

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

№2 (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/BGQF2124>

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>
Кошеков 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>
Шеръязов 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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2126>**К. Т. Баубеков¹, Б. И. Диханбаев², *Г. М. Елеусінова³**^{1,2,3}Казахский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5640-8660>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-5484>³ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8615-811X>*e-mail: yeleussinova92@mail.ru

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ АЙДАБОЛЬСКОГО СПИРТЗАВОДА

В работе проведён всесторонний анализ экономических и социальных. Рост выпуска этилового спирта в Республике Казахстан усиливает экологические риски и экономические потери при утилизации зерновой послеспиртовой барды, хотя сама барда представляет собой ценный энергетический и аграрный ресурс. В работе обоснован выбор оптимальной технологии переработки для казахстанских условий с учётом физико-химических характеристик сырья и региональной инфраструктуры на основе обзора и сравнительной оценки трёх подходов – сушки, анаэробного сбраживания и термической утилизации – по четырём критериям: энергопотребление, экологичность, рентабельность и технологическая универсальность. Показано, что анаэробное сбраживание обеспечивает наилучший баланс показателей (низкие энергозатраты, высокая экологическая приемлемость, экономическая эффективность за счёт реализации биогаза/электроэнергии и использования дигестата как биоудобрения); сушка остаётся технологически доступным и универсальным вариантом для малых и средних предприятий при наличии спроса на сухой продукт, но характеризуется повышенными энергозатратами; термическая переработка оправдана при наличии развитой теплоэнергетической инфраструктуры и эффективных систем газоочистки. Сделан вывод о стратегической целесообразности внедрения анаэробного сбраживания (с интеграцией в энергоциклы

агропромышленных кластеров), при возможном применении сушки как переходной/нишевой технологии и термической утилизации при инфраструктурной готовности, что формирует методологическую основу для проектирования энергоэффективных и экологически устойчивых решений по утилизации барды.

Ключевые слова: послеспиртовая барда, сушка, анаэробное сбраживание, термическая переработка, шлам производства этилового спирта.

Введение

В Республике Казахстан и за её пределами с развитием производства этилового спирта и пива всё острее встаёт вопрос утилизации побочных продуктов, прежде всего зерновой послеспиртовой барды. Этот высокообводнённый (до 90 % воды) и насыщенный органикой поток формируется в крупных объёмах и одновременно представляет ценный ресурс и значимую экологическую угрозу при ненадлежащем обращении. На множестве спиртовых предприятий, особенно в развивающихся экономиках, по-прежнему используются малоэффективные решения либо практикуется сброс барды в водоёмы, на поля орошения и полигоны, что ведёт к загрязнению среды и утрате вторичных энергетических и аграрных ресурсов.

Трудности обращения с бардой обусловлены её предельно высокой влажностью, вариативным составом и жёсткими требованиями к хранению и логистике. Вместе с тем барда обладает существенной энергетической и кормовой ценностью, что позволяет рассматривать её как исходное сырьё для выпуска биотоплива, кормовых ингредиентов, удобрений и иных продуктов с добавленной стоимостью. Имеющиеся технологические решения заметно различаются по энергоэффективности, экономической отдаче, экологическим эффектам и степени зрелости. Следовательно, выбор наилучшего способа переработки требует всесторонней оценки и привязки к региональным условиям [1].

Послеспиртовая барда – это жидкий или полужидкий остаток, образующийся при производстве этилового спирта, прежде всего при переработке зернового сырья. Её состав варьирует в зависимости от исходного сахароносного материала (см. таблицу 1) [2]. В целом для барды характерно содержание 80–90 % воды и около 6–8 % сухих веществ, включая лигнин, гемицеллюлозу, сахара, декстрины, органические кислоты, аминокислоты, витамины и остатки дрожжевых клеток [1].

Таблица 1 – Компонентный состав спиртовой барды в зависимости от вида исходного сахаро-содержащего сырья

Исходное сахаросодержащее сырьё	Сухое вещество	Протеины	Белки	Жиры	Клетчатка	Безазотистые экстрактивные вещества
Меласса	7,9	2,0	0,5	0,6	-	37,0
Картофель	5,2	1,4	0,9	0,2	0,5	2,5
Пшеница	11,5	2,9	1,7	0,6	0,7	5,7
Кукуруза	7,3	2,3	1,4	0,6	0,7	3,3
Примечание: таблица составлена на основании источника [2]						

Физико-химические свойства зависят от вида сырья и технологического процесса, но в среднем составляют: pH 4,2–4,5; зольность 5–7 %; протеин – до 28 % от сухой массы; клетчатка – 13–14 % [1]. Значительное содержание моносахаридов и белков делает барду токсикологически опасной для природных сред, поскольку она служит питательной базой для патогенной микрофлоры. Следовательно, высокая доля органики одновременно определяет её кормовую ценность и усиливает экологическую нагрузку при нерациональной утилизации.

