплекса, хотя и включает два источника энергии, в определённом смысле позволяет устранить зависимость от погодных условий [3]. Сокращение времени работы дизельной части энергокомплекса обеспечивает значительную экономию дизельного топлива, однако именно эта составляющая повышает себестоимость выработанной электрической энергии.

Обобщённая схема гибридной системы электроснабжения рассматриваемого типа приведена на рисунке 1 [4].

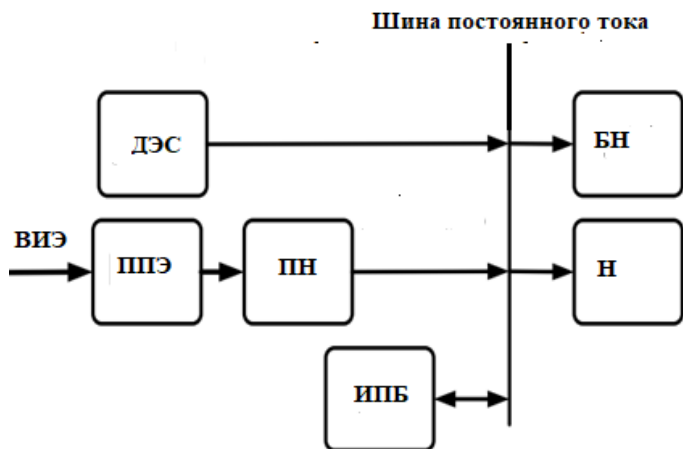


Рисунок 1 – Гибридная распределённая генерация с дублирующей ДЭС: ДЭС – дизельная электростанция; ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса; ПН – преобразователь напряжения; ИБП – источник бесперебойного питания; Н – нагрузка; БН – балластная нагрузка

Представленная схема гибридного энергетического комплекса предусматривает объединение различных источников электроэнергии на шине постоянного тока. При этом себестоимость вырабатываемой электрической энергии системой РГ увеличивается за счёт расхода дизельного топлива. С другой стороны, необходимо учитывать ограниченность данного ресурса.

Если в систему, показанную на рисунке 1, вместо ДЭС подключить газотурбинный генератор (ГТГ), работающий на биогазе, то появляется возможность снизить себестоимость производимой системой электрической энергии, а также дополнительно вырабатывать тепловую энергию. Такой

вариант уже можно рассматривать как когенеративный режим [5]. Если учесть, что биогаз вырабатывается из сельскохозяйственных и животноводческих отходов, то данный вид топлива обладает возобновляемыми свойствами. Это положение можно подтвердить расчётами.

Как известно, энергетический потенциал биомассы зависит от утилизации отходов сельскохозяйственного, животноводческого и растениеводческого производства. При этом можно получить не только биогаз для энергетических целей, но и биогумус, необходимый для тепличных хозяйств. В сельском хозяйстве Казахстана годовой объём органических отходов составляет около 40 миллионов тонн. Переработка этих отходов по биогазовым технологиям позволит получить около 18 миллиардов кубометров биогаза, что эквивалентно 14–15 млн тонн условного топлива, или 12,4 млн тонн мазута. Кроме того, образуется приблизительно 25–30 миллионов тонн гумуса [6; 7].

Пример расчёта экономической ценности биогаза и гумуса. Биогаз с содержанием метана 60% обладает энергетической ценностью около 6 кВт·ч/м³ или 21,6 МДж тепла на 1 м³.

Выход энергии при сжигании 1 л мазута составляет ≈10 кВт·ч. Если принять цену мазута 211,5 тг/л, то стоимость энергии будет составлять ≈21,15 тг/кВт·ч.

При использовании биогаза в термических целях (КПД = 90%) его стоимость:

$$6 \times 0,9 \times 21,15 = 114,21 \text{ тг/м}^3$$

При использовании биогаза в генераторах комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (предпосылки: электрический КПД = 35 %, тариф за подачу в сеть = 54,05 тг/кВт·ч, бонус за ВИЭ = 28,2 тг/кВт·ч): электроэнергия:

$$6 \times 0,35 \times (54,05 + 28,2) = 172,7 \text{ тг/м}^3$$

тепло (КПД = 50%):

$$6 \times 0,50 \times 21,15 = 63,45 \text{ тг/м}^3$$

Итого (электроэнергия + тепло) ≈ 236,2 тг/м³ биогаза.

