

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»
КеАҚ



КӨЛІК-ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XIV ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC- PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

Астана, 2026

УДК 656:620.9

ББК 65.37+65.305.1

A43

Редакционная коллегия:

Председатель – Талтенов А.А., член Правления – Проректор по науке и коммерциализации, д.х.н., профессор; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., ассоциированный профессор; Тлепиева Г.М. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», к.т.н., доцент; Тогизбаева Б.Б. – заведующая кафедрой «Транспортная инженерия», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующая кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Жумажанов С.К.– заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент; Садыкова С.Б. – заведующая кафедрой «Теплоэнергетика», PhD, доцент.

A43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: XIV Международная научно-практическая конференция, 19 марта 2026г. / Подгот. А.А. Талтенов, У.Ш. Кокаев, Г.М. Тлепиева – Республика Казахстан, г.Астана, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», 2026. – 632 с.

ISBN 978-601-385-216-4

В сборник включены материалы XIV Международной научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 19 марта 2026 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам логистики, организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.

ISBN 978-601-385-216-4

УДК 656:620.9
ББК 65.37+65.305.1

© НАО «ЕНУ имени Л.Н. Гумилева», 2026

**Секция 4 «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

Айтмагамбетова М. Б., Мергалимова А.К. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗА ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА ДЛЯ РАСТОПКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ	502
Айтмагамбетова Г.А., Никифоров А.С. АНАЛИЗ ПОТОКОВ В КОМПЛЕКСЕ ПРОКАЛКИ НЕФТЯНОГО КОКСА НА ОСНОВЕ ОРИЕНТИРОВАННОГО ГРАФА	506
Алибеков Р.К., Оришевская Е. В. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА	509
Гуськов Н.К., Отаншыл А.Б., Карабекова Д.Ж. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ	512
Zhumagulov M.G., Sadykova S.B., Romanenko S.V. MODERN TECHNOLOGIES IN THERMAL POWER ENGINEERING EDUCATION IN KAZAKHSTAN	516
Жұманазар Н.Д., Әкімбек Г.Ә. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ	520
Карманов А.Е., Никифоров А.С., Кинжибекова А.К., Приходько Е.В., Габдулов А.У. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ	530
Қасен Т.Т., Мерзудинова Г.Т. ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ МЕН ЭНЕРГИЯ САҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ АЙМАҚТЫҚ ЭНЕРГИЯ ТАПШЫЛЫҒЫН АЗАЙТУ ӘДІСТЕМЕСІ	533
Мирза О.Ф. ПОДГОТОВКА СУБСТРАТА ДЛЯ АНАЭРОБНОГО БРОЖЕНИЯ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ: ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ	537
Попп Д.А., Кинжибекова А.К. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ НА ТЭЦ: ПЕРЕХОД ОТ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ К РУКАВНЫМ ФИЛЬТРАМ В РАМКАХ НДТ	541
Сейтжаппаров Н.Қ., Мергалимова А.К. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ	545
Таранов П.П., Арипова Н.М., Приходько Е.В., Оришевская Е.В., Кажобаева А.Т. АНАЛИЗ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ	549
Умирзаков Р.А., Атякшева А.В. ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЮЧЕГО ГАЗА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ УГЛЕЙ КАЗАХСТАНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	552
Умирзаков Р.А., Абдирова М.Т., Карибекұлы Ш. КӨМІРДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЖЫЛУ ЭЛЕКТР ОРТАЛЫҚТАРЫН ГАЗ ОТЫНЫНА АУЫСТЫРУ АРҚЫЛЫ ШЫҒАРЫНДЫЛАРДЫ АЗАЙТУДЫҢ МҮМКІНДІГІН ТАЛДАУ	555

Чарыков В.И., Евдокимов А.А. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАБОТАННЫХ ОСЕВЫХ МАСЕЛ	561
--	-----

ПОДГОТОВКА СУБСТРАТА ДЛЯ АНАЭРОБНОГО БРОЖЕНИЯ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ: ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ

Мирза Омар Фарух

omar.mirza1908@gmail.com

Докторант кафедры «Теплоэнергетика»

НАО «ЕНУ им. Л. Н. Гумилева», Астана, Казахстан

Аннотация. В статье представлен обзор современных методов подготовки субстратов для анаэробного брожения в биогазовых установках. Рассмотрены основные виды органического сырья, применяемые в биогазовом производстве, их характеристики и энергетический потенциал. Проанализированы механические, термические, химические и биологические методы предварительной обработки субстрата. Охарактеризованы ключевые параметры процесса сбраживания – температурный режим, кислотность среды, влажность и перемешивание. Приведены данные по выходу биогаза из различных видов субстратов.