Благодаря присутствию клетчатки, углеводов, белка и микроэлементов (см. таблицу 2), барда выступает ценным вторичным ресурсом и может использоваться как сырьё для производства животных кормов и иных полезных продуктов.

Послеспиртовая зерновая барда в сельском хозяйстве задействуется лишь частично – главным образом для откорма КРС в осенне-зимний сезон. Такой способ использования малоэффективен, тем более что при производственной мощности Айдабульского спиртзавода 3000 дал спирта суточный выход барды достигает около 390 т.

Таблица 2 – Профиль углеводов и минеральных компонентов (макро- и микроэлементов) послеспиртовой барды

Барда послеспиртовая сухая					
Содержание углеводов					
Наименование показателя	Крахмал, %	Сахар, %	Гемицеллюлоза, %	Целлюлоза, %	Лигнин, %
Значение показателя	2,86	4,06	4,97	6,60	2,77
Содержание биогенных макро- и микроэлементов					

Наименование показателя	Кальций, г/кг	Фосфор, г/кг	Магний, г/кг	Железо, мг/кг	Цинк, мг/кг	Марганец, мг/кг	Медь, мг/кг
Значение показателя	0,60	3,3	0,29	1003,06	33,04	18,91	14,70
Примечание: таблица составлена на основании источника [2]							

Наиболее острой проблема обращения с бардой становится весной и летом, когда спрос со стороны животноводческих хозяйств резко падает. В этот период спиртовые предприятия либо сокращают выпуск, подстраиваясь под потребности фермерских комплексов, либо направляют барду в накопительные пруды и на поля фильтрации, что создаёт риск загрязнения рек, водоёмов и окружающей среды.

С энергетической позиции барда является перспективным сырьём для выработки биогаза методом анаэробного сбраживания [3]. Получаемый биогаз может покрывать часть энергопотребления предприятий, а образующийся дигестат использоваться как биоудобрение [4]. Для Казахстана такие решения особенно релевантны, поскольку значительные объёмы органических отходов накапливаются при работе спиртовых и пивоваренных производств.

Существует широкий набор подходов к переработке барды [5], который условно группируется на физические, биохимические, термические и иные методы (см. рис. 1).

Сушка позволяет резко сократить объём и массу барды, продлить срок её хранения и упростить логистику. Наиболее широко применяются прямой нагрев и конвективная сушка. Современные линии снижают влажность с ~90 % до 10–15 %, при этом кормовая и энергетическая ценность материала сохраняется [6].

Анаэробное сбраживание – один из наиболее перспективных способов переработки барды с получением биогаза. Показано, что добавление биоугля (biochar) заметно усиливает метаногенез и повышает устойчивость процесса [7]. Такие биогазовые комплексы уже внедрены на ряде спиртовых предприятий США и Европы и демонстрируют окупаемость даже при сравнительно небольших мощностях [8].

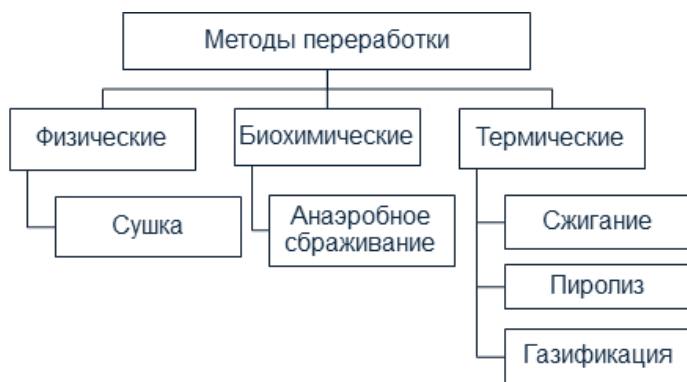


Рисунок 1 – Методы переработки барды

Примечание: классификация составлена авторами

К термическим технологиям относятся прямое сжигание, пиролиз и газификация. В сухом виде барда имеет высокую теплотворную способность (до 18–20 МДж/кг), что позволяет использовать её как топливо для котлов или сырьё для получения биоугля. При пиролизе дополнительно формируются жидкие фракции – биомасло и синтез-газ, пригодные в качестве вторичного топлива [9]. Газификация проводится при высоких температурах в бескислородной среде с образованием генераторного газа; показано, что минеральные катализаторы увеличивают выход водорода и уменьшают долю твёрдого остатка [10].