Кроме того, переработка отходов даёт сухой гумус, который реализуется на рынке: кора-фракция (0–2 см, мешок) – около 2400 тг, сухой гумус в фасовке по 25 кг – около 300 тг/кг. Таким образом, биогазовые технологии обеспечивают не только выработку дешёвой энергии, но и дополнительную экономическую выгоду за счёт производства гумуса.

На основе выше проведённых расчётов спроектирована общая блок-схема установки получения биогаза (рисунок 2) [8; 9].

В настоящее время на рынке представлено множество установок для производства биогаза, которые преимущественно используются для бытовых и коммунальных нужд. В данной работе предлагается использовать биогаз в качестве топлива для ГТГ.

Предлагаемая установка функционирует следующим образом. Биогаз вырабатывается в результате брожения биоотходов. Последние через приёмник отходов поступают в биореактор, где происходит процесс анаэробного сбраживания. Образующийся биогаз с помощью мешалки доводится до необходимого состояния, после чего проходит стадию фильтрации и с помощью вакуумного насоса подаётся в газгольдер для хранения.

Оставшийся после сбраживания продукт, называемый органическим гумусом, направляется в приёмник гумуса. Полученный гумус является ценным почвоулучшающим материалом и может эффективно применяться в тепличных хозяйствах.

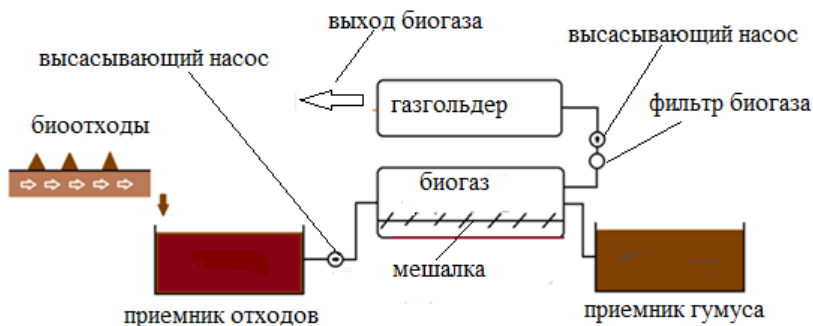


Рисунок 2 – Общая схема устройства получения биогаза.

Оценка себестоимости вырабатываемого биогаза

Биогаз является альтернативой природному газу и может быть использован для получения тепловой и электрической энергии [10; 11]. В дальнейшем под QM будем понимать массу исходного органического сырья (отхода).

Результаты и обсуждение

Исходные данные для расчётов: перерабатывается 10 т/сут коровьего навоза (10 000 кг/сут); плотность навоза принята равной $550 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$; температура мезофильного процесса анаэробного сбраживания – 32°C . Предельный объём метана на единицу органического вещества принят как $V_0=0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$. Время удерживания $\Theta=1$; коэффициент загрузки реактора $k_z=0,9$. Для расчёта общего объёма биогаза принята доля метана в газовой

смеси $\text{CH}_4=70\%$. Низшая теплотворная способность биогаза в примере – $\text{LHV}=23 \text{ МДж/м}^3$ (около $6\text{--}6.4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ в зависимости от состава).

Суточный объём биомассы в реакторе при заданной плотности составляет $Wb \approx 10000/550 \approx 18,18 \text{ м}^3/\text{сут}$. При доле сухого вещества 11.5% суточный выход сухих веществ оценивается как $G_{\text{сух}} \approx 1150 \text{ кг/сут}$. С использованием эмпирических зависимостей была получена оценка концентрации органического вещества $S_0 \approx 4,34$ и кинетических коэффициентов $\mu \approx 0,287 \text{ сут}^{-1}$.

