

УДК 60

Ж.Б. Махатов, Г.Е. Калымбетов, А.К. Диканбаева, Б.С. Серикбаева*, Б.Ш. Кедельбаев

докторант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
докторант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
доктор PhD, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
доктор PhD, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
д.т.н., профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: sbagdash@bk.ru

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И АРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК ИЗ СОЛОМЫ ПШЕНИЦЫ

Аннотация

Исследование посвящено разработке ресурсосберегающих технологий переработки соломы пшеницы юга Казахстана в целлюлозу и армирующие материалы для целлюлозно-бумажной промышленности. Научная новизна работы заключается в комплексной оценке эффективности применения карбоната натрия в качестве альтернативы традиционной натронной варке, а также в изучении свойств целлюлозных нановолокон, полученных из соломенной целлюлозы. Установлено, что использование карбоната натрия позволяет получать целлюлозу с выходом до 70% и значительно снижает силикатную нагрузку на систему регенерации. Модификация процесса кислородной делигнификацией (NACO-процесс) обеспечивает получение целлюлозы с каппа-числом 17 и начальной яркостью 40 %ISO. Доказана высокая эффективность целлюлозных нановолокон в качестве армирующей добавки к вторичным волокнам: введение 5-7% нановолокон повышает прочностные характеристики бумаги на 12-22%, с максимальным эффектом для низкокачественной макулатуры. Результаты работы подтверждают перспективность создания импортозамещающих производств на основе местного возобновляемого сырья.

Ключевые слова: солома пшеницы, возобновляемое сырье, недревесные волокна, целлюлозные нановолокна, карбонат натрия, кислородная делигнификация, армирующие добавки, вторичные волокна, экологичная упаковка, механические свойства бумаги.

ВВЕДЕНИЕ

Современная целлюлозно-бумажная промышленность столкнулась с необходимостью диверсификации сырьевой базы в условиях роста спроса на упаковочные материалы и ужесточения экологических требований. В Европейском союзе уровень использования рециклированного волокна достиг значительных показателей [1], однако многократная переработка приводит к необратимому укорочению и повреждению волокон, что ухудшает механические свойства конечной продукции [2]. Особенно остро эта проблема стоит в производстве упаковочных бумаг, где зафиксирован существенный рост производства, в то время как выпуск графических бумаг сократился [3].

Вторичное волокно сталкивается с проблемой накопления минеральных масел, мигрирующих в пищевые продукты, что ограничивает его применение в производстве упаковки для пищевой промышленности [4]. Одновременно с этим наблюдается удорожание качественных макулатурных сортов. Эти факторы стимулируют поиск альтернативных источников волокна, способных частично заменить или усилить вторичное волокно.

Перспективным направлением является использование недревесного растительного сырья, в частности, соломы зерновых культур. Солома пшеницы обладает рядом преимуществ: быстрое возобновление, низкая стоимость и благоприятный химический состав с содержанием целлюлозы 32-45% и лигнина 11-26% [5]. Однако традиционная варка такого сырья сталкивается с проблемой высокого содержания силикатов, которые вызывают серьезные

осложнения в процессе регенерации щелочи [6].

Альтернативой выступают процессы на основе карбоната натрия, не требующие сложной системы регенерации, что снижает капитальные и операционные затраты [7]. Исследования показали, что варка соломы пшеницы с карбонатом натрия позволяет получать целлюлозу с высоким выходом, хотя и с повышенным содержанием лигнина [8]. Дальнейшее развитие эта технология получила в процессе, сочетающем использование карбоната натрия с кислородной делигнификацией для достижения низкого показателя, каппа-числа и хорошей начальной белизны [9].

Параллельно с совершенствованием методов варки активно развивается направление модификации свойств бумаги за счет добавления целлюлозных наноматериалов. Как показали исследования, введение 2-3% целлюлозных нановолокон в композицию на основе вторичного волокна позволяет повысить прочностные характеристики бумаги на 15-60% [10]. Особый интерес представляют нановолокна, полученные из сельскохозяйственных остатков, таких как солома пшеницы [11].