Таким образом, цель исследования – обосновать и выбрать оптимальную технологию переработки зерновой послеспиртовой барды для условий Республики Казахстан, учитывая энергетические, экологические, экономические и технологические критерии.

Материалы и методы

Для объективного сопоставления альтернатив переработки зерновой послеспиртовой барды методы оцениваются по четырём базовым критериям: энергопотребление, экологическая приемлемость, экономическая рентабельность и технологическая универсальность.

Энергопотребление. Для спиртовых предприятий этот показатель критичен, поскольку дефицит финансов ограничивает покрытие затрат на топливо и электроэнергию. Вместе с тем на заводах имеются сбросной пар и уходящие котельные газы, которые целесообразно максимально задействовать в системе энергосбережения.

Экологичность – степень влияния выбранной технологии переработки барды на окружающую среду, включая сокращение выбросов загрязняющих веществ, предотвращение загрязнения почв и водных объектов, а также уменьшение объёмов отходов, направляемых на захоронение или утилизацию.

Рентабельность – экономический индикатор, показывающий соотношение расходов на переработку барды и выручки от реализации получаемых продуктов (биогаза, органических удобрений, сухих кормов и т.п.).

Универсальность – способность технологии сохранять эффективность при вариативности состава и свойств исходного сырья. Так, сушка и термическая обработка применимы к широкому кругу органических отходов, тогда как анаэробное сбраживание требует более стабильной и однородной загрузки.

Таким образом, предложенный концептуально-методический подход создаёт основу для корректного сопоставления на первый взгляд несоизмеримых технологий по четырём выбранным критериям.

Результаты и обсуждения

Для количественной оценки масштабов задачи утилизации барды собраны данные о её ежегодном образовании как в Республике Казахстан, так и глобально. В таблице 3 приведены сводные показатели: годовые объёмы в пересчёте на литр произведённого спирта и текущая доля утилизации.

Таблица 3 – Объёмы образования барды и уровень её утилизации

Регион	Объём производства спирта, млн л/год	Объём барды (в эквив. млн м ³ /год)	Уровень утилизации, %
Республика Казахстан	380	≈ 4,940	35–40
Европейский Союз	5 800	≈ 75 400	65–70
США	15 000	≈ 195 000	80–85
Индия	2 100	≈ 27 300	25–30
Примечание: данные составлены авторами на основе отраслевых источников			

По имеющимся данным, в Казахстане перерабатывается менее 50 % образующейся в отрасли барды. Это подчёркивает необходимость внедрения энергоэффективных и экологически безопасных решений по обращению с данным вторичным ресурсом. Для сопоставления: в странах ЕС и США уровень вовлечения барды в биоэнергетические и агропромышленные циклы существенно выше.

Таким образом, совокупность выявленных физико-химических характеристик барды и актуальной статистики по её объёмам и утилизации задаёт основу для выбора наиболее рациональных и устойчивых технологий переработки.

Эффективная утилизация послеспиртовой барды требует подбора технологии, согласованной не только с её физико-химическими свойствами, но и с экономическими и экологическими условиями региона. На рис. 2 систематизированы три наиболее распространённые и перспективные стратегии переработки: сушка, анаэробное сбраживание и термическая утилизация. При этом целесообразно рассматривать как высокотемпературные, так и низкотемпературные варианты термообработки, последний из которых редко освещается в литературе, но не должен исключаться из анализа.

1 Сушка

Сушка – самый распространённый и технологически отработанный способ переработки барды, в том числе для условий Казахстана. Она упрощает транспортировку, обеспечивает длительное хранение и открывает возможность дальнейшего использования материала как кормового либо энергетического сырья. Вместе с тем из-за высокой исходной влажности требуются значительные энергозатраты (до 4,5 МДж/кг удалённой влаги) и специализированные установки с качественной теплоизоляцией и системами очистки выбросов. Дополнительно при высокотемпературной сушке теряются летучие органические соединения, включая витамины, что снижает питательную ценность продукта.