Ключевые слова: биогаз, анаэробное брожение, субстрат, метантенк, предварительная обработка, метаногенез, биогазовая установка.

Введение

Производство биогаза методом анаэробного сбраживания органических отходов является одним из наиболее перспективных направлений возобновляемой энергетики. Биогаз представляет собой горючую газовую смесь, состоящую преимущественно из метана (55–75%) и углекислого газа (25–45%), а также незначительных примесей сероводорода, азота и водяных паров. Теплотворная способность 1 м³ биогаза составляет 20–25 МДж/м³, что эквивалентно энергии 0,6 м³ природного газа [1].

Эффективность биогазовой установки (БГУ) во многом определяется качеством подготовки субстрата – органической массы, подаваемой на сбраживание. Правильно подготовленный субстрат обеспечивает оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, ускоряет процесс ферментации и увеличивает выход биогаза. Цель настоящей работы – систематизировать актуальные сведения о методах и подходах к подготовке субстрата для анаэробного брожения.

1 Виды субстратов и их характеристики

Анаэробному сбраживанию могут подвергаться практически все виды органического сырья. Принято различать три основные группы субстратов: отходы животноводства и птицеводства, растительное (энергетическое) сырьё и органические отходы промышленности и коммунального хозяйства [2].

Отходы животноводства – навоз КРС, свиной навоз, птичий помёт – являются наиболее распространёнными субстратами для БГУ в аграрном секторе. Их главные преимущества: доступность, нулевая или низкая стоимость, наличие собственной микрофлоры (метаногенные бактерии попадают в навоз из кишечника животных), хорошая перекачиваемость. Навоз КРС и навозная жижа свиней хорошо смешиваются с любыми другими субстратами, обеспечивая стабильность ферментационных процессов [3].

Растительное сырьё – силос кукурузы, травяной силос, сахарная свёкла, зерновые – отличается существенно более высоким выходом биогаза по сравнению с навозом. Так, из 1 тонны различных видов энергетических растений можно получить 150–500 м³ биогаза с содержанием метана до 70% [4]. В Европе кукурузный силос является одним из наиболее эффективных растительных субстратов: с 1 гектара посевов он даёт высокий урожай и до 220 м³ биогаза с тонны. Применение энергетических культур экономически обосновано при наличии соответствующей ресурсной базы.

Органические отходы промышленности – послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный и фруктово-овощной жом, отходы бойней, молочная сыворотка – также являются ценным сырьём для БГУ. Данные по выходу биогаза из различных субстратов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Выход биогаза из различных видов субстратов [5, 6]

Субстрат	Выход биогаза, м ³ /т	Содержание СН ₄ , %
Навоз КРС (природный, влажность 87%)	46	55–60
Навоз КРС подстилочный (влажность 60%)	100	55–60
Навоз свиной самосплавный (влажность 95%)	25	55–65
Птичий помёт клеточный (влажность 65%)	150	60–65
Птичий помёт подстилочный (влажность 50%)	200	60–65
Силос кукурузный (влажность 65%)	240	52–55
Травяной силос	300	54–56
Фруктово-овощной жом (влажность 80%)	134	50–55
Свекольный жом (влажность 75%)	168	52–56
Отходы боен	350	60–70
Зерно, мука, хлеб	600	55–62

Как следует из данных табл. 1, наиболее высоким энергетическим потенциалом обладают жиросодержащие субстраты (отходы бойней) и зерновые продукты. Навозы животных, при значительно меньшем выходе газа с тонны, остаются предпочтительным сырьём ввиду постоянного образования и нулевой стоимости.

2 Методы предварительной подготовки субстрата

Предварительная подготовка субстрата перед сбраживанием направлена на обеспечение оптимального использования энергетического потенциала сырья. Она включает сортировку, измельчение, гомогенизацию, а также механические, термические, химические и биологические методы дезинтеграции [7].