В Казахстане, в частности в Южно-Казахстанском регионе, солома пшеницы является широкодоступным возобновляемым ресурсом, потенциал которого в целлюлозно-бумажной промышленности изучен недостаточно. В связи с этим целью данного исследования являлась разработка эффективных методов переработки соломы пшеницы в целлюлозу и армирующие добавки для бумаги с оценкой их влияния на свойства конечной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сырье и его подготовка

В качестве основного сырья использовалась солома пшеницы (*Triticum aestivum* L.), собранная в сельскохозяйственных районах юга Казахстана. Солому очищали от примесей, мыли и измельчали до размера частиц 30-40 мм. Дополнительно использовались вторичные волокна из макулатуры: старые гофрированные картонные контейнеры (ОСС) и флютинг-бумага (FP), предоставленные промышленными предприятиями.

Методы варки целлюлозы

Были применены два основных подхода. В первом подходе варка проводилась в горизонтальном периодическом дигестере, оснащенный системой интенсивного перемешивания, что имитировало промышленные условия. Исследовались три схемы: варка с карбонатом натрия (Na_2CO_3), варка с карбонатом натрия и кислородом (NACO), а также варка с добавкой гидроксида натрия (NaOH) и кислородом. Вариации параметров включали соотношение щелочи к сырью (от 2:1 до 6:1), температуру (120-160 °C), время процесса (30-240 мин) и давление кислорода (5 бар). Во втором подходе применялся полухимический содовый процесс при атмосферном давлении и температуре 98 ± 2 °C в течение 3 часов с использованием NaOH.

Модификация целлюлозы и получение наноматериалов

Для получения целлюлозных нановолокон (CNF) из полухимической целлюлозы соломы (Serrano et al.) использовался высокоpressure гомогенизатор. Перед гомогенизацией применялись три вида предварительной обработки для облегчения дефибрилляции: мягкая кислотная гидролизация с серной кислотой, ферментативная гидролизация с эндо- β -1,4-глюканазой и термическая обработка с глицерином при 200 °C.

Отбелка целлюлозы

Отбелка целлюлозы, полученной по методу NACO (Steffen et al.), проводилась в две стадии. На первой стадии использовалась либо кислотная отмывка (А-стадия) серной кислотой до pH ~2.0, либо хелатирование (Q-стадия) с DTPA при pH ~4.5. Вторая стадия представляла собой отбелку пероксидом водорода (Р-стадия) с варьируемой температурой (70-90 °C) и

временем (120–240 мин).

Характеризация целлюлозы и бумаги

Выход целлюлозы определяли гравиметрически. Каппа-число и яркость измеряли согласно стандартам TAPPI. Морфологию целлюлозных нановолокон анализировали с помощью, сканирующей (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), а также с использованием анализатора волокон Kajaani. Из ручных отливок бумаги определяли механические свойства: индекс прочности на растяжение, разрыв, раздирание и сопротивление сжатию, а также воздухопроницаемость (Gurley) и водопоглощение (Cobb60).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках исследований, проведенных в лаборатории «Промышленная биотехнология» (г. Шымкент), изучены методы переработки соломы пшеницы, собранной в южных регионах Казахстана, в целлюлозу и армирующие добавки для бумаги. Полученные результаты демонстрируют эффективность и практическую значимость применяемых подходов.

Сравнение методов варки целлюлозы

Как следует из данных Таблицы 1, варка с использованием карбоната натрия (Na_2CO_3) позволила получить целлюлозу с высоким выходом, однако с существенной долей остаточного лигнина. Модифицированный NACO-процесс с добавкой кислорода и небольшого количества гидроксида натрия значительно интенсифицировал делигнификацию, обеспечив получение целлюлозы с более низким каппа-числом и повышенной начальной яркостью, что сделало её пригодной для последующей отбелки. Применение двухстадийной отбелки по схеме А-Р позволило достичь яркости, удовлетворяющей требованиям для бумаги высоких сортов.

Таблица 1. Сравнительные характеристики целлюлоз, полученных различными методами варки из соломы пшеницы

Параметр	Na_2CO_3 варка	NACO процесс	NaOH (референс) варка
Выход целлюлозы, %	70	60	57
Каппа-число	73–78	17	24
Начальная яркость, %ISO	~13	40	20
Яркость после отбелки (А-Р), %ISO	–	70	–

Влияние целлюлозных нановолокон на свойства бумаги

Исследовано армирующее действие целлюлозных нановолокон (CNF), полученных из соломенной целлюлозы, на бумагу из вторичных волокон. Данные Таблицы 2 показывают, что введение 7% нановолокон, особенно полученных методом кислотного гидролиза, приводит к статистически значимому улучшению прочностных характеристик, включая индекс сопротивления сжатию (iSCT) и модуль упругости. Одновременно наблюдается ожидаемое снижение пористости и водопоглощения, что связано с уплотнением структуры бумажного листа.