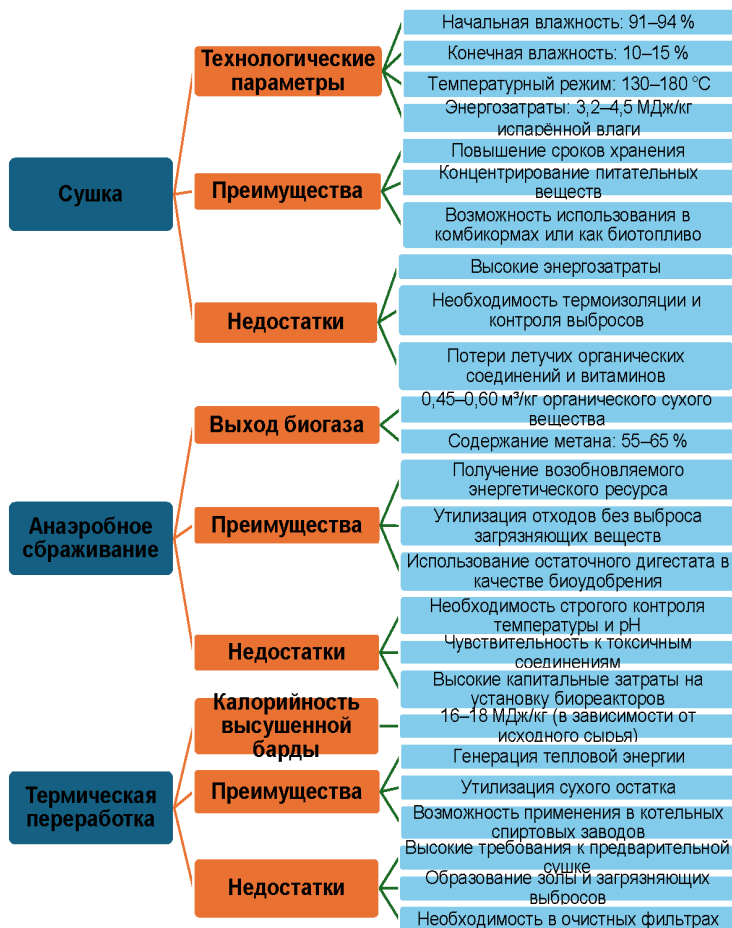


Рисунок 2 – Методы переработки послеспиртовой барды

Примечание: составлено авторами на основе литературных источников [1; 7; 11; 12; 13]

2 Термическая переработка

Необходимость предварительной сушки, образование золы, выбросы загрязняющих веществ и требование к дополнительным энергетическим ресурсам и фильтрам серьёзно сдерживают широкое внедрение термической переработки в нынешних условиях Казахстана. Вместе с тем высокая теплотворная способность сухой барды (до 18 МДж/кг) делает её потенциально ценным источником тепла, прежде всего для топливосжигающих котлов на спиртовых и агропромышленных площадках. Практика применения таких решений остаётся эпизодической и

нуждается в адаптации к местной специфике. С учётом значительных объёмов шламов послеспиртового производства (например, около 5 га площадей возле Айдабульского спиртзавода) представляется целесообразным оценить их термическую утилизацию с использованием водогрейного котла и утилизацией сбросного тепла уходящих газов. Однако эксплуатационные службы выражают опасения по поводу низкотемпературной коррозии и возможного разрушения дымовой трубы, поэтому не поддерживают данное решение.

3 Анаэробное сбраживание

Анаэробное сбраживание показывает наивысшую экологическую и энергетическую эффективность среди рассмотренных подходов. При выходе биогаза до 0,60 м³/кг органического сухого вещества и содержании метана до 65 % возможна частичная компенсация энергопотребления предприятия, а образующийся дигестат пригоден для использования как экологически безопасное биоудобрение. Вместе с тем для успешной реализации технологии необходим жёсткий контроль температурного и pH-режимов, устойчивость процесса к загрязняющим примесям и капитальные вложения в биореакторы. Несмотря на эти требования, в долгосрочной перспективе анаэробное сбраживание остаётся наиболее перспективным вариантом, в том числе для субъектов малого бизнеса. Для Айдабульского спиртзавода предполагается использование сбросного пара для поддержания мезофильного или термофильного режимов, что дополнительно повысит рентабельность.

Для объективного выбора технологии переработки зерновой послеспиртовой барды выполнен сравнительный анализ по четырём ключевым критериям: энергопотребление, экологическая приемлемость, рентабельность и технологическая универсальность (см. табл. 4). Такой формат оценки позволяет выделить наиболее адаптивное и экономически целесообразное решение для внедрения в условиях Республики Казахстан.