Механическая обработка. Измельчение является наиболее распространённым способом подготовки субстрата. Чем меньше размер частиц, тем больше площадь контакта бактерий с органическим материалом, тем легче и быстрее происходит разложение субстрата. По данным Института сельского хозяйства в Саксонии (ФРГ), измельчение биомассы положительно влияет на выход метана при сбраживании: из измельчённого материала получают на 14–26% больше метана, чем из неподготовленной биомассы. При этом в силосе кукурузы на 12-й день, а в сенаже на 8-й день сбраживания выход метана был равен показателям необработанного субстрата на 30-й день [8].

Гомогенизация обеспечивает создание однородной консистенции субстратной массы, предотвращает расслоение, образование плавающей корки и осадка. Для гомогенизации применяются специальные смесители и диспергаторы. Измельчённое до дисперсного состояния сырьё также значительно легче перемешивать, смешивать и подогревать [7].

Термическая обработка. При нагреве субстрата разрушается лигнино-целлюлозная решётка биомассы, целлюлоза переходит в доступные для микроорганизмов простые сахара. Для соломы озимой пшеницы содержание сахара увеличивается при обработке при температуре 140°C в 7 раз, а при 180°C – в 40 раз. При обработке соломы паром под

давлением прирост выхода метана после ферментации составляет до 48% по сравнению с необработанным субстратом [8].

Ультразвуковая дезинтеграция. Облучение субстрата с высоким содержанием влаги ультразвуком с частотой 20 кГц обеспечивает расщепление органического сырья за счёт эффекта кавитации. В зависимости от интенсивности облучения достигается различная степень измельчения клеток биомассы. С помощью ультразвуковой дезинтеграции выход биогаза увеличивается на 40,4%, а время ферментации существенно сокращается [8].

Химические методы применяются для субстратов с особыми характеристиками. Так, при сбраживании спиртовой барды используют щёлочь для нейтрализации кислой среды. Возможна переработка данных субстратов по одностадийной технологии при коферментации (совместном сбраживании) с навозом или силосом [9].

Коферментация (совместное сбраживание нескольких видов субстратов) является одним из наиболее эффективных подходов к оптимизации состава субстрата. Смешивание животных и растительных субстратов позволяет сбалансировать соотношение углерода и азота (C/N), повысить общий выход биогаза и стабилизировать процесс ферментации. Например, чистый жидкий навоз свиней практически не используют как единственное сырьё из-за высокого содержания воды (до 95%), однако его смешивание с силосом или навозом КРС позволяет получить оптимальный субстрат [3].

3 Технологические параметры процесса сбраживания

Анаэробное брожение протекает в четыре последовательных биохимических этапа: гидролиз, ацидогенез (кислотообразование), ацетогенез и метаногенез. На стадии гидролиза крупные молекулы белков, жиров и углеводов расщепляются до аминокислот, сахаров и жирных кислот. На стадии ацидогенеза образуются летучие жирные кислоты, спирты, водород и углекислый газ. Ацетогенные бактерии перерабатывают промежуточные продукты в уксусную кислоту, CO_2 и H_2 . Наконец, метаногенные археобактерии преобразуют ацетат и водород непосредственно в метан и воду [1, 2].

Температурный режим является критически важным параметром процесса. Различают три температурных режима: психрофильный (15–20°C, длительность брожения 30–40 суток), мезофильный (35–38°C, 12–20 суток) и термофильный (50–55°C, 5–12 суток). Наиболее широко применяется мезофильный режим как наиболее экономичный и наименее требовательный к точности поддержания условий. Резкие перепады температуры угнетают метаногенов, поэтому изменение температуры в реакторе не должно превышать 1–2°C в сутки [10].

Кислотность среды (рН). Оптимальный диапазон рН для метаногенных микроорганизмов составляет 6,8–7,5. При снижении рН ниже 6,5 метаногены угнетаются и выход газа резко снижается. Избыток белковых субстратов может привести к накоплению аммиака, а переизбыток углеводов – к закислению среды. Двухстадийные системы с отдельным реактором гидролиза позволяют контролировать кислотность и предотвращать сбой [9, 10].