Минимальный объём реактора, обеспечивающий нужное время удерживания, равен $V_{\text{min}} \approx Wb \cdot \Theta \approx 216 \text{ м}^3$. По принятой кинетической модели был получен суточный выход метана $\text{LCH}_4 \approx 14,4 \text{ м}^3/\text{сут}$, что соответствует общему суточному объёму биогаза $\text{ЛБГ} \approx 20,57 \text{ м}^3/\text{сут}$ при 70% -м содержании метана. Тепловая энергия от сжигания этого объёма биогаза оценивается в $Q_{\text{сут}} \approx 473 \text{ МДж/сут}$ ($\approx 131,4 \text{ кВт/сут}$).

Сопоставление с расчётом «на 1 тонну навоза» при сценарии высокого выхода ($60 \text{ м}^3/\text{т}$) даёт: из 1 т навоза может быть получено до 60 м^3 биогаза ($\approx 360 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ общей теплоты, при принятой $6 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$); из этих $360 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \approx 126 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ($\approx 35\%$) потенциально являются электричеством в когенерации, и $\approx 162 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ($\approx 45\%$) – теплом. Объём образующегося гумуса после компостирования и доочистки оценивается в диапазоне $\sim 150\text{--}300 \text{ кг/т}$ (в зависимости от исходного TS и технологических потерь) [12].

Экономическая оценка (ориентировочная): с учётом тарифной структуры (био/подключение/бонусы) энергетическая составляющая на 1 т даёт порядка нескольких тысяч тенге (электроэнергия + тепло), тогда как реализация гумуса (при цене $\sim 90 \text{ тг/кг}$) даёт заметный дополнительный доход/экономия на удобрениях – в сумме итоговая ресурсно-стоимостная оценка для сценария $60 \text{ м}^3/\text{т}$ составляет $\approx 18\text{--}31 \text{ тыс. тг/т}$ (интервал зависит от цены гумуса и используемых тарифов) [13].

Зависимости и практическая интерпретация. Основными факторами, влияющими на выход и экономику, являются: содержание сухих веществ (TS), время удерживания Θ , температура (т.е. режим ферментации-мезофильный и термофильный), соотношение субстратов при ко-ферментации и локальные тарифы на электроэнергию и тепло. Ко-ферментация навоза с пищевыми/силосными отходами может существенно повысить выход биогаза на тонну. Внедрение газотурбинных когенерационных установок целесообразно там, где есть потребность в тепле (тепличные хозяйства, животноводческие комплексы) и достаточный поток сырья.



Рисунок 3 – Суточный выход биогаза (м³/сут) и соответствующая тепловая энергия (кВт·ч/сут) при переработке 10 т/сут навоза



Рисунок 4 – Энергетический разрез на 1 тонну навоза при сценарии высокого выхода (60 м³/т): общая энергия (кВт·ч/т), доля электричества (кВт·ч/т), доля тепла (кВт·ч/т)

Энергетический результат: В результате мезофильного анаэробного сбраживания рогатого навоза в количестве 10 т/сут может быть получено до 473 МДж тепла в сутки. Эта тепловая энергия может быть использована

для отопления производственных и административных помещений сельскохозяйственного предприятия в холодные периоды года [14].

Кроме того, образуется значительный объём биогаза с содержанием метана около 60 %, который может быть направлен на работу газотурбинного генератора. При электрическом КПД 35% данный объём биогаза способен обеспечить производство 46–50 кВт·ч электроэнергии в сутки, что является существенным подспорьем для энергообеспечения автономных хозяйств.

Аграрный результат: Побочным продуктом переработки является органический гумус, обладающий высокой агрономической ценностью. Его применение в тепличных хозяйствах способствует повышению урожайности и снижению затрат на минеральные удобрения.

Таким образом, внедрение установки мезофильного анаэробного сбраживания позволяет не только повысить энергетическую независимость сельскохозяйственного предприятия, но и создать замкнутый цикл переработки органических отходов с получением как энергетических, так и аграрных ресурсов.