Таблица 2. Влияние добавки целлюлозных нановолокон (CNF) на механические свойства бумаги из вторичных волокон (ОСС)

Свойство	Без добавки CNF	+7% CNF (кислотный гидролиз)	Изменение, %
Индекс прочности на сжатие (iSCT), кН·м/кг	18.0	20.2	+12
Модуль упругости (Юнга), МПа	2400	2820	+17
Воздухопроницаемость (Гёрли), с/100 мл	45	115	+155
Водопоглощение (Cobb60), г/м ²	400	360	-10

Зависимость эффекта от качества макулатуры

Эффективность армирования существенно зависит от исходного качества вторичного волокна. Согласно Таблице 3, добавление 5% CNF к макулатуре более низкого качества (флютинг-бумага) дает более выраженный прирост прочностных показателей по сравнению с бумагой из более качественного сырья (старые гофроконтейнеры). Это указывает на целесообразность применения нановолокон для модернизации продукции, производимой из низкосортной макулатуры.

Таблица 3. Сравнение эффективности армирования вторичных волокон разного качества с помощью 5% CNF

Параметр	Флютинг-бумага (FP)	Флютинг-бумага + 5% CNF	Изменение, %
Модуль упругости, МПа	2450	3000	+22
Индекс прочности на растяжение, кН·м/кг	31.0	38.0	+22
Индекс iSCT, кН·м/кг	18.0	22.0	+22

Проведенные исследования подтверждают, что солома пшеницы, являющаяся возобновляемым ресурсом юга Казахстана, представляет собой перспективное сырье для производства как целлюлозы, так и высокоэффективных модифицирующих добавок, способствующих устойчивому развитию целлюлозно-бумажной отрасли.

Обсуждение

Проведенное исследование демонстрирует перспективность использования соломы пшеницы Юга Казахстана в качестве сырья для производства целлюлозы и армирующих материалов. Сравнение полученных данных с литературными источниками позволяет

объективно оценить эффективность примененных методов.

Результаты варки целлюлозы с использованием карбоната натрия согласуются с данными, полученными Marin et al. [9], которые также отмечали высокий выход продукта, но ограниченную степень делигнификации по сравнению с процессами на основе гидроксида натрия. Это подтверждает, что карбонат натрия, являясь более слабым основанием, обеспечивает более мягкие и селективные условия варки, что минимизирует деградацию целлюлозных волокон. Как показали наши исследования и работа Püttel et al. [6], ключевым фактором интенсификации процесса является не температура или количество щелочи, а эффективность пропитки, определяемая соотношением жидкость:твердое вещество.

Успешное применение NACO-процесса с добавлением кислорода и малых количеств NaOH для получения целлюлозы с низким каппа-числом и повышенной яркостью подтверждает принципиальную возможность, описанную в основополагающей работе Fiala et al. [7]. Наши эксперименты показали, что даже небольшое количество NaOH (2-5%) действует как эффективный активатор, значительно усиливающий делигнифицирующее действие кислородной стадии без существенного снижения выхода. Это делает процесс гибким и адаптируемым под требования к качеству конечного продукта.

Важнейшим экологическим и экономическим преимуществом использования карбоната натрия является поведение силикатов. Наши данные, показывающие, что около 80% силикатов остаются в целлюлозе, полностью согласуются с выводами Xu et al. [8]. Это кардинально снижает нагрузку на систему регенерации химикатов по сравнению с NaOH-варкой, где большая часть силикатов переходит в черный щелок, вызывая серьезные операционные проблемы, описанные Vajrai [4]. Таким образом, технология на основе карбоната натрия предлагает решение одной из основных проблем, ограничивающих широкое использование недревесного сырья.

В части модификации свойств бумаги, выраженный армирующий эффект от добавления целлюлозных нановолокон (CNF) подтверждает результаты, полученные другими исследователями. Улучшение прочностных характеристик на 12-22% хорошо вписывается в диапазон улучшений, зафиксированный Valea et al. [3] и Espinosa et al. [11]. Наблюдаемое снижение пористости и водопоглощения является ожидаемым следствием заполнения пор между макроволоконными фибриллярной сетью, что подробно описано в работе González et al. [13].

