

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 (2025)

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/PXLE1275>

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 алкасы – 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>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</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>
Омарова А. Р.	<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

<https://doi.org/10.48081/HQIP7634>

**К. С. Бекбаев¹, *Б. Б. Кабулов², Г. Б. Абдилова³,
Д. Р. Орынбеков⁴, Б. Т. Болкенов⁵**

^{1,2,3,4,5} Университет Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9591-0370>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9647-7046>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5356-7874>

*e-mail: bolatkabylov@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА

Статья посвящена методам первичной обработки лигноцеллюлозного сырья. Назначение первичной обработки заключается в превращении биомассы из лигноцеллюлозы в полезные химические вещества. В статье проведен анализ современных исследований в области первичной обработки лигноцеллюлозного сырья. Результаты этих исследований направлены на повышение эффективности переработки отходов растениеводства. Также рассмотрены методы первичной обработки лигноцеллюлозного сырья. Многие исследователи отмечают, что положительно влияет на эффективность дальнейшей переработки. Представляют собой такие методы первичной обработки как измельчение, обработка паром, автогидролиз, водная горячая обработка, щелочная обработка и обработка перекисью, комбинированная обработка и т.д. При небольших значениях pH могут формироваться различные типы ингибиторов: карбоновые кислоты, фураны и фенольные соединения. Этот процесс можно отнести к основному минусу большинства методов первичной обработки. Многие из рассмотренных методов первичной обработки имеет больше плюсов, но наиболее перспективными являются комбинированные методы обработки. В особенности вызывает интерес использование различных комбинированных методов, таких как гидролиз с применением

кислотных или щелочных растворов, экстракция с использованием растворителей или механохимические методы, которые весьма эффективны при производстве пищевых добавок, биотоплива, экстракции активных веществ и т.д.

Ключевые слова: первичная обработка, отходы, растительное сырье, комбинированный метод, лигноцеллюлоза.

Введение

Известно, что лигноцеллюлоза является одним из отходов промышленной деятельности человека. Ее необходимо перерабатывать экономически выгодно и экологически безопасно. В настоящее время основным этапом производства биоэтанола является гидролиз материалов из лигноцеллюлозы. Например, если включить в процесс ферментативного гидролиза первичную обработку лигноцеллюлозы, то можно повысить эффективность этого процесса. Также при производстве этанола путем первичной обработки сырья можно увеличить его доступность для ферментов. При такой обработке увеличиваются площадь поверхности и размер пор. Кроме того, происходит снижение кристалличности и степени полимеризации целлюлозы [1, с. 1621–1625].

Биомасса из лигноцеллюлозы является ценным органическим сырьем, которое можно эффективно использовать для устойчивого производства биоэнергии и биотоплива, включая биогаз (состав: 50–75 % CH_4 и 25–50 % CO_2). Среди различных технологий биоконверсии анаэробное сбраживание представляет собой наиболее экономически выгодный метод для получения биотоплива и биоэнергии, и оно активно используется в ряде стран для коммерческого производства электроэнергии, тепла и сжатого природного газа из органических материалов [2, с. 36–42]. Несмотря на его потенциал, биомасса из лигноцеллюлозы редко используется для получения биогаза через анаэробное сбраживание, поскольку сложная структура клеточной стенки растений делает ее достаточно стойкой к воздействию микробов.

Первичная обработка играет ключевую роль в превращении биомассы из лигноцеллюлозы в полезные химические вещества. Для разных видов биомассы из лигноцеллюлозы требуются индивидуальные процессы и условия первичной обработки, которые зависят от выбранных технологических конфигураций, определяющих дальнейшие этапы гидролиза и ферментации [3, с. 198–201].

Материалы и методы

Статья посвящена анализу различных методов первичной обработки лигноцеллюлозного сырья. Среди них выделяются такие методы, как

измельчение, автогидролиз, паровая обработка, обработка при помощи сверхкритического углекислого газа, комбинированные методы обработки и т.д.

Рассмотрим некоторые из методов первичной обработки. Например, измельчение.

Так, для улучшения ферментативного гидролиза, либо ускорения разложения отходов из лигноцеллюлозы применяется измельчение различных видов. В рамках решения задач по переработке отходов, содержащих целлюлозу, были проведены экспериментальные исследования, направленные на оптимизацию процессов первичной обработки, ферментативного гидролиза и переработки полученных продуктов. В качестве источника целлюлозы использовалась механически отделенная от бытовых отходов бумага. Поскольку целлюлоза является доступным субстратом для ферментов, были исследованы различные виды первичной обработки и проведен экономический анализ. С технологической и экономической точек зрения оптимальный процесс включал следующие этапы: измельчение на молотковой мельнице, гидролиз в течение 24 часов при pH 4,8 и температуре 50 °C с добавлением около 1 % целлюлазы *Trichoderma viride*, а также концентрирование раствора глюкозы. В ходе эксперимента была достигнута конверсия целлюлозы до 60 %, а также установлено, что рециркуляция фермента возможна в пределах 50 % [4, с. 130-133].

Особого внимания заслуживает такой вид первичной обработки как автогидролиз. Он является важным физико-химическим процессом удаления гемицеллюлозы при производстве этанола. При автогидролизе можно удалить большую ее часть. На стадии парового взрыва происходит следующее: резко падает давление, в результате чего сырье подвергается мгновенной декомпрессии. В этот период в интервале времени от 30 до 1200 с сначала увеличивается давление. Далее повышается температура в пределах 160÷260 °C. Процесс парового взрыва можно сказать, что изучен полностью. Кроме того, этот процесс испытан в лабораторных и экспериментальных условиях. В результате увеличения степени первичной обработки с 3,08 до 3,76, извлечение гемицеллюлозы снизилось до 43 % от исходной гемицеллюлозы, которая была обнаружена в щепках дугласовой ели, в то время как концентрация глюкозы, образующейся в ходе гидролиза целлюлозы, увеличилась вместе с концентрацией продуктов разложения сахара: фурфурол и гидроксиметилфурфурол.

В настоящий момент биоэтанол изготавливается из сахаров и крахмалосодержащих материалов, однако в будущем лигноцеллюлоза станет основным сырьем для его производства. В данной работе [5, с. 473–480] рассматривается процесс кислотного гидролиза, включая первичную обработку концентрированной и разбавленной кислотой, а также сам

гидролиз. Также анализируются различные типы гидролизных реакторов, такие как с обратным потоком, перколяцией, противотоком и со сжатым слоем. В работе уделяется внимание ферментации гексоз и пентоз, влиянию ингибиторов на ферментацию, а также последующей переработке и очистке сточных вод. Обзор включает используемые аналитические методы и анализ текущего коммерческого состояния процессов получения этанола с использованием кислот. Следует отметить, что ферментативный гидролиз нативной лигноцеллюлозы протекает слишком медленно, что ограничивает его эффективность. Также рассматриваются перспективные технологии первичной обработки биомассы из лигноцеллюлозы и их влияние на качество конечного продукта [6; 7].

Цель первичной обработки паровым взрывом – получение целлюлозы, которая восприимчива к ферментативному гидролизу. Фракции лигнина и гемицеллюлозы необходимо частично или полностью удалить для усиления гидролиза. В работе [8, с. 3–57] рассматривается подробное обсуждение физико-химических характеристик лигноцеллюлозы, которые нужно учитывать при разработке оптимального варианта первичной обработки. Приведены технико-экономические оценки основных видов первичной обработки, которые основаны на экстракции органическими растворителями, взрывной декомпрессии (паровой взрыв) и мокром окислении.

Аммиачное разрушение – один из процессов первичной обработки целлюлозы. В этом процессе сырье из целлюлозы обрабатывается жидким аммиаком при температуре $90\div 100^{\circ}\text{C}$ продолжительностью до 1800 с. Затем подвергается обработке при резком падении давления. Такая обработка включает в себя многие регулируемые параметры (содержание аммиака, уровень воды, температурный режим, период обработки и т.д. [9, с. 60–71]. Исследование влияния этих параметров на ферментативную чувствительность проведено для 3 материалов: прибрежной бермудской травы, жома и газеты. В результате аммиачного разрушения целлюлозы возможно получить материал с высокой твердостью. Другие методы первичной обработки не дают такой возможности. При этом содержание лигнина в материалах из лигноцеллюлозы может значительно измениться. В то же время доля частиц гемицеллюлозы и целлюлозы не изменяется. При благоприятных условиях аммиачное разрушение может значительно улучшить ферментативный гидролиз целлюлозы. Эти условия для рассмотренного метода находятся в непосредственной зависимости от вида материалов из лигноцеллюлозы.

Водная горячая обработка является одним из распространенных методов первичной обработки материалов из лигноцеллюлозы. При такой обработке под давлением вода впитывается в биомассу. Затем она гидратирует целлюлозу, далее выводит гемицеллюлозу и часть лигнина. Основным преимуществом

водной горячей обработки заключается в следующем: отказ от использования реагентов и коррозионностойких материалов. Для этого метода обработки нет необходимости в потреблении большого количества энергии и расхода значительного содержания реагентов. Углеводы гемицеллюлозы могут быть расщеплены как олигосахариды. Затем они разделяются с нерастворимыми частицами целлюлозы и лигнина. Горячая вода обрабатывает и увеличивает необходимую поверхность целлюлозы. Оба метода паровой и водной горячей обработки можно отнести к гидротермальным видам обработки. Водная горячая обработка имеет некоторые преимущества перед паровой обработкой. Эти преимущества заключаются в хорошем качестве восстановления пентозанов и малом содержании образуемых ингибиторных компонентов.

Щелочная обработка сырья и обработка перекисью можно отнести с одним из самых эффективных методов первичной обработки. Сырье из лигноцеллюлозы увлажняется водой при комнатной температуре. Также оно подвергается обработке в водном растворе NaOH с уровнем pH – 11÷12. Кроме того, дополнительно обрабатывается в растворе с содержанием H₂O₂ в течение 6÷24 ч. Таким методом обработки из пшеничной соломы ферментативным осахариванием можно получить сбродившийся сахар с достаточно высоким выходом до 97 %. В работе [10, с. 450–452] было установлено, что в ходе первичной обработки не было получено измеримых количеств фурфурола и гидроксиметилфурфурола.

Метод влажного окисления пшеничной соломы был изучен для решения такой задачи, как ферментативно расщепить целлюлозу до глюкозы и растворить гемицеллюлозу без образования микробных ингибиторов [11, с. 570–575]. Мокрое окисление с добавлением оснований может быстро и легко окислить лигнин пшеничной соломы, который упрощает ферментативный гидролиз полисахаридов. В результате использования специально сконструированной автоклавной системы процесс мокрого окисления оптимизировался и по времени реакции, и по температуре. Самые благоприятные условия (солома 20 г/л, 170°C, от 300 до 600 с) выдавали в пределах 85% по массе при превращении целлюлозы в глюкозу.

Первичная обработка с помощью влажного окисления применяется при производстве биоэтанола. При этой обработке в качестве материала используется древесины из хвои. В ходе этого процесса сырье подвергается водной и воздушной обработке или кислородной обработке. Режим обработки гемицеллюлозы с помощью влажного окисления соответствует 148÷200°C в течение 1800 с [12, с. 3–15]. Основными параметрами процесса являются температурный режим, продолжительность обработки и давление кислорода. Такой процесс обработки представляет собой баланс между солубилизацией и деградацией. В результате обработки эффективно разделяются частицы

целлюлозы от лигнина и гемицеллюлозы. Кроме того, твердая составляющая содержала целлюлозу в количестве до 64 %, гемицеллюлозу – до 16 % и лигнин – до 30 %.

Особый интерес представляют комбинированные методы как одни из перспективных методов первичной обработки лигноцеллюлозного сырья. Рассмотрим следующие комбинированные методы первичной обработки лигноцеллюлозного сырья.

Mais с соавторами использовал реактор шаровой мельницы для первичной обработки и гидролиза α -целлюлозы из щепы. Древесина дугласовой ели предварительно была пропитана сернистым газом и обработана паровым взрывом [13, с. 816–830]. По словам авторов количество шаровых дисков оказывает значительное влияние на ферментативный гидролиз α -целлюлозы. В ходе обработки постоянно контролировали степень и скорость гидролиза, профили адсорбции фермента и скорость превращения в процессе гидролиза. Субстрат из древесины хвойных пород дополнительно обрабатывался водой и горячей щелочной перекисью водорода для удаления более 90% исходного лигнина. Кроме того, оценивались эксперименты при различных условиях реакции, включая концентрацию субстрата, загрузку фермента, реакционные объемы и количество шариковых шариков, используемых во время механического измельчения. Самые благоприятные условия для ферментативного гидролиза α -целлюлозы могут быть достигнуты при большом количестве гранул, в тот же период наличие границы раздела воздух-жидкость не влияет на скорость осахаривания.

В исследованиях Jin и Chen [14, с. 226–229] был изучен ферментативный гидролиз рисовой соломы, обработанной паровым взрывом. Рисовая солома подвергалась очень тонкому измельчению до размера 60 мкм. Далее солома была порезана на частицы размером до 8 см и обработана паровым взрывом при различных температурах от 180°C до 220°C в течение 240÷300 с. Ферментативный гидролиз, химический состав, характеристики волокна и соотношение составных клеток продукта сверхтонкого измельчения и измельченного остатка демонстрируют большие различия. Отличие в ферментативном гидролизе и структурных свойствах указывает на то, что сверхтонкое измельчение является хорошим методом фракционирования рисовой соломы на две части: легко биоконвертируемую и трудногидролизуемую. При этом расход энергии на измельчение на технологической установке с многокомпонентным сырьем может поддерживаться на уровне ниже 30 кВт·ч на тонну отходов. Получены условия, при которых конечный размер частиц будет поддерживаться в диапазоне 3÷6 мм [15, с. 155–156]. В процессе обработки увеличена скорость

измельчения за счет использования мелющих шаров смешанного размера для мельниц сверхтонкого помола [16, с. 748–750].

В работе [17, с. 708–730] рассматриваются разработки в области технологии получения этанола из лигноцеллюлозных материалов с помощью «ферментативных» процессов. Приведены методы первичной обработки лигноцеллюлозы, при которых раскрывается кристаллическая структура лигноцеллюлозы. Это делает ее более доступной для ферментов целлюлазы. Даются характеристики этих ферментов и важные факторы, влияющие на ферментативный гидролиз целлюлозы и гемицеллюлозы с образованием целлобиозы, глюкозы и других сахаров. Описываются различные стратегии ферментативного гидролиза и ферментации, включая раздельный ферментативный гидролиз, ферментацию и т.д.

Результаты и обсуждение

В результате изучения методов первичной обработки выявлено, что самыми распространенными являются комбинированные методы. Установлено, что использование комбинированных методов улучшает эффективность извлечения целлюлозы или других компонентов из растительных материалов, таких как древесина, солома, тростник и другие виды биомассы. Основной целью этих методов является разрушение лигнина и других соединений, которые связывают целлюлозные волокна, чтобы улучшить доступность целлюлозы для дальнейшей переработки, например, для получения биоэнергии, биотоплива, биопродуктов или в производстве бумаги.

Одним из эффективных комбинированных методов первичной обработки является гидролиз в сверхкритическом углекислом газе, в котором используется сверхкритический CO₂ для улучшения эффективности ферментативных реакций, в частности, гидролиза различных веществ с помощью ферментов.

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по гранту №[BR24992914](#).

Выводы

Комбинирование механической обработки (например, измельчение, шлифование, экструзия) и химической обработки (обработка кислотой, щелочью или растворителем) используется для того, чтобы снизить размер частиц, улучшить разрушению лигнина и облегчить процесс удаления клетчатки. **Комбинирование физико-химических методов таких, как паровая обработка, кислотно-щелочной гидролиз при высоких температурах и давлениях способствует разрушению лигнина и повышению доступности целлюлозы, ускорению гидролиза полисахаридов, таких как**

гемицеллюлоза. Гидролиз в сверхкритическом углекислом газе улучшает активность ферментов, изменяя структуру фермента, а также снижая энергетические барьеры для реакции.

Таким образом, исследование методов первичной обработки лигноцеллюлозного сырья позволило выявить их влияние на выход и качество продукта. Большинство рассмотренных методов первичной обработки лигноцеллюлозного сырья имеет множество преимуществ, но наиболее перспективными являются комбинированные методы обработки. В особенности вызывает интерес использование различных комбинированных методов, таких как гидролиз с применением кислотных или щелочных растворов, экстракция с использованием растворителей или механохимические методы, которые весьма эффективны при производстве биотоплива, экстракции активных веществ и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Mohammad, J.** Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. / J. Mohammad, K. Keikhosro // *Int. J. Mol. Sci.* - 2008, № 9. – P. 1621–1651.

2 **Zheng, Y.** Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production / [Y. Zheng](#), J. Zhao, F. Xu, Y. Li // [Progress in Energy and Combustion Science](#). – 2014, № 6. – P. 35–53.

3 **Chen, H.** A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals / H. Chen, J. Liu, X. Chang, etc. // [Fuel Processing Technology](#). – 2017, № 1. – P. 196–206.

4 **Walpot J. I.** Enzymatic hydrolysis of waste paper. Conserv. Recycling. - 1986, № 9. - P. 127–136.

5 **Taherzadeh, M. J.** Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review / M.J. Taherzadeh, K. Karimi // *BioResources*. - 2007, № 2. – P. 472–499.

6 **Mosier, N. S.** Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass / [N.S. Mosier](#), [C.E. Wyman](#), [B.E. Dale](#), [R. Elander](#) // [Bioresource Technology](#). – 2005, № 96(6). – P. 673–686.

7 **Fan, L. T.** The nature of lignocellulosics and their pretreatments for enzymatic hydrolysis / [L.T. Fan](#), [Y.H. Lee](#), [M.M. Gharpuray](#) // [Advances in Biochemical Engineering/biotechnology](#). – 1982, № 23. – P.158–187.

8 **Chum, H. L.** Evaluation of pretreatments of biomass for enzymatic hydrolysis of cellulose / H.L. Chum, L.J. Douglas, D.A. Feinberg etc. // *Solar Energy Research Institute*. – Colorado, 1985, № 1. – P. 1–64.

9 **Holtzapple, M. T.** The ammonia freeze explosion (AFEX) process – A practical lignocellulose pretreatment / M.T. Holtzapple, J. H. Jun, G. Ashok etc. // Appl. Biochem. Biotechnol. – 1991, № 8. – P. 59–74.

10 **Saha, B. C.** Ethanol production from alkaline peroxide pretreated enzymatically saccharified wheat straw / B.C. Saha, M.A. Cotta // Biotechnol. Progr. – 2006, № 2. – P. 449–453.

11 **Bjerre, A.B.** Pretreatment of wheat straw using combined wet oxidation and alkaline hydrolysis resulting in convertible cellulose and hemicellulose / [A.B. Bjerre](#), [A.B. Olesen](#), [T. Fernqvist](#), [A. Plöger](#), [A.S. Schmidt](#) // Biotechnol Bioeng. – 1996, № 49 (5). – P. 568–577.

12 **Palonen, H.** Evaluation of wet oxidation pretreatment for enzymatic hydrolysis of softwood / H. Palonen, A.B. Thomsen, M. Tenkanen etc. // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2004, № 7. – P. 1–17.

13 **Mais, U.** Enhancing the enzymatic hydrolysis of cellulosic materials using simultaneous ball milling / U.T. Mais, A.R. Esteghlalian, J.N. Saddler etc. // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2002, № 8. – P. 815–832.

14 **Jin, S.** Superfine grinding of steam-exploded rice straw and its enzymatic hydrolysis / S. Jin, H. Chen // Biochem. Eng. J. - 2006, № 3. – P. 225–230.

15 **Cadoche, L.** Assessment of size reduction as a preliminary step in the production of ethanol from lignocellulosic wastes / [L. Cadoche](#), [G. Lopez](#) // [Biological Wastes](#). – 1989, № 30(2). – P.153–157.

16 **Choi, W. S.** Grinding Rate Improvement Using a Composite Grinding Ball Size for an Ultra-fine Grinding Mill / W.S. [Choi](#) // Journal of the Society of Powder Technology. – 1996. № 33(9). – P. 747–752.

17 **Taherzadeh, M. J.** Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review / M.J. Taherzadeh, K. Karimi // BioResources. – 2007, № 2. – P. 707–738.

Поступило в редакцию 27.01.25

Поступило с исправлениями 07.02.25

Принято в печать 10.03.25

К. С. Бекбаев¹, *Б. Б. Кабулов², Г. Б. Абдилова³, Д. Р. Орынбеков⁴,
Б. Т. Болкенов⁵

^{1,2,3,4,5}Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ.

27.01.25ж. баспаға түсті.

07.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

БИООТЫН ӨНДІРУ ҮШІН ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗДЫ ШИКІЗАТТЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІ

Мақала лигноцеллюлоза шикізатын бастапқы өңдеу әдістеріне арналған. Бастапқы өңдеу лигноцеллюлозадан биомассаны пайдалы химиялық заттарға айналдыруда басты рөл атқарады. Өсімдік шикізатының қалдықтарын қайта өңдеу тиімділігін арттыру мақсатында лигноцеллюлоза шикізатын бастапқы өңдеу саласындағы заманауи зерттеулерге шолу жүргізілді. Мақалада бастапқы өңдеу әдістері келтірілген және олардың қайта өңдеу тиімділігіне әсері сипатталған. Ұсақтау, бумен өңдеу, автогидролиз, жоғары критикалық көмірқышқыл газын қолдану арқылы шикізатты өңдеу, ыстық сумен өңдеу, сілтімен және пероксидпен өңдеу, дымқыл тотығу арқылы өңдеу және аралас өңдеу сияқты бастапқы өңдеу әдістері қарастырылады. Бастапқы өңдеудің көптеген әдістерінің негізгі кемшілігі, әсіресе төмен рН мәндерінде, карбон қышқылдары, фурандар және фенолдық қосылыстар сияқты әртүрлі ингибиторлардың пайда болуы екені анықталды. Қарастырылған бастапқы өңдеу әдістерінің көпшілігінде көптеген артықшылықтар бар, бірақ ең перспективалы – ол аралас өңдеу әдістері. Атап айтқанда, қышқыл немесе сілтілі ерітінділерді қолдану арқылы гидролиз, еріткіштерді қолдану арқылы экстракция немесе механикалық-химиялық әдістер сияқты әртүрлі аралас әдістерді қолдану қызығушылық тудырады, олар тағамдық қоспалар, биоотын, белсенді заттарды алу және т. б. өндіруде өте тиімді.

Кілтті сөздер: бастапқы өңдеу, қалдықтар, өсімдік шикізаты, аралас әдістер, лигноцеллюлоза.

K. Bekbayev¹, *B. Kabulov², G. Abdilova³, D. Orynbekov⁴,
B. Bolkenov⁵

^{1,2,3,4,5}Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey

Received 27.01.25

Received in revised form 07.02.25

Accepted for publication 10.03.25

MODERN METHODS OF PRIMARY PROCESSING OF LIGNOCELLULOSIC RAW MATERIALS FOR BIOFUEL PRODUCTION

The article is devoted to the methods of primary processing of lignocellulose raw materials. Primary processing plays a key role in converting biomass from lignocellulose into useful chemicals. A review of modern research in the field of primary processing of lignocellulose raw materials is conducted in order to increase the efficiency of processing waste plant raw materials. The article presents the methods of primary processing, and describes their impact on the efficiency of processing. Such pretreatment methods as grinding, steam treatment, autohydrolysis, destruction of lignocellulose with ammonia, processing of raw materials using supercritical carbon dioxide, hot water treatment, alkali and peroxide treatment, wet oxidation treatment and combined treatment are considered. It has been found that the main disadvantage of a number of primary processing methods, especially at low pH values, is the formation of various types of inhibitors such as carboxylic acids, furans and phenolic compounds. Most of the considered primary processing methods have many advantages, but the most promising are combined processing methods. In particular, the use of various combined methods, such as hydrolysis using acid or alkaline solutions, extraction using solvents or mechanochemical methods, which are very effective in the production of food additives, biofuels, extraction of active substances, etc., is of interest.

Keywords: primary processing, waste, vegetable raw materials, combined method, lignocellulose.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4358

«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