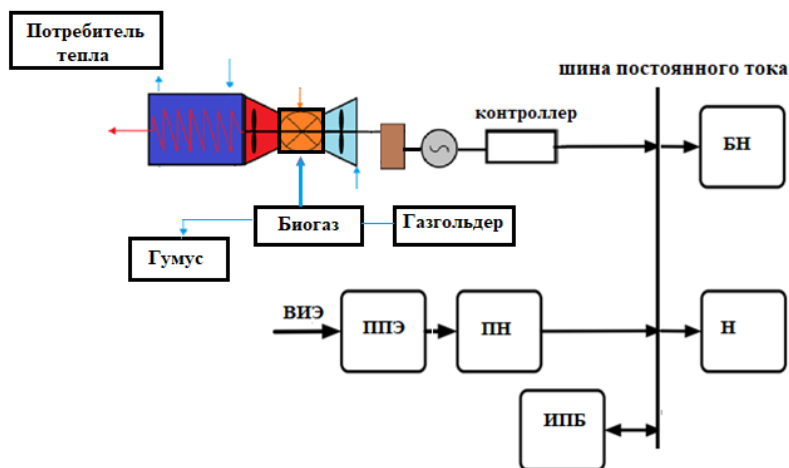


Рисунок 5 – ГРГ, работающая в режиме когенеративности

Предложенная в работе ГРГ не только способствует поддержанию непрерывности выработки электрической энергии в системе РГ, но и обеспечивает электрической энергией в микросети вне зависимости от

капризов погоды. Предложенная гибридная РГ работающая в режиме когенерации в составе системы РГ запатентована [15].

Опыт показал, что 1 м³ биогаза содержит приблизительно ≈5,5 кВт·ч (≈19,8 МДж) энергии; соответственно 60 м³/т дают ≈330 кВт·ч/т (≈1 188 МДж/т ≈ 283,8×10³ ккал).

На основе этих графиков вычислена энергетическая и материальная ценность 1 т навоза КРС (при высоком выходе биогаза):

Биогаз: 60 м³/т → ≈330 кВт·ч/т; при работе когенератора распределение энергии: электроэнергия ≈ 35% (≈115,5 кВт·ч/т), тепло ≈ 45% (≈148,5 кВт·ч/т).

Гумус: после переработки образуется ≈150–300 кг/т.

Экономическая оценка (Казахстан, 2025):

Электроэнергия: 115,5 кВт·ч × 32,23 тг/кВт·ч ≈ 3 724 тг.

Тепло: 148,5 кВт·ч × 4,51 тг/кВт·ч ≈ 670 тг.

Гумус: при цене ≈90 тг/кг → 13 500 – 27 000 тг/т.

Итого: ресурсная ценность ≈ 17.9 – 31.4 тыс. тг/т (включая гумус).

Наибольший вклад даёт реализация гумуса; энергетическая составляющая – дополнительный доход и обеспеченность электро- и теплоснабжения.

Выводы

В работе рассмотрена концепция ГРГ, работающей в когенеративном режиме с использованием биогаза, получаемого из отходов животноводства и сельского хозяйства. Показано, что сочетание возобновляемых источников энергии с газотурбинными генераторами на биогазе позволяет повысить энергетическую эффективность и надёжность автономных энергокомплексов.

Установлено, что из 1 тонны навоза крупного рогатого скота при мезофильном анаэробном сбраживании можно получить до 60 м³ биогаза, что эквивалентно ≈330 кВт·ч энергии. При работе в когенерационном режиме распределение энергии составляет:

электроэнергия – ≈115,5 кВт·ч (35 %);

тепловая энергия – ≈148,5 кВт·ч (45 %).

Дополнительно при переработке 1 тонны навоза образуется 150–300 кг органического гумуса, который является ценным удобрением для тепличных хозяйств. Таким образом, наибольшую экономическую выгоду обеспечивает не только энергетический, но и аграрный компонент переработки.

Экономическая оценка показала, что совокупная ресурсная ценность 1 тонны навоза КРС составляет ≈18–31 тыс. тенге (в ценах Казахстана, 2025 г.). Наибольший вклад формируется за счёт гумуса, при этом биогаз обеспечивает дополнительный энергетический эффект и возможность покрытия части потребности в электроэнергии и тепле.