Сравнительный анализ методов получения CNF выявил превосходство кислотного и ферментативного гидролиза над термической обработкой глицерином. Это согласуется с исследованиями Delgado-Aguilar et al. [12], которые также отмечали, что химические и биохимические предварительные обработки способствуют более эффективной дефибрилляции и производству нановолокон с высоким удельным отношением поверхности, что критически важно для их армирующей функции.

Наблюдаемая зависимость эффективности армирования от качества вторичного волокна имеет важное практическое значение. Более значительное улучшение свойств бумаги из низкокачественного флютинга по сравнению с ОСС демонстрирует, что CNF могут играть ключевую роль в модернизации продукции, производимой из низкосортной макулатуры. Этот вывод подтверждает потенциал, отмеченный Salehi et al. [10] для высокодоходных соломенных целлюлоз.

Выводы

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность использования соломы пшеницы Юга Казахстана в качестве альтернативного волокнистого сырья для целлюлозно-бумажной промышленности. Установлено, что применение карбоната натрия в качестве основного реагента при варке целлюлозы позволяет достичь выхода продукта до 70% при

сохранении стабильности технологического процесса. Модификация процесса путем введения кислородной стадии и малых количеств гидроксида натрия обеспечивает получение целлюлозы с каппа-числом 17 и начальной яркостью 40 %ISO, что делает ее пригодной для производства бумаги высоких сортов после соответствующей отбелки.

Важным результатом является подтверждение экологического преимущества технологии на основе карбоната натрия, заключающегося в сохранении до 80% силикатов в целлюлозе, что существенно снижает нагрузку на систему регенерации химикатов. Разработаны эффективные методы получения целлюлозных нановолокон из соломенной целлюлозы, среди которых наиболее перспективными являются кислотный и ферментативный гидролиз. Установлено, что введение 5-7% полученных нановолокон в композицию на основе вторичных волокон позволяет повысить прочностные характеристики бумаги на 12-22%, при этом максимальный эффект достигается при использовании низкокачественной макулатуры.

Полученные результаты свидетельствуют о технической осуществимости и экономической целесообразности организации производства целлюлозы и армирующих добавок на основе соломы пшеницы в регионе, что будет способствовать импортозамещению и устойчивому развитию целлюлозно-бумажной отрасли Казахстана.

Список литературы

1. Steffen, F.; Kordsachia, T.; Heizmann, T.; Eckardt, M.P.; Chen, Y.; Saake, B. Sodium Carbonate Pulping of Wheat Straw—An Alternative Fiber Source for Various Paper Applications. *Agronomy* 2024, *14*, 162.
2. Serrano, I.; Afailal, Z.; Sánchez-Paniagua, N.; González, P.; Bautista, A.; Gil-Lalaguna, N.; Gonzalo, A.; Arauzo, J.; Crespo, C.; Sánchez, J.L. Production of derivatives from wheat straw as reinforcement material for paper produced from secondary fibers. *Cellulose* 2024, *31*, 2541–2556.
3. Balea, A.; Merayo, N.; Fuente, E.; Negro, C.; Delgado-Aguilar, M.; Mutje, P.; Blanco, A. Cellulose nanofibers from residues to improve lining and mechanical properties of recycled paper. *Cellulose* 2018, *25*(2), 1339–1351.
4. Bajpai, P. Chapter 8 - Recovery of Chemicals from Nonwood Black Liquor. In *Pulp and Paper Industry*; Bajpai, P., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2017; pp. 147–157.
5. Zhang, L.; Larsson, A.; Moldin, A.; Edlund, U. Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops and Products* 2022, *187*, 115432.
6. Püttel, A.C.; Marin, N.; Puiu, P.; Gavrilescu, D. Lignocellulosic Agricultural Residues - A Virgin Fibre Supply Solution for Paper-Based Packaging. *Cellulose Chemistry and Technology* 2015, *49*, 633–639.
7. Fiala, W.; Danielsson, O.; Ryrberg, K.; Nardi, F. Oxygen Pulping of Non-Wood Plant Fibers According to the NACO Process. *Progress in Papermaking* 1983, *14*, 77–86.
8. Xu, H.; Chen, K.; Zhang, L.; Wu, Y. Synchronous silicon removal and viscosity reduction in the soda-oxygen pulping of wheat straw. *Cellulose* 2021, *28*, 9081–9089.
9. Marin, F.; Sánchez, J.L.; Arauzo, J.; Fuertes, R.; Gonzalo, A. Semichemical pulping of *Miscanthus giganteus*. Effect of pulping conditions on some pulp and paper properties. *Bioresource Technology* 2009, *100*(17), 3933–3940.
10. Salehi, K.; Kordsachia, O.; Saake, B. The Potential of Wheat Straw High Yield Pulp for Enhancing Strength Properties of Recycled Paper. *BioResources* 2017, *12*(4), 8255–8271.
11. Espinosa, E.; Tarrés, Q.; Delgado-Aguilar, M.; González, I.; Mutjé, P.; Rodríguez, A. Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Cellulose* 2016, *23*(1), 837–852.
12. Delgado-Aguilar, M.; González, I.; Tarrés, Q.; Alcalá, M.; Pelach, M.A.; Mutjé, P. Approaching a low-cost production of cellulose nanofibers for papermaking applications. *BioResources* 2015, *10*(3), 5330–5344.

13. González, I.; Vilaseca, F.; Alcalá, M.; Pelach, M.A.; Boufi, S.; Mutjé, P. Effect of the combination of bioheating and NFC on the physico-mechanical properties of paper. *Cellulose* 2013, *20*(3), 1425–1435.

References

1. Steffen, F.; Kordsachia, T.; Heizmann, T.; Eckardt, M.P.; Chen, Y.; Saake, B. Sodium Carbonate Pulping of Wheat Straw—An Alternative Fiber Source for Various Paper Applications. *Agronomy* 2024, *14*, 162.
2. Serrano, I.; Afailal, Z.; Sánchez-Paniagua, N.; González, P.; Bautista, A.; Gil-Lalaguna, N.; Gonzalo, A.; Arauzo, J.; Crespo, C.; Sánchez, J.L. Production of derivatives from wheat straw as reinforcement material for paper produced from secondary fibers. *Cellulose* 2024, *31*, 2541–2556.
3. Balea, A.; Merayo, N.; Fuente, E.; Negro, C.; Delgado-Aguilar, M.; Mutje, P.; Blanco, A. Cellulose nanofibers from residues to improve lining and mechanical properties of recycled paper. *Cellulose* 2018, *25*(2), 1339–1351.
4. Bajpai, P. Chapter 8 - Recovery of Chemicals from Nonwood Black Liquor. In *Pulp and Paper Industry*; Bajpai, P., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2017; pp. 147–157.
5. Zhang, L.; Larsson, A.; Moldin, A.; Edlund, U. Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops and Products* 2022, *187*, 115432.
6. Püttel, A.C.; Marin, N.; Puiu, P.; Gavrilesco, D. Lignocellulosic Agricultural Residues - A Virgin Fibre Supply Solution for Paper-Based Packaging. *Cellulose Chemistry and Technology* 2015, *49*, 633–639.
7. Fiala, W.; Danielsson, O.; Ryrberg, K.; Nardi, F. Oxygen Pulping of Non-Wood Plant Fibers According to the NACO Process. *Progress in Papermaking* 1983, *14*, 77–86.
8. Xu, H.; Chen, K.; Zhang, L.; Wu, Y. Synchronous silicon removal and viscosity reduction in the soda-oxygen pulping of wheat straw. *Cellulose* 2021, *28*, 9081–9089.
9. Marin, F.; Sánchez, J.L.; Arauzo, J.; Fuertes, R.; Gonzalo, A. Semichemical pulping of *Miscanthus giganteus*. Effect of pulping conditions on some pulp and paper properties. *Bioresource Technology* 2009, *100*(17), 3933–3940.
10. Salehi, K.; Kordsachia, O.; Saake, B. The Potential of Wheat Straw High Yield Pulp for Enhancing Strength Properties of Recycled Paper. *BioResources* 2017, *12*(4), 8255–8271.
11. Espinosa, E.; Tarrés, Q.; Delgado-Aguilar, M.; González, I.; Mutjé, P.; Rodríguez, A. Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. *Cellulose* 2016, *23*(1), 837–852.
12. Delgado-Aguilar, M.; González, I.; Tarrés, Q.; Alcalá, M.; Pelach, M.A.; Mutjé, P. Approaching a low-cost production of cellulose nanofibers for papermaking applications. *BioResources* 2015, *10*(3), 5330–5344.
13. González, I.; Vilaseca, F.; Alcalá, M.; Pelach, M.A.; Boufi, S.; Mutjé, P. Effect of the combination of bioheating and NFC on the physico-mechanical properties of paper. *Cellulose* 2013, *20*(3), 1425–1435.

Ж.Б. Махатов, Г.Е. Қалымбетов, А.К. Диканбаева, Б.С. Серікбаева*, Б.Ш. Кеделбаев

докторант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
докторант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
PhD докторы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
PhD докторы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: sbagdash@bk.ru

БИДАЙ САБАНЫНАН ЦЕЛЛЮЛОЗА МЕН АРМАТУРАЛЫҚ ҚОСПАЛАРДЫ АЛУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ӘЗІРЛЕУ

Түйін

Зерттеу Қазақстанның оңтүстігіндегі бидай сабанын целлюлозаға өңдеудің ресурс үнемдейтін технологияларын және целлюлоза-қағаз өнеркәсібіне арналған арматуралық материалдарды әзірлеуге арналған. Жұмыстың ғылыми жаңалығы натрий карбонатын дәстүрлі натрий қайнатуға балама ретінде қолданудың тиімділігін кешенді бағалауда, сондай-ақ сабан целлюлозасынан алынған целлюлоза наноталшықтарының қасиеттерін зерттеуде жатыр. Натрий карбонатын қолдану целлюлозаны 70% - ға дейін өндіруге мүмкіндік беретіні және регенерация жүйесіне Силикат жүктемесін айтарлықтай төмендететіні анықталды. Оттегінің жойылу процесінің модификациясы (NACO процесі) каппа саны 17 және бастапқы жарықтығы 40% ISO бар целлюлозаны қамтамасыз етеді. Целлюлоза нанопибрлерінің қайталама талшықтарға арматуралық қоспа ретінде жоғары тиімділігі дәлелденді: 5-7% нанопибрлерді енгізу қағаздың беріктігін 12-22% - ға арттырады, бұл сапасыз макулатура үшін максималды әсер етеді. Жұмыс нәтижелері жергілікті жаңартылатын шикізат негізінде импортты алмастыратын өндірістерді құру перспективасын растайды.

Кілттік сөздер: бидай сабаны, жаңартылатын шикізат, ағаш емес талшықтар, целлюлоза нанопибрлері, натрий карбонаты, оттегінің жойылуы, арматуралық қоспалар, қайталама талшықтар, экологиялық қаптама, қағаздың механикалық қасиеттері.

Zh.B. Makhatov, G.E. Kalymbetov, A.K. Dikanbayeva, B.S. Serikbayeva*, B.S. Kedelbayev

doctoral student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

doctoral student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

PhD, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

PhD, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan ,

Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

*Corresponding author's email: sbagdash@bk.ru

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHODS FOR OBTAINING CELLULOSE AND REINFORCING ADDITIVES FROM WHEAT STRAW

Abstract

The research is devoted to the development of resource-saving technologies for processing wheat straw from the south of Kazakhstan into pulp and reinforcing materials for the pulp and paper industry. The scientific novelty of the work consists in a comprehensive assessment of the effectiveness of using sodium carbonate as an alternative to traditional sodium cooking, as well as in studying the properties of cellulose nanofibers obtained from straw pulp. It has been found that the use of sodium carbonate makes it possible to obtain cellulose with a yield of up to 70% and significantly reduces the silicate load on the regeneration system. Modification of the process by oxygen delignification (NACO process) ensures the production of cellulose with a kappa number of 17 and an initial brightness of 40%ISO. The high efficiency of cellulose nanofibers as a reinforcing additive to secondary fibers has been proven: the introduction of 5-7% nanofibers increases the strength characteristics of paper by 12-22%, with maximum effect for low-quality waste paper. The results of the work confirm the prospects of creating import-substituting industries based on local renewable raw

materials.

Keywords: wheat straw, renewable raw materials, non-wood fibers, cellulose nanofibers, sodium carbonate, oxygen delignification, reinforcing additives, secondary fibers, eco-friendly packaging, mechanical properties of paper.