Таблица 4 – Сопоставление основных методов переработки барды

Метод	Энерго-затраты (МДж/кг)	Эффективность утилизации (%)	Экологическая нагрузка	Получаемый продукт
Сушка	3,2–4,5	80–85	Средняя	Сухой корм, топливо
Анаэробное сбраживание	0,8–1,2	70–90	Низкая	Биогаз, удобрение
Термическая переработка	2,5–3,8	60–80	Высокая	Теплоэнергия, зола
Примечание: составлено авторами на основе литературных источников [5; 14; 15]				

Энергопотребление. Сушка – наиболее энергоёмкий вариант (до 4,5 МДж на каждый килограмм удалённой влаги). Термическая утилизация требует умеренных энергозатрат при условии предварительного

подсушивания барды. Минимальные затраты характерны для анаэробного сбраживания: часть потребностей покрывается за счёт метана, вырабатываемого в биореакторах.

Экологичность. Анаэробное сбраживание является наименее загрязняющим вариантом: процесс не сопровождается значимыми вредными выбросами, а получаемый дигестат пригоден для аграрного использования. Термические методы, напротив, приводят к образованию золы и выбросам NO_x и SO_3 , что требует обязательных систем газоочистки. При сушке также необходим контроль выбросов и улавливание аэрозольных частиц.

Рентабельность. При наличии рынка сбыта биогаза или электроэнергии наиболее выгодным вариантом выступает анаэробное сбраживание, особенно при интеграции с централизованными котельными или тепловыми сетями. Сушка экономически оправдана при стабильном спросе на продукт (кормовой или топливный). Термическая утилизация может быть рентабельной при доступе к избыточным энергоресурсам, наличию высокотемпературных котлов и дешёвой электроэнергии.

Универсальность. Сушка и термические технологии подходят для широкого круга органических отходов, однако требуют предварительной подготовки: выравнивания гранулометрического состава и гомогенизации сырья. Анаэробное сбраживание более чувствительно к токсичным примесям и колебаниям состава загрузки, что снижает его универсальность, но при соблюдении параметров процесса обеспечивает высокую эффективность.

Рисунок 3 наглядно сопоставляет три метода переработки по четырём критериям (энергопотребление, экологичность, рентабельность, универсальность) и выделяет наиболее сбалансированные решения.

Числовые показатели для диаграммы и сводной таблицы получены следующим образом: по критерию «энергопотребление» использованы диапазоны удельных затрат из табл. 4 (МДж/кг удалённой влаги) и преобразованы в шкалу 0–100 методом обратной min–max нормализации: $\text{балл} = (E_{\text{max}} - E) / (E_{\text{max}} - E_{\text{min}}) \times 100$ (чем выше, тем лучше). «Экологичность» переведена из качественных градаций той же таблицы в баллы для сопоставимости (низкая нагрузка = 100, средняя = 50, высокая = 20). Оценки по «рентабельности» и «универсальности» заданы как экспертные прокси, опирающиеся на аргументацию раздела обсуждения и обзор литературы (см. список источников).

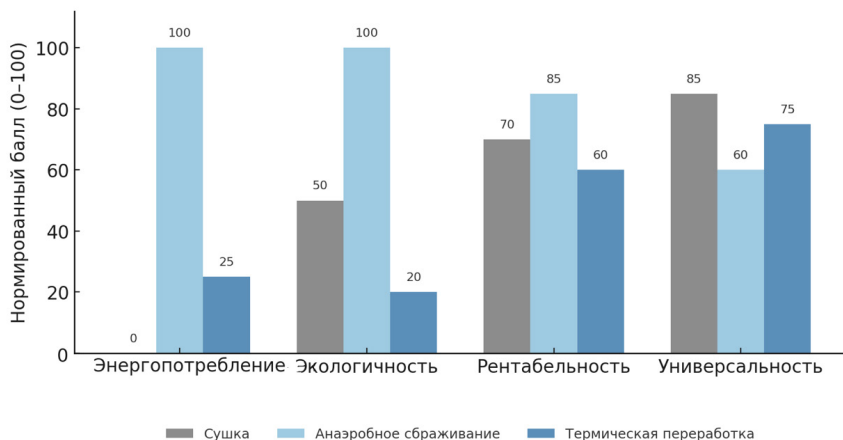


Рисунок 3 – Диаграмма сравнительного анализа методов переработки барды

Примечание: данные рассчитаны авторами на основе приведённых исходных данных

Ранжирование по условным баллам (см. рис. 3):

- рентабельность: анаэробное сбраживание > сушка > термическая переработка;
- универсальность: сушка > термическая переработка > анаэробное сбраживание;
- экологичность: анаэробное сбраживание > сушка > термическая переработка;
- энергопотребление: анаэробное сбраживание > термическая переработка > сушка.

Диаграмма указывает, что наиболее сбалансированным вариантом переработки барды выступает анаэробное сбраживание: оно сочетает низкие энергозатраты, высокую экологическую приемлемость и достаточную экономическую отдачу. Сушка характеризуется хорошей универсальностью и доступностью, однако требует значительных энергетических ресурсов. Термические методы проигрывают по экологическим параметрам и целесообразны при наличии развитой инфраструктуры.

Выводы

В работе проведён обзорно-аналитический разбор ключевых современных технологий переработки зерновой послеспиртовой барды.

Установленные физико-химические характеристики барды вместе с актуальными данными по её объёмам и уровням утилизации задают основу для отбора рациональных и устойчивых технологий переработки. Барда отличается крайне высокой влажностью (до 94 %) и значительной долей органики (протеин, клетчатка, безазотистые экстрактивные вещества), что одновременно делает её ценным ресурсом и экологически опасным отходом при неэффективном обращении.

Сопоставление трёх ключевых технологий – сушки, анаэробного сбраживания и термической утилизации – показало, что наилучший баланс по критериям энергопотребления, экологичности, рентабельности и универсальности достигается при анаэробном сбраживании. При выходе биогаза до 0,60 м³/кг органического сухого вещества и содержании метана до 65 % возможно частичное покрытие энергетических нужд предприятия, а образующийся дигестат пригоден для применения в качестве экологически безопасного биоудобрения.

Для Казахстана этот подход выглядит стратегически перспективным, особенно в составе крупных агропромышленных кластеров с замкнутыми энергоциклами.

Таким образом, проведённое исследование задаёт методологическую базу для последующих работ, ориентированных на разработку энергоэффективных и экологически устойчивых решений по утилизации барды и интеграцию её переработки в систему агропромышленных кластеров Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Технологии и оборудование пищевых производств: учеб. пособие / под ред. О.Н. Широкова. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2018. – 92 с.

2 **Калинин, О. Н., Кузнецова, Д. П.** Технология переработки отходов спиртового производства. Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов. Международная научно-техническая интернет-конференция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://kadastr.org/conf/2021/pub/tehprir/tehnologiya-pererabotki-othodov-spir-tovogo-proizvo.htm> (Дата обращения: 24.10.2025).

3 Brewer's spent grain [Electronic resource]. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Brewer%27s_spent_grain (Date of access: 24.10.2025).

4 **Андронов, А. Л., Елизаров, И. А., Третьяков, А. А.** Промышленные технологии переработки послеспиртовой барды // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т.16. – № 4. – С. 954–963.

5 **Liu Y., Leng L., Zhou Y., et al.** Effects of Biochar Addition on Anaerobic Digestion of Brewer's Spent Grain: A Review // *Frontiers in Energy Research*. – 2023. – Vol. 11. – Article 1141684. – <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1141684>.

6 **Kelly, T.** Turning Waste to Fuel: Bourbon Industry Offers New Path to Renewable Energy [Electronic resource] // University of Kentucky Research. – 2023. – Access mode: <https://research.uky.edu/news/turning-waste-fuel-bourbon-industry-offers-new-path-renewable-energy> (Date of access: 24.10.2025).

7 Biodrying [Electronic resource]. – Access mode: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biodrying> (Date of access: 24.10.2025).

8 **Kaur, M., Singh, D., Sharma, S.** Hydrothermal Carbonization of Distillery Waste for Clean Energy Applications // *Environmental Chemistry Letters*. – 2022. – Vol. 20. – P. 1395–1407. – <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01398-3>.

9 **Леднев, В.П.** Переработка барды: опыт, реальность, перспективы / В.П. Леднев // Ликероводоч. производство и виноделие. – 2008. – № 7. – С. 8–11.

10 **Zhang, Y., Zhao, B., Wang, X., et al.** Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Brewer's Spent Grain // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15(2). – Article 1643. – <https://doi.org/10.3390/su150201643>.

11 **Aliyu, A., Bakar, N., Yusoff, M., et al.** Improving Anaerobic Digestion of Brewery and Distillery Spent Grains through Aeration across a Silicone Membrane // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14(5). – Article 2755. – <https://doi.org/10.3390/su1405275512>.

12 Gasification of Waste Biomass in Fluidized Bed Reactors [Electronic resource]. – 2024. – Access mode: – https://papers.ssrn.com/sol3/pap-ers.cfm?abstract_id=4693005 (Date of access: 24.10.2025).

13 Review of Barley Waste Management and Valorization Strategies // Ulster University Repository [Electronic resource]. – 2017. – Access mode: <https://pure.ulster.ac.uk/files/11613943/2017%20Barley%20review%20waste%20management%20J.pdf> (Date of access: 24.10.2025).

14 **Hasanov, E., Ibragimov, K., Zhapparova, K.** Prospects for Renewable Energy Development in Kazakhstan // *Energy Reports*. – 2023. – Vol. 9. – P. 1322–1331. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.026>.

15 **Kassenov, A., Zhanuzakov, B., Abildayev, Y.** Anaerobic Digestion of Organic Waste in Kazakhstan: Current State and Perspectives // *Journal of Environmental Management*. – 2024. – Vol. 340. – Article 118156. – <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118156>.

REFERENCES

- 1 Tekhnologii i oborudovanie pishchevykh proizvodstv : ucheb. Posobie [Technologies and equipment for food production: a textbook] / pod red. O. N. Shirokova. – Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-t, 2018. – 92 p.
- 2 **Kalinikhin, O. N., Kuznetsova, D. P.** Tekhnologiya pererabotki otkhodov spirtovogo proizvodstva. Kadastr nedvizhimosti i monitoring prirodnikh resursov [Technology for processing alcohol production waste]. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya internet-konferentsiya. [Electronic resource]. – Available at <https://kadastr.org/conf/2021/pub/tehprir/tehnologiya-pererabotki-othodov-spir-tovogo-proizvo.htm> (Date of access: 24.10.2025).
- 3 Brewer's spent grain [Electronic resource]. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Brewer%27s_spent_grain (Date of access: 24.10.2025).
- 4 **Androsov, A. L., Elizarov, I. A., Tret'yakov, A. A.** Promyshlennyye tekhnologii pererabotki poslespirtovoi bardy [Industrial technologies for processing post-alcohol stillage] // Vestnik TGTU. – 2010. – T.16. – № 4. – P. 954–963.
- 5 **Liu Y., Leng L., Zhou Y., et al.** Effects of Biochar Addition on Anaerobic Digestion of Brewer's Spent Grain: A Review // Frontiers in Energy Research. – 2023. – Vol. 11. – Article 1141684. – <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1141684>.
- 6 **Kelly, T.** Turning Waste to Fuel: Bourbon Industry Offers New Path to Renewable Energy [Electronic resource] // University of Kentucky Research. – 2023. – Access mode: <https://research.uky.edu/news/turning-waste-fuel-bourbon-industry-offers-new-path-renewable-energy> (Date of access: 24.10.2025).
- 7 Biodrying [Electronic resource]. – Access mode: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biodrying> (Date of access: 24.10.2025).
- 8 **Kaur, M., Singh, D., Sharma, S.** Hydrothermal Carbonization of Distillery Waste for Clean Energy Applications // Environmental Chemistry Letters. – 2022. – Vol. 20. – P. 1395–1407. – <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01398-3>.
- 9 **Lednev, V.P.** Pererabotka bardy: opyt, real'nost', perspektivy / V. P. Lednev [Processing of stillage: experience, reality, prospects] // Likero-vodoch. proizvodstvo i vinodelie. – 2008. – № 7. – P. 8–11.
- 10 **Zhang, Y., Zhao, B., Wang, X., et al.** Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Brewer's Spent Grain // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(2). – Article 1643. – <https://doi.org/10.3390/su150201643>.
- 11 **Aliyu, A., Bakar, N., Yusoff, M., et al.** Improving Anaerobic Digestion of Brewery and Distillery Spent Grains through Aeration across a Silicone Membrane // Sustainability. – 2022. – Vol. 14(5). – Article 2755. – <https://doi.org/10.3390/su1405275512>.

12 Gasification of Waste Biomass in Fluidized Bed Reactors [Electronic resource]. – 2024. – Access mode: https://papers.ssrn.com/sol3/pap-ers.cfm?abstract_id=4693005 (Date of access: 24.10.2025).

13 Review of Barley Waste Management and Valorization Strategies // Ulster University Repository [Electronic resource]. – 2017. – Access mode: <https://pure.ulster.ac.uk/files/11613943/2017%20Barley%20review%20waste%20management%20J.pdf> (Date of access: 24.10.2025).

14 **Hasanov, E., Ibragimov, K., Zhapparova, K.** Prospects for Renewable Energy Development in Kazakhstan // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9. – P. 1322–1331. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.026>.

15 **Kassenov, A., Zhanuzakov, B., Abildayev, Y.** Anaerobic Digestion of Organic Waste in Kazakhstan : Current State and Perspectives // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 340. – Article 118156. – <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118156>.

Поступило в редакцию 30.10.25.

Поступило с исправлениями 30.01.26.

Принято в печать 29.05.26.

*Қ. Т. Баубеков¹, Б. И. Диханбаев², *Г. М. Елеусінова³*

^{1,2,3}С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

30.10.25 ж. баспаға түсті.

30.01.26 ж. түзетулерімен түсті.

29.05.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

АЙДАБОЛ СПИРТ ЗАУЫТЫНДА АЛКОГОЛЬДЕН КЕЙІНГІ СПИРТ ЗАУЫТЫН ӨНДЕУ ҮШІН РАЦИОНАЛДЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ТАҢДАУ

Мақалада экономикалық және әлеуметтік жағдайлардың кешенді талдауы берілген. Қазақстан Республикасында этил спирті өндірісінің өсуі астық қалдықтарын жою кезінде экологиялық тәуекелдер мен экономикалық шығындарды арттырады, дегенмен қалдықтардың өзі құнды энергетикалық және ауылшаруашылық ресурсы болып табылады. Мақалада шикізаттың және аймақтық инфрақұрылымның физика-химиялық сипаттамаларын ескере отырып, Қазақстан жағдайлары үшін оңтайлы өңдеу технологиясын таңдау негізделеді. Бұл төрт критерий бойынша үш тәсілді –

кептіру, анаэробты қорыту және термиялық пайдалануды шолу және салыстырмалы бағалауға негізделген: энергия тұтыну, экологиялық тазалық, пайдалылық және технологиялық әмбебаптық. Анаэробты қорыту көрсеткіштердің ең жақсы тепе-теңдігін қамтамасыз ететіні көрсетілген (аз энергия тұтыну, жоғары экологиялық қолайлылық, биогаз/электр энергиясын сатуға және биотыңайтқыш ретінде дигестатты пайдалануға байланысты экономикалық тиімділік); кептіру құрғақ өнімге сұраныс болған жағдайда шағын және орта кәсіпорындар үшін технологиялық тұрғыдан қолжетімді және әмбебап нұсқа болып қала береді, бірақ энергия шығындарының артуымен сипатталады. Дамыған жылу энергетикалық инфрақұрылым және тиімді газды тазарту жүйелерімен термиялық қайта өңдеу мүмкін. Анаэробты қорытуды (агроөнеркәсіптік кластерлердің энергетикалық циклдеріне интеграциялаумен) енгізудің стратегиялық орындылығы туралы қорытынды жасалды, кептіруді өтпелі/тауашалық технология ретінде пайдалану және инфрақұрылым дайын болған кезде термиялық қайта өңдеу мүмкіндігі бар. Бұл спирт зауытының дәндерін қайта өңдеу үшін энергия тиімді және экологиялық тұрғыдан тұрақты шешімдерді әзірлеу үшін әдістемелік негізді қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: спирт зауытының дәндері, кептіру, анаэробты қорыту, термиялық қайта өңдеу, этанол өндірісінің иламы.

K. T. Baubekov¹, B. I. Dikhanbaev², *G. M. Yeleussinova³

^{1,2,3}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 30.10.25.

Received in revised form 30.01.26.

Accepted for publication 29.05.26.

SELECTION OF RATIONAL TECHNOLOGIES FOR PROCESSING POST-ALCOHOLIC DISTILLERY AT THE AIDABOL DISTILLERY

The paper provides a comprehensive analysis of the economic and social. The growth of ethyl alcohol production in the Republic of Kazakhstan increases the environmental risks and economic losses during the disposal of grain stillage, although the stillage itself is a valuable

energy and agricultural resource. The paper substantiates the choice of the optimal processing technology for Kazakhstan's conditions, taking into account the physicochemical characteristics of the raw materials and regional infrastructure. This is based on a review and comparative assessment of three approaches – drying, anaerobic digestion and thermal utilization – according to four criteria: energy consumption, environmental friendliness, profitability and technological versatility. It is shown that anaerobic digestion provides the best balance of indicators (low energy consumption, high environmental acceptability, economic efficiency due to the sale of biogas/electricity and the use of digestate as biofertilizer); drying remains a technologically accessible and versatile option for small and medium-sized enterprises in the presence of demand for a dry product, but is characterized by increased energy costs. Thermal recycling is feasible with a developed thermal power infrastructure and efficient gas cleaning systems. A conclusion is reached regarding the strategic feasibility of implementing anaerobic digestion (with integration into the energy cycles of agro-industrial clusters), with the possible use of drying as a transitional/niche technology and thermal recycling when infrastructure is ready. This provides a methodological basis for designing energy-efficient and environmentally sustainable solutions for distillery grains recycling.

Keywords: distillery grains, drying, anaerobic digestion, thermal recycling, ethanol production sludge.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«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