Предложенная гибридная система электроснабжения на основе когенерации с биогазом может быть рекомендована для применения в сельскохозяйственных регионах Казахстана как перспективное направление снижения энергетической зависимости и повышения экологической устойчивости агропромышленного комплекса.

Список использованных источников

1 Альтернативные источники сырья и топлива: тезисы докладов конференции АИСТ–2017, 30 мая–1 июня 2017 г., Минск. – Минск : Институт химии новых материалов НАН Беларуси, 2017. – 79 с.

2 **Арефьев, С. Н.** Опыт концессии биотопливной котельной // Новости теплоснабжения. – 2015. – № 10(182). – С.28–29.

3 **Афонина, Е. О.** Методы подготовки биогаза перед его подмешиванием в сеть природного газа // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы IX междунар. науч.-практич. конф. – Саратов : ЦеСАин, 2018. – С. 8.

4 **Андышева, М. С.** Биогаз – альтернативный источник энергии // Вестн. НГИЭИ. Сер. Техн. науки. – 2014. – Вып.6(37). – С. 22–26.

5 **Баторшин, В. А., Котлер, В. Р.** Зарубежный опыт использования биомассы в качестве топлива для энергетических котлов // Энергетика за рубежом. – 2016. – № 6. – С. 25–35.

6 **Бессмертных, А. В., Зайченко, В. М., Майков, И. Л.** О классификации используемых в электроэнергетике видов биомассы // Пром. энергетика. - 2013. – № 4. – С. 54–57.

7 **Хужакулов, А.Ф., Тиллоев, Л.И., Махмудов, М.Ж. и др.** Биогазовые энергетические установки для фермерских хозяйств. Анализ процессов, влияющих на эффективность их использования // Молодой ученый. – 2013. – № 2(49). – С.70–72.

8 **Марков, В. А., Девянин, С. Н., Зыков, С. А., Гайдар, С. М.** Биотопливо для двигателей внутреннего сгорания/монография. – М. : НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. – 292 с.

9 **Есенов, Е., Колупаев, Н.** Малая распределённая энергетика и ВИЭ ЭНЕРГЕТИКА. – 2020. – № 1 (72)6. – С. 17–19. – www.kazenergy.kz

10 **Рустамов, Н. Т., Меирбекова, О. Д.** Система распределенной генерации на базе газотурбинного генератора. Международная научно-техническая конференция «Проблемы и решения эффективного использования альтернативных источников энергии» 1 часть. – Фергана, 2023.

11 Буланин, В. А., Буланин, А. В., Лапин, Е. А. Газотурбинные технологии – в энергетику Белгородской области // Газотурбинные технологии. – 2001. – №1. – С. 14–16.

12 Рустамов, Н. Т., Мейрбеков, А. Т., Мейрбекова, О. Д. Способ всепогодного электроснабжения теплицы из альтернативного источника энергии. Патент РК на полезный модель № 6797 от 04.01.2022.

13 Amer, M., et al. A review of hybrid renewable energy systems for electricity generation: configurations, control, and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70. – 2017. – P. 1331–1345.

14 Kalantar, M., & Mousavi, G. Dynamic modeling and simulation of a solar–wind–diesel–fuel cell hybrid power system // Renewable Energy. – 34(1). – 2010. – P. 174–179.

15 Рустамов, Н. Т., Мейрбеков, А. Т., Аvezова, Н. Р., Мейрбекова, О. Д., Бабахан, Ш. А. Гибридная система для выработки тепловой и электрической энергии. Патент на полезную модель № 7970 от 24.11.2023.

References

1 Al'ternativnye istochniki syr'ya i topliva: tezisy dokladov konferencii AIST–2017 [Alternative sources of raw materials and fuels: abstracts of the AIST–2017 conference], 30 maya–1 iyunya 2017 g., Minsk. – Minsk: Institut himii novykh materialov NAN Belarusi, 2017. – 79 p.

