

МРНТИ 61.55.09

А.Н. Жумажанов¹ – основной автор, ©
К.М. Азимбекова², З.А. Мансуров³, К.К. Хамитова⁴,
С.Т. Казакбаев⁵, С.Т. Нуртазин⁶, Е.О. Досжанов⁷

^{1,2}Магистрант, ³Д-р хим. наук, профессор,⁴Кан. техн. наук, ст. преподаватель, ⁵Магистр, ⁶Д-р биол. наук, профессор,⁷PhD, доцент

ORCID

¹<https://orcid.org/0009-0004-6256-9814> ²<https://orcid.org/0009-0006-4229-7297>³<https://orcid.org/0000-0002-8956-216X> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-4435-4081>⁵<https://orcid.org/0009-0000-7975-5526> ⁶<https://orcid.org/0000-0002-3011-6851>⁷<https://orcid.org/0000-0002-3454-8889>^{1,2,3,4,6,7}Казахский национальный университет им. аль-Фараби,

г. Алматы, Казахстан

^{1,3,7}Институт проблем горения, г. Алматы, Казахстан⁵ТОО «Alemtrade», г. Алматы, Казахстан¹jumajanarman@gmail.com<https://doi.org/10.55956/FNXL9188>

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУКУРУЗНЫХ ОТХОДОВ И ВОЛЛАСТОНИТА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОНА

Аннотация. В работе изучена возможность производства экологически чистого картона из различных фракций кукурузных отходов и добавления волластонита (CaSiO_3) для улучшения свойств картона. Были проведены эксперименты с различными составами сырья: кукурузные листья, листовая обертка початков, смешанные отходы всех частей кукурузы с добавлением CaSiO_3 для улучшения механических свойств. Процесс включал делигнификацию с NaOH , промывку, измельчение, отливку и сушку. Были определены физико-механические характеристики готовых образцов, такие как граммаж, сопротивление давлению, прочность на изгиб. Оптимальные свойства показали образцы СЧК, ЛКЛП-1, ЛП, которые по ряду показателей соответствуют промышленным маркам картона К-2, КН-2, КС-2. Наилучшее сопротивление давлению показал образец СЧК (462,397 кПа), образец ЛП отличался высокой прочностью на изгиб (628 двойных изгибов). Образец с CaSiO_3 ЛКЛП-2 имел хорошую гибкость, но уровень влажности был низким (4,1%), что ограничивает его использование. Результаты исследования показали, что кукурузные отходы могут быть альтернативным источником сырья для производства картона и что модификация картона CaSiO_3 может улучшить его механические свойства и гладкость, однако научная тема требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: кукуруза, картон, целлюлоза, устойчивое производство, переработка сельскохозяйственных отходов.



Жумажанов, А.Н. Альтернативные источники целлюлозы: перспективы использования кукурузных отходов и волластонита в производстве картона [Текст] / А.Н. Жумажанов, К.М. Азимбекова, З.А. Мансуров, К.К. Хамитова, С.Т. Казакбаев, С.Т. Нуртазин, Е.О. Досжанов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №1(87). – С.312-324. <https://doi.org/10.55956/FNXL9188>

Введение. В настоящее время спрос на экологически чистые упаковочные материалы неуклонно растет. Традиционно основным сырьем для производства картона является древесная масса, что приводит к масштабной вырубке лесов. Этот процесс негативно сказывается на экосистемах, снижает биоразнообразие и способствует изменению климата. В связи с этим в научной литературе все больше внимания уделяется альтернативным источникам сырья, особенно сельскохозяйственным отходам. Среди них особый интерес представляют остатки кукурузы, содержащие значительное количество целлюлозы и обладающие потенциалом для применения в целлюлозно-бумажной промышленности. Согласно оценкам Министерства сельского хозяйства США (USDA), в 2024 году посевные площади кукурузы в Казахстане составили 180,0 тыс. га, а общий урожай достиг 1050,0 тыс. тонн при урожайности 58,3 ц/га [1]. Эти показатели свидетельствуют о высоком уровне производства кукурузы, что делает ее не только важной сельскохозяйственной культурой, но и перспективным источником растительного сырья. При переработке кукурузы образуется большое количество побочных продуктов, таких как стебли, листья и шелуха, которые зачастую остаются неиспользованными. Их переработка для производства картона может снизить зависимость от древесной массы, уменьшить объем отходов и внести вклад в развитие биоэкономики.

Исследования показывают, что кукурузные отходы обладают хорошими технологическими характеристиками для производства бумаги и картона. Например, изучение химического состава (до 38% целлюлозы в составе) и механических свойств кукурузной шелухи подтвердило ее пригодность для целлюлозно-бумажной промышленности [2]. В ряде работ было исследовано, что кукурузные остатки можно использовать для получения бумажно-картонных листов [3] и газетной бумаги [4]. Кроме того, возможны сочетания кукурузы с другими материалами, что открывает перспективы для дальнейших исследований и улучшения свойств конечного продукта [5]. В данной статье рассматривается процесс изготовления картона из кукурузных отходов и возможности его модификации с помощью добавления волластонита (CaSiO_3). Этот подход направлен на снижение экологической нагрузки и на повышение механических характеристики картона.

Условия и методы исследования. В качестве основного сырья для производства картона в данном исследовании использовался отход кукурузы, собранный в Алматинской области, Илийском районе. Эксперимент проводился из разных частей остатков кукурузы: в первом образце – простые листья кукурузы (ЛК), во втором – листовая обертка початков (ЛП), в третьем исследовали возможность получения картона из смешанных остатков стеблей и остальных частей кукурузы (СЧК), в четвертом – из листовой обертки початков и листьев кукурузы (ЛКЛП-1, пропорция 1/4), а в последнем образце – из листовой обертки початков и листьев кукурузы с добавлением минерала CaSiO_3 (ЛКЛП-2).

Для исследования волокон кукурузы, используемых для картонных образцов, а также для анализа структуры полученных картонных образцов был применен оптический микроскоп Leica DM6000 M в 10х и 20х увеличении. Анализы были проведены на оборудовании «ННЛОТ» КазНУ. Для получения микроскопических снимков был использован метод темных

полей, суть которого в создании тёмного фона засчет освещения и улавливания на объектив световых волн, исходящих только от объекта.

Для характеристики волокон кукурузной шелухи и их пригодности для производства картона были рассчитаны три ключевых показателя: коэффициент гибкости, коэффициент жесткости клеточной стенки и коэффициент Ранкеля. Эти параметры позволяют оценить структуру и механические свойства волокон, а также их влияние на качество полученного картона.

Коэффициент гибкости FC (%) определяет способность волокон к деформации и плотность их сцепления в бумажном листе (1). Волокна, имеющие коэффициент более 50%, обладают высокой эластичностью, а менее 30% – характеризуются повышенной жесткостью [6]. Коэффициент гибкости – один из важнейших показателей долговечности продукта и определяется по формуле:

$$FC = \left(\frac{LW}{D} \right) \times 100, \quad (1)$$

где: LW – ширина просвета волокна (мкм), D – диаметр волокна (мкм).

Для определения жесткости волокон и их устойчивости к механическим нагрузкам оценивается коэффициент жесткости клеточной стенки волокон R (2). Волокна с высокой жесткостью стенки способствуют повышенной сопротивляемости картона к сжатию и продавливанию. Коэффициент выражается в %, и жесткими волокна считаются, если их коэффициент жесткости клеточной стенки больше 50%. Коэффициент жесткости клеточной стенки определяется по формуле:

$$R = \left(\frac{CW}{D} \right) \times 100, \quad (2)$$

где: CW – толщина клеточной стенки (мкм), D – диаметр волокна (мкм).

В целях получения нужных характеристик прочности и текстуры оценивается еще один важный показатель – коэффициент Ранкеля RR (3). Для получения гладкого и прочного картона желательно, чтобы этот коэффициент был менее 1, так как это указывает на высокую гибкость волокон. Если коэффициент Ранкеля больше 1, волокна становятся жесткими и менее пластичными, что делает материал более ломким [7]. Коэффициент Ранкеля показывает отношение толщины клеточной стенки к ширине просвета и рассчитывается по формуле:

$$RR = \frac{2 \times CW}{LW}, \quad (3)$$

где: CW – толщина клеточной стенки (мкм), LW – ширина просвета волокна (мкм).

Методика изготовления картонных образцов из кукурузного сырья состоит из ряда технологических этапов, направленных на обеспечение высоких физико-механических свойств картона.

На первом этапе осуществлялась очистка и предварительная обработка растительного сырья перед основными технологическими процессами (рис. 1). 100 г сухого сырья (для каждого образца) нарезали на части размером 1-2 см. Нарезание необходимо для увеличения площади взаимодействия сырья с химическими реагентами на последующих этапах и облегчения дальнейшего измельчения. Предварительно нарезанное сырье подвергалось механическому измельчению. Этот процесс позволяет равномерно распределить частички материала и ускорить химическое воздействие на волокна при варке. Таким образом, меньший размер частиц ускоряет процесс разложения лигнина и извлечения целлюлозы.

В следующем этапе сырье подвергалось процессу варки для удаления лигнина (делигнификация) и получение целлюлозы. Процесс проводился в растворе 10 г NaOH, растворенного в 4 л воды, при температуре 90-95°C в течение 2,5 часов. Щелочная среда способствует разрушению лигнин-связей, позволяя высвободить целлюлозные волокна. После щелочной обработки волокна тщательно промывали дистиллированной водой до нейтрального pH, равного 7. Это необходимо для удаления остатков химических реагентов, которые могут повлиять на механические свойства картона и его экологическую устойчивость. Очищенные волокна проходили дополнительное измельчение для формирования однородной суспензии, обеспечивающей равномерное распределение волокон при отливке картона. Для получения точных данных о сухой массе будущих картонных образцов полученная однородная суспензия проходила процесс сушки.

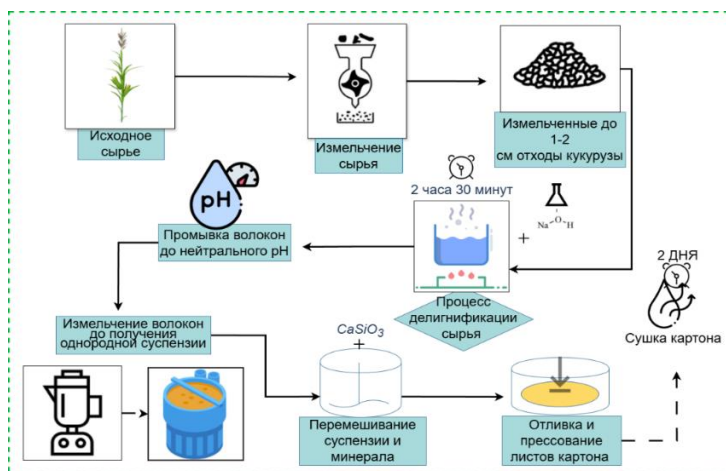
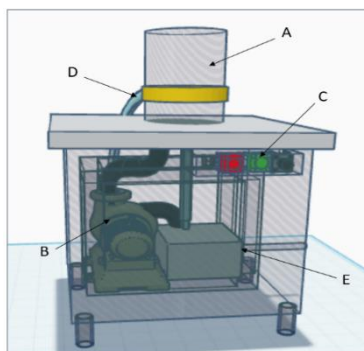


Рис. 1. Процесс получения картона

На дальнейшем этапе для улучшения механических свойств картона в полученную массу добавляли 0,5 г CaSiO_3 на 5 г регидратированной целлюлозы (10% массы целлюлозы) и перемешивали с помощью магнитной мешалки. CaSiO_3 может улучшить прочность картона, снизить его пористость и повысить влагостойкость, что делает материал более долговечным и устойчивым к механическим нагрузкам, а также влияет на его гладкость [8-10].

В финальном этапе суспензию загружали в лабораторный автоматический аппарат для отлива листов целлюлозы SKZ124b (Цзинань, Китай). Основные стадии процесса отливки были следующими (рис. 2):

суспензию заливали в резервуар машины, после чего она распределялась по сетчатому основанию; вода удалялась с помощью вакуума, а волокна формировали плотный слой; полученный слой уплотняли специальным валиком, выводя остатки воды. Готовый картонный лист диаметром 200 мм прессовали и подвергали сушке: сначала в сушильном шкафу при температуре 60-65°C в течение 5 часов, затем при комнатной температуре в течение 2 дней. Такой метод позволил получить образцы картона с различными механическими характеристиками, зависящими от состава сырья и добавленного минерала.



А – цилиндрическая камера, В – вакуумный насос, С – контрольная панель, D – система насыщения жидкости пузырьками воздуха, Е – емкость для отведения жидкости

Рис. 2. Принципиальное схематическое изображение лабораторного автоматического аппарата для отлива листов целлюлозы SKZ124b

Для комплексной оценки качества полученных картонных образцов были проведены испытания, направленные на определение их физико-механических характеристик:

1) Масса картона площадью 1 м². Этот показатель позволяет оценить плотность материала и его прочность. Масса картона на 1 м² показывает соотношение массы образца на площадь образца.

2) Абсолютное сопротивление давлению (кПа). Этот параметр показывает, какое давление картон способен выдержать перед разрушением, что критично для упаковочной промышленности. Для определения этого параметра применялся метод испытания на разрыв по Маллену, который выполнялся с использованием специального прибора – Automatic Mullen Burst Tester BN-8025C по стандарту ИСО 2759:2014 [11]. Тест основан на создании равномерного гидравлического давления на небольшую область картонного образца до момента его разрыва. Когда картон не выдерживает напряжения и разрывается, фиксируется максимальное приложенное давление, выраженное в килопаскалях (кПа).

3) Прочность на изгиб. Испытание прочности на изгиб определяет, насколько картон устойчив к механическому воздействию при многократных перегибах. Испытания проводились на аппарате NG-623 MIT по методике, описанной в стандарте ГОСТ ИСО 5626-97 [12]. Образцы размером 15 × 100 мм подвергались многократным изгибам в горизонтальном направлении с приложением нагрузки в 4,90 Н. Чем большее количество двойных изгибов

выдерживает материал, тем выше его эластичность и срок службы при механических нагрузках.

4) Влажность картона (%). Определение влажности проводилось путем взвешивания образца в исходном состоянии, затем его сушки в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы и повторного взвешивания. Этот показатель определялся в соответствии с ГОСТ 13525.19-91 [13]. Разница в массе позволяла рассчитать процентное содержание влаги. Оптимальный уровень влажности важен, так как чрезмерная влажность может привести к деформации и снижению прочности картона, а слишком сухой материал становится хрупким и менее устойчивым к механическим нагрузкам.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ морфологии показывает, что обычные листья имеют лучше выраженные сосудистые пучки и эпидермальные клетки (рис. 3). Обычные листья кукурузы имеют зеленые участки с хлорофиллом и продольную структуру волокна, они расположены более упорядоченно, чем у листовой обертки початков. У листовой обертки початков менее выраженная волокнистая структура, волокна более короткие, имеют более гладкую поверхность и расположены менее плотно.

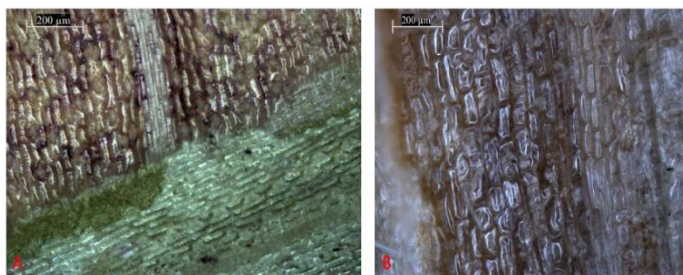


Рис. 3. Микроструктура растительного сырья в 10х увеличении: А – обычные листья кукурузы, В – листовая обертка початков

Кукуруза имеет волокна длиной 1,37-1,8 мм и диаметром 0,03-0,08 мм, ширина просвета 0,013 мм, а толщина клеточной стенки – около 0,008 мм. Характеристики волокна играют решающую роль в определении прочности, жесткости и эластичности картона и бумажных изделий [14].

Оценки волокон разных частей (рис. 4) показывают, что коэффициент гибкости (FC) волокна листьев и листовой обертки початков имеют хорошие показатели (43,3% и 30%), а у кожуры стеблей этот показатель 17,08%. Коэффициент жесткости (R) клеточной стенки кожуры стебля равен 26%, 10% – у обычных листьев и 16,4% – у листовой обертки початков. Коэффициент Ранкеля (RR) у всех был одинаковый, равный 1,2.

Внешний вид полученных картонных образцов значительно различается в зависимости от состава сырья. Образцы ЛК и ЛКЛП-2 демонстрируют наиболее гладкую поверхность по сравнению с другими вариантами (рис. 5). При этом ЛК имеет желтовато-коричневый оттенок, тогда как ЛКЛП-2 отличается серо-коричневым цветом. Образцы ЛП обладают светло-коричневым цветом с заметными мелкими включениями растительных волокон. В свою очередь, образцы СЧК характеризуются шероховатой поверхностью и желтовато-коричневым оттенком. Такая текстура объясняется наличием частиц стеблей кукурузы и других

растительных компонентов, которые неравномерно распределены в процессе формования. Картонные образцы ЛКЛП-1 имеют сравнительно гладкую поверхность и сероватый оттенок.



Рис. 4. Морфологическая характеристика волокон листьев кукурузы

Кроме того, некоторые образцы имеют небольшие неровности и микропоры (ЛКЛП-1, СЧК), что может влиять на их механическую прочность и способность поглощать влагу. При визуальном сравнении можно заметить, что некоторые образцы имеют ярко выраженную слоистую структуру, в то время как другие характеризуются однородной и плотной текстурой. Эти особенности могут влиять на дальнейшие эксплуатационные характеристики картона, такие как прочность, влагостойкость и гибкость.



Рис. 5. Экспериментальные образцы картона из волокон листьев кукурузы и других частей растения: 1) ЛК, 2) ЛКЛП-2, 3) ЛП, 4) ЛКЛП-1, 5) СЧК.

Оптические снимки картонных образцов показывают, что структура картонных образцов получилась разнообразной в зависимости от состава картона, в частности, в образце с добавлением CaSiO_3 (ЛКЛП-2) структура более рыхлая с наличием пустот (рис. 6). Частицы CaSiO_3 переплетены в волокнистую матрицу, напрямую влияющую на механические свойства картона. Фибры формируют сетчатую структуру. Также видны частицы вперемешку с длинными и короткими волокнами. В образце, где используются только листовые обертки початков (ЛП), волокна формируют достаточно плотную и однородную матрицу, фибры менее выражены, а их границы размыты. В целом, картон из листовой обертки имеет однородную

структуру. Картон с обычными листьями кукурузы (ЛК) имеет менее рыхлую структуру, чем в первом примере, но местами имеются пустоты и сгустки. Длинные и укороченные фрагменты фибры расположены хаотично. Наблюдаются тёмные и светлые остатки лигнина.

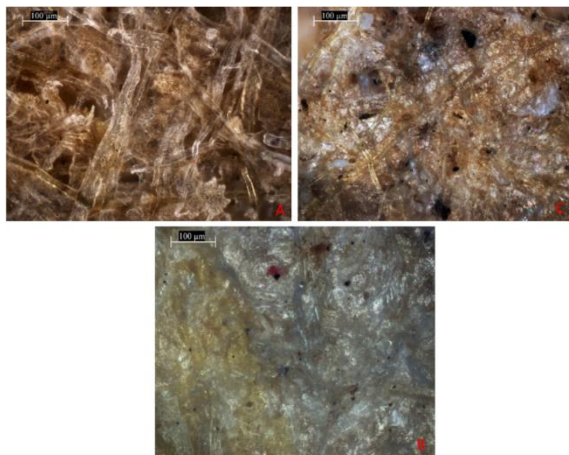


Рис. 6. Микроструктура картонных образцов в 20х увеличении: А – ЛКЛП-2, В – ЛП, С – ЛК

Также, в данном исследовании мы сравнили наши результаты физико-механических свойств картона с данными, представленными в СТ РК 3435-2019 [15], поскольку это позволяет нам оценить, насколько полученные нами результаты соответствуют существующим стандартам и практикам, принятым в Казахстане. Результаты выявленных при определении физико-механических свойств экспериментальных образцов картона приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства картонных образцов

Образцы	Показатели				
	Вес картона площадью 1 м ² , г	Толщина мм	Абсолютное сопротивление давлению, кПа	Прочность на изгиб, (количество двойных изгибов)	Влажность, %
СЧК	155,97	0,86±0,01	462,397	10	5,8
ЛКЛП-1	190,99	0,80±0,01	392,135	11	6
ЛКЛП-2	162,5	0,75±0,01	250,540	30	4,1
ЛП	117,01	0,72±0,01	290,330	628	6
ЛК	148	0,78±0,01	219,072	6	5

Среди образцов можно выделить СЧК, ЛКЛП-1 и ЛП, которые демонстрируют характеристики, близкие к маркам картона К-2, KN-2 и KS-2 (табл. 2), соответствующим требованиям, описанным в СТ РК 3435-2019. Образец СЧК показал следующие результаты: сопротивление абсолютному давлению – 462,397 кПа при весе 1 м² картона 155,97 г; прочность на изгиб и влажность соответствуют стандартным значениям.

Таблица 2

Физико-механические свойства картонных марок К-2, KN-2, KS-2 по СТ РК 3435-2019 [15]

Марки картона	Показатели			
	Вес картона площадью 1 м ² , г	Абсолютное сопротивление давлению, кПа	Прочность на изгиб (количество двойных изгибов), не менее	Влажность, %
К-2, KN-2, KS-2	115±4	320	10	6-8
	125±5	400	10	6-8
	140±6	450	10	6-8
	150±8	480	10	6-8
	175±9	520	15	6-8
	200±10	580	20	6-8
	225±11	640	20	6-8

Образец ЛКЛП-1 также продемонстрировал относительно хорошие показатели, однако его сопротивление давлению при высоком весе 1 м² картона оказалось ниже, чем у других образцов. Остальные параметры соответствуют нормативам. В образце ЛП также наблюдается низкий показатель сопротивления давлению. При весе 1 м², равном 117,01 г, сопротивление давлению составляет 290,330 кПа, что ниже минимального значения, установленного стандартом (320 кПа). Однако, стоит отметить, что прочность на изгиб у этого образца чрезвычайно высока (628 двойных изгибов), что можно объяснить большим количеством волокон и их значительной длиной. Подобные значения обычно характерны для некартонной бумаги, но для полноценной бумаги требуются более подходящие физико-механические свойства по другим параметрам.

В экспериментальных образцах ЛКЛП-2 и ЛК сопротивление давлению относительно веса 1 м² картона также оказалось низким (табл. 1). При этом образец ЛКЛП-2 демонстрирует относительно высокую прочность на изгиб при многократном изгибе в горизонтальном направлении, что приближает его к качественным маркам картона, таким как К-1, KN-1 и KS-1. Этот показатель даже превышает результаты, полученные в других научных исследованиях [5]. Однако существенным недостатком данного образца является уровень влажности, что ограничивает его применение практически в любых назначениях, кроме электроизоляционных картонных коробок, где требуется низкая влажность. Что касается образца ЛК, несмотря на его визуальную привлекательность, ключевые показатели оказались низкими, что делает его менее пригодным для практического использования.

Заключение. В условиях сокращения традиционных ресурсов древесины и роста экологических проблем поиск альтернативных источников целлюлозы становится актуальным направлением. Исследование показало, что кукурузные отходы, особенно кожуру и листья, можно использовать для изготовления картона. Морфологические характеристики волокон кукурузы, такие как коэффициенты гибкости и жесткости стенок, подтверждают их пригодность для изготовления картона с механической прочностью. Экспериментальные образцы показали, что сочетание кукурузных волокон с минеральными добавками, такими как волластонит, улучшает прочность картона, повышает его влагостойкость и снижает пористость, что делает процесс экологически устойчивым. Проведенные испытания подтвердили

соответствие ряда образцов требованиям стандартов упаковочного картона. Оптимальными по прочности, пластичности и влагостойкости оказались модели СЧК и ЛКЛП-1, свойства которых близки к промышленным маркам картона К-2, KN-2, KS-2. Некоторые экспериментальные образцы, такие как ЛП, показали недостаточную прочность на сжатие, но другие показатели соответствовали стандартам. В целом, исследование подтвердило возможность превращения кукурузных отходов в экологически чистый упаковочный материал, который способствует развитию устойчивых технологий в целлюлозно-бумажной промышленности и снижению нагрузки на лесные ресурсы.

Список литературы

1. Казахстан: прогноз сборов кукурузы в 2024 году [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://ab-centre.ru/news/kazakhstan-prognoz-sborov-kukuruzy-v-2024-godu>. Дата обращения: 31.01.2025.
2. Fagbemigun T.K., Fagbemi O.D., Otitoju O., Mgbachiuzor E., Igwe C.C. Pulp and paper-making potential of corn husk // International Journal of AgriScience. – 2014. – Vol. 4. – P. 209-212.
3. Suseno N., Gondokesumo M.E., Permatasari P.R. Utilization of corn husk for tissue paper making // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2338. – P. A.N. 040019.
4. Dany H.D., Asma A. Development and Characterization of Paper from Corn Husks as a New Material for Newsprint // Proceedings of the First Jakarta International Conference on Multidisciplinary Studies Towards Creative Industries. – Jakarta, Indonesia: JICOMS, 2022.
5. Fiscal R.R., Kristoffer B.V. Dandan. Development and Evaluation of Paper from Corn Husks (*Zea mays* L.) and Snake Plant Fibers (*Sansevieria zeylanica*) // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2016. – Vol. 5. – Issue 8. – P. 867-870.
6. Tsalagkas D., Börcsök Z., Pásztor Z., Gryc V., Csóka L., Giagli K.. A comparative fiber morphological analysis of major agricultural residues (used or investigated) as feedstock in the pulp and paper industry // BioResources. – 2021. – Vol. 16. – Issue 4. – P. 7935-7952.
7. Tekleyohanis T., Woldeyes B. Production and characterization of pulp and paper from flax straw // Scientific report. – 2024. – Vol. 14. – P. A.N. 24300.
8. Demidenko N.I., Podzorova L.I., Rozanova V.S., Skorokhodov V.A., Shevchenko V.Ya. Wollastonite as a New Kind of Natural Material (A Review) // Glass and Ceramics. – 2001. – Vol. 58. – P. 308-311.
9. Taurbekov A., Keidar B., Baltabay A., Imash A., Ko W.-B., Ko J.-W., Atamanov M., Mansurov Z., Smagulova G. Valorization of Grass Clipping Waste: A Sustainable Approach to Cellulose Extraction and Paper Manufacturing // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – A.N. 6680.
10. Xue H., Wang G., Hu M., Chen B. Modification of wollastonite by acid treatment and alkali-induced redeposition for use as papermaking filler // Powder Technology. – 2025. – Vol. 276. – P. 193-199.
11. ISO 2759:2014. Board. Determination of bursting strength. – Introduced. 2014-07-01. – Switzerland, ISO. – 3 p.
12. ГОСТ ИСО 5626-97. Определение прочности на излом при многократных перегибах (методы Шоппера, Ломаржи, Келер-Молина, МИТ) [Текст]. – Введ. 1997-04-25. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997 – 3 с.
13. ГОСТ 13525.19-91. Бумага и картон. Определение влажности метод высушивания в сушильном шкафу [Текст]. – Введ. 1993-01-01. – Москва: Стандартиформ, 2007 – 53 с.

14. Ekhuemelo D.O., Tor K. Assessment of fibre characteristics and suitability of maize husk and stalk for pulp and paper production // Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment. – 2013. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 41-49.
15. СТ РК 3435-2019. Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия [Текст]. – Введ. 2020-07-01. – Астана: Мемстандарт, 2014. – 5 с.

Авторы выражают благодарность лаборатории энергоемких наноматериалов Института проблем горения за предоставленное оборудование и поддержку в проведении экспериментов. Особая признательность А.Т. Таурбекову за ценные советы и помощь.

Материал поступил в редакцию 14.02.24, принят 11.03.25.

**А.Н. Жумажанов^{1,2}, К.М. Азимбекова¹, З.А. Мансуров^{1,2},
К.К. Хамитова¹, С.Т. Казакбаев³, С.Т. Нуртазин¹, Е.О. Досжанов^{1,2}**

¹Эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Жану проблемалары институты, Алматы қ., Қазақстан

³ЖШС «Alemtrade», Алматы қ., Қазақстан

ЦЕЛЛЮЛОЗАНЫҢ БАЛАМА КӨЗДЕРІ: КАРТОН ӨНДІРІСІНДЕ ЖҮГЕРІ ҚАЛДЫҚТАРЫ МЕН ВОЛЛАСТОНИТТІ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа. Жұмыста жүгері қалдықтарының әртүрлі фракцияларынан экологиялық таза картон өндіру және картонның қасиеттерін жақсарту үшін волластонит (CaSiO_3) қосу мүмкіндігі зерттелді. Шикізаттың әртүрлі құрамдарымен тәжірибелер жүргізілді: қарапайым жүгері жапырақтары, құлақ жапырақтары, механикалық қасиеттерін жақсарту үшін CaSiO_3 қосылған жүгерінің барлық бөліктерінің аралас қалдықтары. Картон алу процесі NaOH -мен делигнификациялауды, жууды, ұсақтауды, құюды және кептіруді қамтыды. Дайын үлгілердің 1 м^2 ауданға салмағы, қысымға төзімділігі, иілу беріктігі сияқты физикалық-механикалық сипаттамаларды талдады. Оңтайлы қасиеттерді бірқатар көрсеткіштер бойынша К-2, КН-2, КС-2 картонының (ҚР СТ 3435-2019) өнеркәсіптік маркаларына сәйкес келетін СЧК, ЛКЛП-1, ЛП үлгілері көрсетті. Қысымға ең жақсы қарсылықты СЧК үлгісі көрсетті (462.397 кПа), ЛП үлгісі жоғары иілу беріктігімен ерекшеленді (628 қос иілулер). CaSiO_3 ЛКЛП-2 үлгісі жақсы икемділікке ие болды, бірақ ылғалдылық деңгейі төмен болды (4.1 %), бұл оны пайдалануды шектейді. Зерттеу нәтижелері жүгері қалдықтары картон өндірісінің балама шикізат көзі болуы мүмкін екенін және CaSiO_3 картонының модификациясы оның механикалық қасиеттерін жақсартатынын көрсетті, бірақ қосымша зерттеуді қажет етеді.

Тірек сөздер: жүгері, картон, целлюлоза, тұрақты өндіріс, ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеу.

A.N. Zhumazhanov^{1,2}, K.M. Azimbekova¹, Z.A. Mansurov^{1,2},
K.K. Khamitova¹, S.T. Kazakbaev³, S.T. Nurtazin¹, Y.O. Doszhanov^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan

²The Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

³LLP «Alemtrade», Almaty, Kazakhstan

ALTERNATIVE SOURCES OF CELLULOSE: PROSPECTS FOR THE USE OF CORN WASTE AND WOLLASTONITE IN THE PRODUCTION OF CARDBOARD

Abstract. The scientific work examines the possibility of producing environmentally friendly cardboard from various fractions of corn waste and adding wollastonite (CaSiO₃) to improve the properties of cardboard. Experiments were conducted with various raw material compositions: simple corn leaves, cob leaves, mixed waste of all parts of corn with the addition of CaSiO₃ to improve mechanical properties. The process included delignification with NaOH, washing, grinding, casting and drying. The finished samples were analyzed for their physical and mechanical characteristics, such as gramage, pressure resistance, and bending strength. The optimal properties were shown by the samples of SCK, LKLP-1, LP, which, according to a number of indicators, correspond to the industrial grades of cardboard K-2, KN-2, KS-2 (ST RK 3435-2019). The best pressure resistance was shown by the SCC sample (462.397 kPa), the LP sample was characterized by high bending strength (628 double bends). The sample with CaSiO₃ LKLP-2 had good flexibility, but the humidity level was low (4.1%), which limits its use. The results of the study showed that corn waste can be an alternative source of raw materials for the production of cardboard and that modification of CaSiO₃ cardboard can improve its mechanical properties and smoothness, however, the scientific topic requires further research.

Keywords: corn, cardboard, cellulose, sustainable production, processing of agricultural waste.

References

1. Kazakhstan: forecast of corn harvest in 2024 [Electronic resource]: – Access mode: <https://ab-centre.ru/news/kazakhstan-prognoz-sborov-kukuruzy-v-2024-godu>. Date of access: 31.01.2025. [in Russian].
2. Fagbemigun T.K., Fagbemi O.D., Otitoju O., Mgbachiuzor E., Igwe C.C. Pulp and paper-making potential of corn husk // International Journal of AgriScience. – 2014. – Vol. 4. – P. 209-212.
3. Suseno N., Gondokesumo M.E., Permatasari P.R. Utilization of corn husk for tissue paper making // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2338. – P. A.N. 040019.
4. Dany H.D., Asma A. Development and Characterization of Paper from Corn Husks as a New Material for Newsprint // Proceedings of the First Jakarta International Conference on Multidisciplinary Studies Towards Creative Industries. – Jakarta, Indonesia: JICOMS, 2022.
5. Fiscal R.R., Kristoffer B.V. Dandan. Development and Evaluation of Paper from Corn Husks (*Zea mays* L.) and Snake Plant Fibers (*Sansevieria zeylanica*) // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2016. – Vol. 5. – Issue 8. – P. 867-870.
6. Tsalagkas D., Börcsök Z., Pásztory Z., Gryc V., Csóka L., Giagli K.. A comparative fiber morphological analysis of major agricultural residues (used or investigated) as feedstock in the pulp and paper industry // BioResources. – 2021. – Vol. 16. – Issue 4. – P. 7935-7952.
7. Tekleyohanis T., Woldeyes B. Production and characterization of pulp and paper from flax straw // Scientific report. – 2024. – Vol. 14. – P. A.N. 24300.

8. Demidenko N.I., Podzorova L.I., Rozanova V.S., Skorokhodov V.A., Shevchenko V.Ya. Wollastonite as a New Kind of Natural Material (A Review) // Glass and Ceramics. – 2001. – Vol. 58. – P. 308-311.
9. Taurbekov A., Keidar B, Baltabay A., Imash A., Ko W.-B., Ko J.-W., Atamanov M., Mansurov Z., Smagulova G. Valorization of Grass Clipping Waste: A Sustainable Approach to Cellulose Extraction and Paper Manufacturing // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – A.N. 6680.
10. Xue H., Wang G., Hu M., Chen B. Modification of wollastonite by acid treatment and alkali-induced redeposition for use as papermaking filler // Powder Technology. – 2025. – Vol. 276. – P. 193-199.
11. ISO 2759:2014. Board. Determination of bursting strength. – Introduced. 2014-07-01. – Switzerland, ISO. – 3 p.
12. GOST ISO 5626-97. Opredeleniye prochnosti na izlom pri mnogokratnykh peregibakh (metody Shoppera, Lomarzhi, Keler-Molina, MIT) [GOST ISO 5626-97. Determination of fracture strength at multiple bends by Shopper, Lomarzhi, Koehler-Molina, MIT methods]. – Introduced. 1997-04-25. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1997 – 3 p. [in Russian].
13. GOST 13525.19-91. Bumaga i karton. Opredeleniye vlazhnosti metod vysushivaniya v sushil'nom shkafu [GOST 13525.19-91. Paper and cardboard. Humidity determination is a drying method in a drying oven]. – Introduced. 1993-01-01 Moscow: Standartinform, 2007 – 53 p. [in Russian].
14. Ekhuemelo D.O., Tor K. Assessment of fibre characteristics and suitability of maize husk and stalk for pulp and paper production // Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment. – 2013. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 41-49.
15. ST RK 3435-2019. Karton dlya ploskikh sloyev gofirovannogo kartona. Tekhnicheskiye usloviya [ST RK 3435-2019. Cardboard for flat layers of corrugated cardboard. Technical specifications]. – Introduced. 2020-07-01. – Astana: Memstandart, 2014. – 5 p. [in Russian].