Влажность субстрата. При «мокрой» технологии содержание сухого вещества в субстрате составляет менее 12%, при «сухой» – более 20%. «Мокрая» технология является преобладающей в сельскохозяйственном биогазовом производстве: субстрат должен быть разжижен водой до состояния, позволяющего его перекачивание насосами. Для домашних установок рекомендуется разжижение субстрата водой не менее чем до 85% влажности [6].

Перемешивание субстрата обеспечивает равномерное распределение температуры и питательных веществ по объёму реактора, предотвращает образование корки и осадка, поддерживает контакт свежего субстрата с бактериальной микрофлорой. Рекомендуется медленное периодическое перемешивание через каждые 4–6 часов. Оптимальное перемешивание повышает выход биогаза до 50% [11]. Применяются механические (погружные и наклонные мешалки), гидравлические и барботажные системы перемешивания.

Соотношение C/N. Оптимальное соотношение углерода и азота в субстрате составляет 20–30:1. При низком C/N происходит накопление аммиака и ингибирование процесса, при высоком – дефицит азота замедляет рост микроорганизмов. Подбор состава субстрата с учётом этого показателя является одним из инструментов оптимизации коферментации.

Заключение

Подготовка субстрата является ключевым этапом биогазового производства, определяющим эффективность и рентабельность всей установки. Выбор вида сырья и метода его предварительной обработки должен основываться на технико-экономическом анализе доступной ресурсной базы. Механическое измельчение и гомогенизация повышают доступность органического вещества для микроорганизмов и увеличивают выход метана на 14–48%. Термические и ультразвуковые методы дезинтеграции эффективны для лигнинсодержащих и трудноразлагаемых субстратов. Коферментация субстратов животного и растительного происхождения обеспечивает стабильность процесса и оптимизацию выхода биогаза. Контроль температуры, pH, влажности и перемешивания в реакторе является обязательным условием эффективной работы биогазовой установки.

Список использованных источников

1. Биогаз // Материал из Википедии. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Биогаз> (дата обращения: 01.03.2026).
2. Врагов А.В., Мурзакулов Н.А., Ысламов М.М. Инженерно-экономический расчёт биогазовой установки на аридных территориях в кооперативных хозяйствах Республики Кыргызстан // Universum: технические науки. – 2022. – №7(100). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14054>.
3. Биогаз из навоза и навозной жижи КРС, свиней, лошадей // AgroBiogas. – URL: <https://agrobiogas.com.ua/ru/biogas-from-manure-and-liquid-slurry-of-cattle-pigs-horses/> (дата обращения: 01.03.2026).
4. Технологии получения биогаза при анаэробной ферментации органических веществ // КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-polucheniya-biogaza-pri-anaerobnoy-fermentatsii-organicheskikh-veschestv> (дата обращения: 01.03.2026).
5. Выходы биогаза из различных видов сырья // Зорг Биогаз ГмбХ. – URL: <https://zorg-biogas.com/ru/biogaz/vygod-biogaza> (дата обращения: 01.03.2026).
6. Совершенствование технологии производства биогаза // КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologii-proizvodstva-biogaza> (дата обращения: 01.03.2026).
7. Технология получения биогаза // AgroBiogas. – URL: <https://agrobiogas.com.ua/ru/technology-for-biogas-production/> (дата обращения: 01.03.2026).
8. Методы подготовки биомассы к эффективному биогазовому производству // AgroBiogas. – URL: <https://agrobiogas.com.ua/ru/methods-of-biomass-preparation-for-efficient-biogas-production/> (дата обращения: 01.03.2026).
9. Сырьё для биогаза // AgroBiogas. – URL: <https://agrobiogas.com.ua/ru/raw-material-for-biogas/> (дата обращения: 01.03.2026).
10. Технология анаэробного брожения: что происходит внутри установки // СельхозБиоГаз. – URL: <https://shbiogaz.ru/biogazovye-komplekсы/tpost/jri37190y1-tehnologiya-anaerobnogo-brozheniya-cto> (дата обращения: 01.03.2026).
11. Научные результаты и практические данные по традиционным биогазовым установкам // СИГРЭ. – URL: https://cigre.ru/research_commitets/ik_rus/c6_rus/domain/Bio_Mod.pdf (дата обращения: 01.03.2026).