2 Aref'ev, S. N. Opyt koncessii biotoplivnoj kotel'noj [Biofuel boiler concession experience]// Novosti teplosnabzheniya. – 2015. – № 10(182). – P. 28–29.

3 Afonina, E. O. Metody podgotovki biogaza pered ego podmeshivaniem v set' prirodnoego gaza [Methods of biogas preparation before mixing it into the natural gas network] // Aktual'nye problemy energetiki APK: materialy IX mezhdunar. nauch.-praktich. konf. – Saratov : CeSAin, 2018. – P. 8.

4 Andysheva, M. S. Biogaz – al'ternativnyj istochnik energii [Biogas is an alternative energy source] // Vestn. NGIEI. Ser. Tekhn. nauki. – 2014. – Vyp. 6(37). – P. 22–26.

5 Batorshin, V. A., Kotler, V. R. Zarubezhnyj opyt ispol'zovaniya biomassy v kachestve topliva dlya energeticheskikh kotlov [Foreign experience in using biomass as fuel for power boilers]// Energetika za rubezhom. – 2016. – № 6. – P. 25–35.

6 Bessmertnyh, A. V., Zajchenko, V. M., Majkov, I. L. O klassifikacii ispol'zuemyh v elektroenergetike vidov biomassy [On the classification of types

of biomass used in the electric power industry] // Prom. energetika. – 2013. – № 4. – С. 54–57.

7 **Huzhakulov, A. F., Tilloev, L. I., Mahmudov, M. Zh. i dr.** Biogazovye energeticheskie ustanovki dlya fermerskih hozyajstv. Analiz processov, vliyayushchih na effektivnost' ih ispol'zovaniya [Biogas power plants for farms. Analysis of processes affecting the effectiveness of their use] // Molodoj uchenyj. – 2013. – № 2(49). – P. 70–72.

8 **Markov, V. A., Devyanin, S. N., Zykov, S. A., Gajdar S. M.** Biotoplivo dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines] / monografiya. – M. : NIC «Inzhener» (Soyuz NIO), 2016. – 292 p.

9 **Esenov, E., Kolupaev, N.** Malaya raspredelyonnaya energetika i VIE [Small distributed energy and renewable energy sources] ENERGETIKA № 1 (72) | mart [2020]. – P. 17-19. – www.kazenergy.kz

10 **Rustamov, N. T., Meirbekova, O. D.** Sistema raspredelennoj generacii na baze gazoturbinnogo generatora [A distributed generation system based on a gas turbine generator]. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Problemy i resheniya effektivnogo ispol'zovaniya al'ternativnyh istochnikov energii» 1 chast'. – Fergana, 2023.

11 **Bulanin, V. A., Bulanin, A. V., Lapin, E. A.** Gazoturbinnye tekhnologii – v energetiku Belgorodskoj oblasti [Gas turbine technologies – for the energy sector of the Belgorod region] // Gazoturbinnye tekhnologii. – 2001. – № 1. – P. 14–16.

12 **Rustamov, N. T., Meirbekov, A. T., Meirbekova, O. D.** Sposob vsezonnoego elektrosnabzheniya teplicy iz al'ternativnogo istochnika energii. [A method of year-round power supply to a greenhouse from an alternative energy source] Patent RK na poleznyj model' № 6797 ot 04.01.2022.

13 **Amer, M., et al.** «A review of hybrid renewable energy systems for electricity generation: configurations, control, and applications». Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70. – 2017. – P.1331–1345.

14 **Kalantar, M., & Mousavi, G.** «Dynamic modeling and simulation of a solar–wind–diesel–fuel cell hybrid power system». Renewable Energy. – 34(1). – 2010. – P. 174–179.

15 **Rustamov, N. T., Meirbekov, A. T., Avezova, N. R., Meirbekova, O. D., Babahan, Sh. A.** Gibridnaya sistema dlya vyrabotki teplovoj i elektricheskoy energii [A hybrid system for generating heat and electricity]. Patent na poleznyy model' № 7970 ot 24.11.2023.

