

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ

Б.С. Расаходжаев., Ш.Б. Бекчанов

Ташкентский государственный технический университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14523305>

**Аннотация:** В статье рассматриваются особенности работы автономных энергетических комплексов, предназначенных для рационального использования биомассы в качестве возобновляемого источника энергии. Основное внимание уделяется техническим характеристикам таких систем, их эффективности и экологической безопасности. Проведен анализ современных подходов к конверсии биомассы в энергию с использованием инновационных технологий, а также рассматриваются аспекты оптимизации энергопроизводства в зависимости от доступности сырья и местных условий эксплуатации. Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по повышению эффективности работы энергокомплексов, снижению затрат и минимизации воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** биомасса, возобновляемая энергия, автономные энергетические комплексы, энергоэффективность, экологическая безопасность, конверсия биомассы, устойчивое развитие, оптимизация энергосистем.

## FEATURES OF THE OPERATION OF AUTONOMOUS ENERGY COMPLEXES FOR THE EFFICIENT USE OF BIOMASS

**Abstract:** The article examines the operational features of autonomous energy complexes designed for the efficient utilization of biomass as a renewable energy source. Particular attention is paid to the technical characteristics of such systems, their efficiency, and environmental safety. An analysis of modern approaches to biomass conversion into energy using innovative technologies is presented, along with considerations for optimizing energy production based on the availability of raw materials and local operating conditions. The findings provide recommendations for improving the efficiency of energy complexes, reducing costs, and minimizing environmental impact.

**Keywords:** biomass, renewable energy, autonomous energy complexes, energy efficiency, environmental safety, biomass conversion, sustainable development, energy system optimization.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные энергетические системы сталкиваются с рядом вызовов, связанных с увеличением спроса на энергию, истощением традиционных источников топлива и негативным влиянием на окружающую среду. В этих условиях биомасса становится перспективным возобновляемым ресурсом, способным внести значительный вклад в обеспечение энергетической устойчивости. Использование биомассы для производства энергии обладает рядом преимуществ, включая снижение углеродного следа, утилизацию органических отходов и повышение энергетической независимости регионов.

Одним из ключевых направлений в развитии этой области является внедрение автономных энергетических комплексов, которые позволяют эффективно преобразовывать биомассу в электроэнергию и тепло. Такие системы обладают высоким потенциалом адаптации к местным условиям, что делает их особенно актуальными для удалённых и труднодоступных регионов. Однако успешная реализация этих технологий требует

решения ряда задач, связанных с оптимизацией работы комплексов, повышением их энергоэффективности и снижением воздействия на окружающую среду.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Настоящая статья посвящена исследованию особенностей работы автономных энергетических комплексов для рационального использования биомассы. Рассматриваются современные технические решения, методы конверсии и возможности оптимизации систем с целью повышения их эффективности и устойчивости.

Автономные энергетические комплексы, работающие на основе биомассы, представляют собой высокотехнологичные системы, предназначенные для преобразования биологического сырья в энергию. Эти системы находят широкое применение в сельском хозяйстве, промышленных предприятиях и в удалённых населённых пунктах, где доступ к централизованным источникам энергии ограничен.

Одним из ключевых преимуществ таких комплексов является их способность использовать широкий спектр видов биомассы, включая древесные отходы, сельскохозяйственные остатки, органические бытовые отходы и специально выращенные энергетические культуры. Для достижения максимальной эффективности и устойчивости важно учитывать характеристики доступного сырья, а также условия эксплуатации системы.

Энергетические комплексы, работающие на биомассе, включают несколько этапов преобразования: сбор и подготовка сырья, его термическая или биохимическая обработка, преобразование в энергию и её распределение. Наиболее распространённые методы преобразования биомассы включают:

- **Термическая конверсия** (сжигание, газификация, пиролиз);
- **Биохимическая конверсия** (анаэробное сбраживание, ферментация).

Выбор технологии зависит от типа сырья и энергетических требований потребителей. Например, для древесных отходов наиболее эффективной является газификация, тогда как для сельскохозяйственных остатков предпочтительным является анаэробное сбраживание.

Автономные комплексы снижают зависимость от ископаемых видов топлива, что способствует уменьшению выбросов парниковых газов и улучшению экологической обстановки. Кроме того, переработка отходов в энергию решает проблему их утилизации, снижая нагрузку на свалки. Экономическая эффективность таких систем повышается благодаря использованию местного сырья, что особенно важно для изолированных регионов.

**Таблица 1. Эффективность различных методов конверсии биомассы**

Метод конверсии	Тип сырья	КПД (%)	Основной продукт	Побочные продукты
Сжигание	Древесные отходы	30-35	Тепло, электроэнергия	Зола
Газификация	Древесные отходы, солома	35-45	Синтез-газ	Твёрдый углеродный остаток

Метод конверсии	Тип сырья	КПД (%)	Основной продукт	Побочные продукты
Анаэробное сбраживание	Органические отходы	50-65	Биогаз	Органическое удобрение
Пиролиз	Лигноцеллюлозные отходы	40-55	Биомасляные жидкости	Синтез-газ, углерод

*Источник составлен автором.*

Таблица представляет собой сравнительный анализ различных методов конверсии биомассы, используемых в автономных энергетических комплексах. Она включает пять колонок: метод конверсии, тип сырья, коэффициент полезного действия (КПД), основной продукт и побочные продукты.

Первая колонка — **“Метод конверсии”** — показывает основные технологические подходы, которые применяются для переработки биомассы в энергию. Приведены наиболее популярные методы: сжигание, газификация, анаэробное сбраживание и пиролиз. Эти процессы различаются по своим механизмам преобразования и конечным продуктам.

Вторая колонка — **“Тип сырья”** — указывает, какие виды биомассы подходят для каждого метода. Например, для сжигания обычно используются древесные отходы, для газификации — древесные отходы и солома, для анаэробного сбраживания — органические отходы, а для пиролиза — лигноцеллюлозные материалы. Этот параметр помогает определить совместимость конкретного метода с доступным сырьём.

Третья колонка — **“Коэффициент полезного действия (КПД)”** — отражает энергетическую эффективность каждого метода. КПД измеряет процент энергии, полученной из биомассы, относительно её исходной энергии. Например, сжигание имеет сравнительно низкий КПД 30–35 %, тогда как газификация и пиролиз достигают 35–45 % и 40–55 % соответственно. Анаэробное сбраживание является самым эффективным среди перечисленных методов, с КПД 50–65 %.

Четвёртая колонка — **“Основной продукт”** — описывает целевые результаты каждого метода. Для сжигания это тепло и электроэнергия, для газификации — синтез-газ, для анаэробного сбраживания — биогаз, а для пиролиза — биомасляные жидкости, которые могут использоваться как топливо.

Пятая колонка — **“Побочные продукты”** — описывает дополнительные материалы, образующиеся в процессе переработки. Например, при сжигании остаётся зола, при газификации — твёрдый углеродный остаток, а при анаэробном сбраживании — органические удобрения. Эти побочные продукты могут использоваться повторно, что повышает общую экономическую эффективность процессов.

Таблица даёт возможность сравнить методы конверсии биомассы по ключевым параметрам, помогая выбрать наиболее подходящий подход для конкретных условий. Например, если цель — производство газа для бытовых нужд, предпочтение может быть отдано анаэробному сбраживанию благодаря его высокой эффективности и полезным побочным продуктам. Если требуется универсальный энергоноситель, газификация может быть лучшим выбором. Такие данные позволяют интегрировать системы конверсии в энергокомплексы с максимальной выгодой.

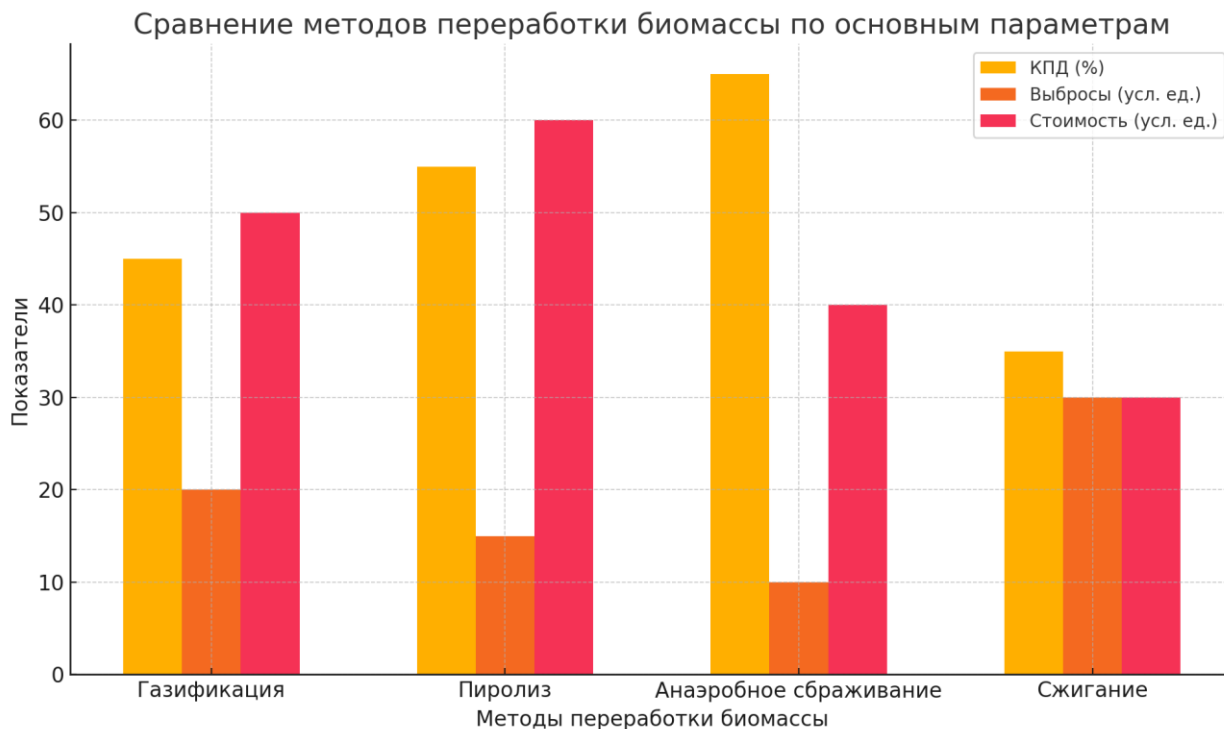
**Диаграмма 1. Сравнение Методов Переработки Биомасс По Основным**

Диаграмма представляет собой сравнительный анализ четырёх основных методов переработки биомассы: газификации, пиролиза, анаэробного сбраживания и сжигания. На ней отображены три ключевых параметра: коэффициент полезного действия (КПД), уровень выбросов и стоимость эксплуатации. КПД показывает эффективность преобразования биомассы в энергию, где наивысший результат демонстрирует анаэробное сбраживание с показателем 65%, за ним следуют пиролиз с 55% и газификация с 45%, в то время как сжигание имеет самый низкий КПД в 35%. Уровень выбросов оценивает экологическую безопасность методов, где анаэробное сбраживание выделяется минимальными выбросами (10 усл. ед.), пиролиз и газификация имеют умеренные показатели (15 и 20 усл. ед. соответственно), а сжигание характеризуется наибольшими выбросами (30 усл. ед.). Стоимость эксплуатации отражает затраты на реализацию технологии, где анаэробное сбраживание имеет низкую стоимость (40 усл. ед.), газификация показывает средний уровень (50 усл. ед.), пиролиз является более затратным (60 усл. ед.), а сжигание оказывается самым экономичным с показателем 30 усл. ед. Диаграмма помогает оценить баланс между эффективностью, экологичностью и экономичностью каждого метода, позволяя сделать вывод, что анаэробное сбраживание является наиболее эффективным и экологически безопасным вариантом, хотя газификация и пиролиз могут быть предпочтительными в зависимости от доступности сырья и ресурсов. Сжигание, несмотря на экономичность, обладает низкой эффективностью и высоким уровнем выбросов, что делает его менее привлекательным для экологически ориентированных проектов. Такой анализ важен для выбора наиболее подходящей технологии переработки биомассы в зависимости от конкретных условий и задач.

Совершенствование автономных энергетических комплексов, работающих на биомассе, является ключевым направлением развития современных энергетических

технологий. Одним из основных шагов в этом направлении является внедрение интеллектуальных систем управления, которые обеспечивают автоматизацию и оптимизацию всех этапов процесса — от сбора и подготовки сырья до распределения энергии. Такие системы используют алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа параметров работы комплекса в реальном времени, что позволяет повысить его эффективность, минимизировать энергопотери и предотвратить возможные аварии.

Повышение эффективности конверсии биомассы достигается за счёт использования инновационных технологий, таких как каталитические реакторы, которые ускоряют химические реакции, обеспечивая более полное и экономичное преобразование сырья в энергию. Эти реакторы особенно эффективны при газификации и пиролизе, где использование катализаторов позволяет получать высококачественные синтез-газы и биотопливо с минимальными выбросами. Комбинированные циклы, включающие интеграцию нескольких методов преобразования энергии, таких как термические и биохимические процессы, способствуют максимальному использованию энергетического потенциала биомассы.

Также важным аспектом является снижение затрат на эксплуатацию таких комплексов. Это достигается благодаря модернизации оборудования, переходу на модульные конструкции, которые упрощают монтаж и обслуживание систем, а также разработке новых методов переработки побочных продуктов. Например, зола, образующаяся при сжигании биомассы, может использоваться в качестве строительного материала, а органические остатки — в сельском хозяйстве в качестве удобрений.

В долгосрочной перспективе дальнейшее развитие технологий позволит не только повысить энергоэффективность, но и сократить себестоимость энергии. Одной из ключевых целей является создание замкнутых циклов производства, в которых все побочные продукты и отходы перерабатываются и повторно используются, что обеспечивает полную экологическую устойчивость. Кроме того, совершенствование технологий хранения энергии, таких как системы аккумуляции тепла и электричества, сделает автономные комплексы более стабильными и адаптируемыми к изменяющимся условиям.

Таким образом, автономные энергетические комплексы, работающие на биомассе, обладают значительным потенциалом для обеспечения устойчивого развития и энергетической независимости в условиях ограниченных ресурсов. Их внедрение способствует решению ряда ключевых проблем, таких как утилизация отходов, снижение углеродного следа и обеспечение стабильного энергоснабжения, что особенно важно для удалённых регионов и стран с ограниченными природными ресурсами. Дальнейшая работа в этом направлении должна быть направлена на интеграцию новых технологий, повышение экономической доступности таких комплексов и развитие международного сотрудничества для распространения передового опыта.

## **ВЫВОД**

Автономные энергетические комплексы, использующие биомассу, представляют собой перспективное и многофункциональное решение для обеспечения устойчивого и экологически безопасного энергоснабжения. Их внедрение позволяет не только эффективно перерабатывать биологические отходы в энергию, но и решать важные экологические и социально-экономические задачи. Эти комплексы способствуют



снижению зависимости от ископаемого топлива, уменьшению выбросов парниковых газов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Кроме того, они обеспечивают утилизацию отходов, что особенно актуально для регионов с недостаточно развитой инфраструктурой переработки.

Анализ современных технологий показал, что применение методов термической и биохимической конверсии, таких как газификация, пиролиз, анаэробное сбраживание и сжигание, позволяет максимально эффективно преобразовывать биомассу в электроэнергию, тепло и биотопливо. Эти технологии, в сочетании с инновационными решениями, включая каталитические реакторы, интеллектуальные системы управления и комбинированные циклы, значительно повышают энергоэффективность комплексов и их экономическую целесообразность. Использование побочных продуктов, например, золы для производства строительных материалов или органических удобрений, дополнительно увеличивает экологическую и экономическую ценность таких систем.

Особое значение имеет адаптация автономных комплексов к региональным условиям. Их модульная конструкция и гибкость в выборе сырья делают их идеальными для использования в удалённых и труднодоступных местах, где централизованные энергосистемы недоступны. Это способствует энергетической независимости регионов и улучшению качества жизни местного населения.

Дальнейшее развитие автономных систем должно быть сосредоточено на интеграции замкнутых циклов производства, при которых все побочные продукты и отходы перерабатываются и повторно используются. Это позволит существенно повысить экологическую устойчивость и экономическую рентабельность таких комплексов. Кроме того, необходимо активное внедрение интеллектуальных технологий, включая алгоритмы машинного обучения и системы прогнозирования, которые обеспечат высокую надёжность работы и снижение эксплуатационных затрат.

В перспективе ожидается, что развитие технологий хранения энергии, например, аккумуляторов тепловой и электрической энергии, повысит стабильность и адаптивность автономных комплексов к изменяющимся условиям эксплуатации. Международное сотрудничество и обмен передовым опытом также станут важными факторами успешного распространения и применения данных систем.

Таким образом, автономные энергетические комплексы на основе биомассы обладают значительным потенциалом для решения современных энергетических вызовов. Их широкое применение позволит не только улучшить энергообеспечение, особенно в регионах с ограниченными ресурсами, но и внести вклад в реализацию глобальных целей устойчивого развития, включая снижение углеродного следа и переход к экологически безопасным технологиям. Эти комплексы станут важным шагом на пути к энергетической независимости, стабильности и экологической гармонии

#### Список источников

1. Водяников В.Т. “Теоретические основы формирования эффективной системы энергосбережения в агропромышленном комплексе”. Текст научной статьи по специальности «Экономика и бизнес». — Журнал «Энергетика и экономика», 2021, №3, с. 45–52.
2. Бельский А.А., Старшая В.В., Шклярский Я.Э. “Автономный комплекс электропрогрева нефтяных скважин с использованием возобновляемых источников

- энергии”. Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование». — Журнал «Возобновляемая энергетика», 2022, №2, с. 78–85.
- 3 Bekmuratov R., Rakhmatov A. “Biomass utilization in rural energy systems of Uzbekistan”. *Renewable Energy Studies*, 2021, Vol. 36, pp. 145–152.
  - 4 Ghosh D., Dasgupta S. “Biomass Energy Conversion Technologies for Sustainable Development”. *International Journal of Energy Research*, 2020, Vol. 44, Issue 7, pp. 563–579.
  - 5 Мирзаев И.Н., Усмонов Д.А. “Биомассанинг энергетик самарадорлигини ошириш учун замонавий технологиялар”. Тошкент, Фан ва технологиялар журналы, 2023, №2, б. 25–30.
  - 6 Smith P., Gregory P.J. “The role of biomass in climate change mitigation”. *Nature Climate Change*, 2020, Vol. 10, Issue 5, pp. 398–408.
  - 7 Алишеров Р. “Автоном энергетик мажмуаларнинг экологик ахамияти”. Тошкент: “Энергетика ва инновациялар” журналы, 2022, №3, б. 30–35.
  - 8 Brown R.C., Stevens C. “Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power”. John Wiley & Sons, 2019, 2nd Edition, pp. 65–87.
  - 9 Mahmudov A., Saidova G. “Energetika komplekslarida biomassa gazifikatsiyasi imkoniyatlari”. *Qayta tiklanadigan energiya manbalari ilmiy majmuasi*, 2021, №1, б. 15–19.
  - 10 Караева Ю.В. «Модель эффективного использования энергии биомассы в агропромышленном комплексе». Тема диссертации и автореферата по специальности 14.05.04 — Технические науки. — Казань, 2007.
  - 11 Шадиметов К. «Инновационное развитие биоэнергетики Узбекистана». Ташкент: Издательство научных исследований, 2022, с. 35–42.