Поступило в редакцию 01.11.25.

Поступило с исправлениями 05.11.25.

Принято в печать 27.02.26.

Н. Т. Рустамов¹, *О. Д. Меирбекова², А. Н. Бергузинов³, А. Г. Калтаев⁴

^{1,2}Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.;

^{3,4}Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.11.25 ж. баспаға түсті.

05.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

БИООТЫНМЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ГИБРИДТІ ТАРАТЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ

Таратылған генерация (ТГ) энергостанцияларын пайдалану барысында негізгі мәселелердің бірі – тұтынушыларды тұрақты әрі үздіксіз электр энергиясымен қамтамасыз ету. Бұл мәселе әсіресе гибриді ТГ жүйелерінде өзекті, өйткені олар күн және жел сияқты жаңартылатын энергия көздеріне негізделген, ал мұндай көздердің өндірісі ауа райы жағдайына және тәулік уақытына тікелей тәуелді. Дәстүрлі түрде бұл мәселе дизель немесе бензинмен жұмыс істейтін қосалқы генераторларды қолдану арқылы шешілетін. Алайда мұндай шешімдер өндірілетін электр энергиясының өзіндік құнын айтарлықтай арттырып, қоршаған ортаға зиянды заттардың шығарындыларын көбейтеді.

Ұсынылып отырған шешім автономды және экологиялық тұрғыдан тұрақты энергия жүйесін құруға бағытталған. Бұл жүйеде отын ретінде ауыл шаруашылығы мен мал шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогаз пайдаланылады. Мұндай тәсіл пайдалану шығындарын азайтып қана қоймай, қалдықтарды қайта өңдеуге мүмкіндік беріп, экологиялық жағдайды жақсартады. Газтурбиналық генератор (ГТГ) негізгі энергия көзі ретінде қолданылады, ол когенерациялық режимде жұмыс істей алады, яғни бір мезгілде электр және жылу энергиясын өндіреді. Бұл әсіресе шалғай және қолжетімсіз аймақтарда маңызды, өйткені мұндай жерлерде электрмен қатар жылумен жабдықтау да қажет. Осылайша, биототықты отынмен жұмыс істейтін ГТГ қолдану энергия тиімділігін арттырып, өндірілетін электр энергиясының өзіндік құнын төмендетеді және сыртқы энергия көздеріне тәуелділікті азайтады.

Кілтті сөздер: таратылған генерация, когенерациялық режим, ГТГ жұмыс тиімділігі, биоотын, биогаз.

*N. T. Rustamov*¹, **O. D. Meirbekova*², *A. N. Berguzinov*³, *A. G. Kaltayev*⁴

^{1,2}Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University,

Republic of Kazakhstan, Turkistan;

^{3,4}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 01.11.25.

Received in revised form 05.11.25.

Accepted for publication 27.02.26.

BIOFUEL-POWERED HYBRID DISTRIBUTED GENERATION

During the operation of distributed generation (DG) power plants, one of the key challenges is ensuring stable and uninterrupted power supply to consumers. This issue is particularly relevant for hybrid DG systems based on renewable energy sources such as solar and wind energy, whose output directly depends on weather conditions and the time of day. Traditionally, this problem was solved by using backup diesel or gasoline generators that automatically started when the main sources lost power. However, such solutions significantly increase the cost of electricity production and contribute to higher emissions of harmful substances into the atmosphere.

The proposed solution aims to create an autonomous and environmentally sustainable energy system. As fuel, biogas obtained from agricultural and livestock waste is used. This approach not only reduces operating costs but also promotes waste recycling and improves environmental conditions. The generating equipment is a gas turbine generator (GTG), which operates in a cogeneration mode, simultaneously producing both electrical and thermal energy. This is especially important for remote and hard-to-reach regions where there is a need for both electricity and heat. Thus, the use of GTG running on biofuel increases energy efficiency, lowers the cost of generated electricity, and reduces dependence on external energy sources.

Keywords: distributed generation, cogeneration mode, efficiency of HDG operation, biofuels, biogas.

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz