

УДК 676.163.023.1

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ВИСКОЗНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

© *Ф.Х. Хакимова\*, И.И. Фонарёв, О.А. Носкова, К.А. Синяев*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр., 29, Пермь, 614990, Россия, oa-noskova@mail.ru*

Получена древесная вискозная целлюлоза из промышленной бисульфитной целлюлозы с высокой массовой долей лигнина, предназначенной для производства бумаги. Использована технология оригинальная, экологичная, отличающаяся селективностью процессов и применяемых реагентов. Предлагаемая технология вызывает меньшую деструкцию целлюлозы, чем традиционные, и приводит к получению, соответственно, беленой и облагороженной целлюлозы более высокого выхода (технология разработана авторами ранее). В результате исследований технологическая схема для получения вискозной целлюлозы приобрела следующий вид: Пк – Щ – ХТ<sub>1</sub> – ГО – ХТ<sub>2</sub> – Г – К. В технологию включена ступень отбеливания гипохлоритом натрия для регулирования вязкости целлюлозы. Реализация предлагаемой схемы на действующем целлюлозном заводе по капитальным затратам будет несопоставима со стоимостью создания нового производства, так как не потребуются изменения действующего производства (цехов варки, промывки, сортирования целлюлозы), при этом получается импортозамещение хлопкового сырья отечественным возобновляемым – древесиной. Возобновление в стране производства вискозной целлюлозы весьма актуально и практически является также импортозамещением. Показатели качества полученной целлюлозы полностью соответствуют нормам ГОСТ 5982-84 «Целлюлоза сульфитная вискозная» первого сорта.

*Ключевые слова:* вискозная целлюлоза, древесная целлюлоза, технология, отбеливание, облагораживание, технологическая схема, показатели качества, оптимизация, реализация, импортозамещение.

---

**Для цитирования:** Хакимова Ф.Х., Фонарёв И.И., Носкова О.А., Синяев К.А. Разработка технологической схемы получения древесной вискозной целлюлозы // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 396–404. DOI: 10.14258/jcprm.20240415060.

---

### *Введение*

Продукция целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) наряду с бумагой и картоном – специальные виды волокнистой целлюлозы для химической переработки. Ее называют растворимой, так как в процессе химической переработки при получении производных (эфиров и т.п.) ее растворяют в различных растворителях и из растворов получают готовый продукт, в том числе вискозные нити.

Производство готового продукта в целлюлозно-бумажной отрасли требует глубокой механической и химической переработки древесины на весьма сложном и дорогостоящем технологическом оборудовании и нуждается во внедрении наилучших доступных технологий предприятиями отрасли. Это позволит повысить эффективность, экономию электро- и сырьевых ресурсов, существенно снизить количество и загрязненность сточных вод отбеливания и облагораживания целлюлозы (традиционно отбеливание – наиболее загрязняющая окружающую среду стадия производства целлюлозы) [1, 2].

В настоящее время наибольший интерес представляет возобновление в стране производства целлюлозы для химической переработки (ХП). Основное сырье в производстве целлюлозы для ХП – хлопковая и древесная растворимая целлюлоза. Распад СССР привел не только к потере узбекского хлопка, но и к прекращению производства в стране целлюлозы для ХП, в том числе вискозной. В зарубежной практике производство такой целлюлозы востребовано и постоянно расширяется, особенно с появлением нового импортера – России [3, 4].

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Важнейшая особенность древесной целлюлозы для ХП – эфиры ее широко применяются для получения большого набора важнейших продуктов, а также являются основой для создания биоразлагаемых композиций при наличии практически неисчерпаемой возобновляемой сырьевой базы [5].

Возобновление в нашей стране, богатой лесными ресурсами, производства древесной целлюлозы для ХП, безусловно, актуально, так как позволит решить проблему импортозамещения как по сырью (древесина вместо хлопка), так и по готовой продукции (древесная растворимая целлюлоза в настоящее время импортная) [4, 6].

Задача данной работы состояла в разработке экологически безопасной технологической схемы и режимов отбелки и облагораживания сульфитной древесной (еловой) целлюлозы с получением вискозной целлюлозы.

Основной целью перехода на экологичные бесхлорные технологии является полное предотвращение хлорорганических соединений, образующихся на стадии отбелки целлюлозы [7, 8].

Решение экологических проблем в ЦБП в значительной степени связано с совершенствованием процессов отбелки целлюлозы путем внедрения наилучших доступных технологий – ECF (Elemental Chlorine Free) и TCF (Total Chlorine Free), предусматривающих замену молекулярного хлора на более мягкие окислители – диоксид хлора, пероксид водорода, кислород, озон и др. [9, 10].

На кафедре ТЦБП разработана оригинальная технология отбелки и облагораживания целлюлозы по ECF-схемам без применения молекулярного хлора с использованием двух окислительных отбеливающих реагентов – пероксида водорода и хлорита натрия. В схеме не применяются широко используемые в настоящее время кислород и озон – их применение усложняет технологию и процесс отбелки [11–13].

### *Экспериментальная часть*

Традиционно беленую облагороженную целлюлозу для химической переработки получают из мягкой небеленой сульфитной целлюлозы глубокой степени провара.

Для исследований использована промышленная небеленая бисульфитная целлюлоза весьма высокой жесткости, т.е. с высокой массовой долей лигнина. Целлюлоза эта повышенного выхода и используется обычно для получения бумаги. Выбор такой целлюлозы в нашем случае связан с экономическими соображениями (с уменьшением расхода древесины) и с особенностями принятой технологии – селективность процесса [14–16].

По результатам исследований в качестве делигнифицирующей ступени принята обработка целлюлозы пероксидом водорода в кислой среде с обязательной последующей щелочной обработкой (Пк – Щ); процесс катализируемый, но экологичный и весьма селективный (деструкция целлюлозы незначительна). Для отбелки использован хлорит натрия (Хт), отбеливающий агент которого – диоксид хлора ( $\text{ClO}_2$ ) [17, 18].

Поскольку к вискозной целлюлозе предъявляются особые требования по показателям вязкости (низкие величины при очень небольшом интервале варьирования), для регулирования вязкости принят гипохлорит натрия (Г).

В схеме отбелки сульфитной целлюлозы для ХП обязательна ступень горячего щелочного облагораживания (ГО). Горячее щелочное облагораживание (ГО) традиционно проводится при высокой температуре (от 90 до 130 °С) и невысокой концентрации щелочи (0.5–1.0%). Основные факторы, влияющие на результаты процесса – расход щелочи, температура, продолжительность обработки.

Таким образом, для исследования принята схема отбелки и облагораживания целлюлозы – Пк – Щ – Хт<sub>1</sub> – ГО – Хт<sub>2</sub> – Г – К.

Поскольку в исследованиях использована оригинальная схема отбелки целлюлозы (нетрадиционная), необходимость оптимизации условий основных ступеней отбелки очевидна. Оптимизация ступеней отбелки Пк и Хт выполнена на кафедре ранее [14]. В данной работе проведена оптимизация ступени отбелки и регулирования вязкости целлюлозы – обработки гипохлоритом натрия (Г).

С целью оптимизации условий ступени гипохлоритной отбелки (Г) поставлен эксперимент по плану Бокса (при  $m=3$ ). В эксперименте изучалось влияние на свойства целлюлозы трех факторов – расхода отбеливающего реагента (гипохлорит натрия), температуры и продолжительности процесса.

В качестве выходных параметров выбраны белизна и вязкость целлюлозы.

Для статистического анализа результатов экспериментов и оптимизации процессов использовали программный пакет Statgraphics Plus Version 5.0 [19].

В работе использовали следующие стандартные методы анализа целлюлозы: определение степени провара (перманганатным методом) – ГОСТ 6845, массовой доли лигнина в целлюлозе – ГОСТ 11960, белизны – ГОСТ 7690, вязкости 1% медно-аммиачного раствора целлюлозы – ГОСТ 14363.2, массовой доли в целлюлозе: альфа-целлюлозы – ГОСТ 6840, золы – ГОСТ 18461, смол и жиров – ГОСТ 6841.

Массовая доля «вредной» смолы определена по методике, приведенной в источнике [20]. Навеску технической целлюлозы массой 35 г сепарировали в дистиллированной воде при концентрации 1% и температуре 20–25 °С в течение 2 ч. Смола отлагается на сетке поверхностью 100 см<sup>2</sup>, прикрепленной к пропеллеру мешалки. Эту смолу после окончания опыта смывали ацетоном, споласкивали также ацетоном стакан из нержавеющей стали, в котором проводили сепарирование, фильтровали, растворитель отгоняли, смолу сушили и взвешивали.

### **Обсуждение результатов**

Для исследований использована промышленная небеленая бисульфитная целлюлоза высокой жесткости, такая целлюлоза используется для получения бумаги. В нашем случае такая целлюлоза использована в целях снижения расхода древесины на получение целлюлозы для ХП за счет использования технологии с селективным мягким воздействием на целлюлозу и с целью упрощения организации реализации результатов исследований путем сохранения важнейшей стадии получения целлюлозно-бумажной продукции – цехов варки, промывки и сортирования целлюлозы.

Характеристика исходной целлюлозы приведена в таблице 1.

Целлюлоза отличается высоким числом Каппа, высокой массовой долей лигнина, экстрактивных веществ, «вредной» смолы и высокими показателями механической прочности. В случае получения целлюлозы для ХП требуется глубокая делигнификация [14].

Ранее разработаны условия проведения ступеней Пк и Хт с применением математического планирования экспериментов [14].

При получении целлюлозы для ХП в схему отбелки целлюлозы после делигнифицирующих ступеней традиционно включается облагораживание, которое проводится обработкой щелочью. При облагораживании в раствор переводятся гемицеллюлозы, низкомолекулярные фракции целлюлозы (продукты распада целлюлозы), остаточный лигнин, смолы, что и приводит к повышению содержания в целлюлозе альфа-целлюлозы. В нашем случае используется горячее щелочное облагораживание. Степень облагораживания связана с большими химическими потерями волокна – до 20–30% [21].

В данной работе исследованы условия облагораживания и ступени отбелки Г получения растворимой целлюлозы из нетрадиционной жесткой еловой сульфитной целлюлозы с высоким содержанием остаточного (после варки) лигнина по схеме Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К.

Обычно ступень ГО включается в схему отбелки целлюлозы после делигнифицирующих ступеней.

Предварительно провели несколько опытов по облагораживанию делигнифицированной целлюлозы при различных температурах и расходе щелочи. По результатам предварительных опытов определились с условиями ступени ГО по указанным факторам: расход щелочи (NaOH) принят 13% от а.с. волокна вследствие высокой жесткости и повышенной доли лигнина в целлюлозе, а температура облагораживания 100 °С, т.е. процесс проводится при атмосферном давлении. Концентрация массы 10% и продолжительность процесса 150 мин приняты традиционные.

Далее были проведены исследования по оптимизации ступени Г с применением математического планирования эксперимента.

Поставлен эксперимент для трех переменных факторов (при  $m = 3$ ) в соответствии с планом Бокса, который считается экономичным с точки зрения количества экспериментальных точек и при этом дает достаточно достоверные результаты [14, 19].

Переменные факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 2.

Для статистического анализа результатов эксперимента и оптимизации процесса использован программный пакет Statgraphics Plus Version 5.0 [19].

В ходе эксперимента изучалось влияние на результаты отбелки целлюлозы следующих факторов: расхода NaClO (ед. акт. хлора) ( $X_1$ ), температуры процесса ( $X_2$ ) и продолжительности обработки ( $X_3$ ).

Таблица 1. Характеристика небеленой сульфитной целлюлозы

Показатели целлюлозы	Значение показателей
Степень провара, п.ед.	130
Число Каппа	40.3
Массовая доля в целлюлозе:	
лигнина, %	6.0
экстрактивных веществ, %	1.3
«вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	19.0
Белизна, %	60.6
Механические показатели (75 г/м <sup>2</sup> , 60 °ШР):	
разрывная длина, м	10250
сопротивление продавливанию, кПа	430
сопротивление излому при многократных перегибах, ч.д.п.	810

Таблица 2. Переменные факторы и уровни их варьирования для эксперимента по ступени гипохлоритной отбелки (Г)

Характеристики плана	Переменные факторы			
	Расход NaClO (ед. акт. Cl), % от а.с.в. X <sub>1</sub>	Температура, °С X <sub>2</sub>	Продолжительность, мин X <sub>3</sub>	Кодированные величины
Основной уровень	2	40	165	0
Шаг варьирования	1	5	45	λ
Верхний уровень	3	45	210	+1
Нижний уровень	1	35	120	-1

В качестве выходных параметров приняты вязкость и белизна целлюлозы – показатели, достаточно полно характеризующие процесс отбелки целлюлозы.

Программная обработка полученных данных позволила рассчитать коэффициенты уравнений регрессии по выходным параметрам – вязкости и белизне целлюлозы, отбеленной по схеме Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К. Произведена оценка значимости основных эффектов и парных эффектов взаимодействий, отражающих характер влияния факторов на ход процесса.

Наиболее наглядно значимость эффектов отражается на картах Парето, представленных на рисунке.

Длина горизонтальных полос равна частному от деления величины эффектов на их стандартные ошибки. Вертикальная линия соответствует границе статистической значимости эффектов при уровне значимости 5 %. Все эффекты, пересекающие границу статистической значимости, принимаются как значимые. В соответствии с этим из числа значимых исключены следующие факторы:

– для показателя «вязкость»:  $X_1X_1$ ,  $X_2X_3$ ,  $X_1X_3$ ;

– для показателя «белизна»:  $X_1X_3$ ,  $X_2X_2$ ,  $X_3X_3$ .

Ниже представлен окончательный вид уравнений регрессии, описывающих ход процесса гипохлоритной отбелки по отношению к каждому из выходных параметров:

Вязкость:

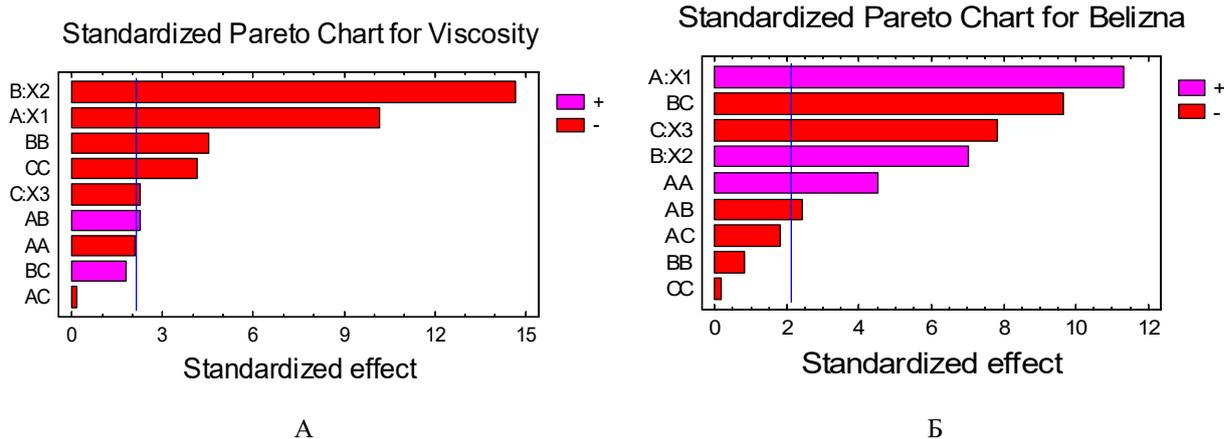
$$Y_1 = 25.0538 - 1.96 \cdot X_1 - 2.83 \cdot X_2 - 0.44 \cdot X_3 + 0.4875 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1.9577 \cdot X_2^2 - 1.8077 \cdot X_3^2$$

Белизна:

$$Y_2 = 88.525 + 0.42 \cdot X_1 + 0.26 \cdot X_2 - 0.29 \cdot X_3 + 0.315 \cdot X_1^2 - 0.1 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.4 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Здесь и далее в уравнениях регрессии используются кодированные значения переменных. Рассчитаны также соответствующие коэффициенты детерминации ( $R^2$ ). Величина их соответственно:  $R^2_1=94.2\%$ ,  $R^2_2=94.4\%$ .

Коэффициент детерминации – это доля дисперсии отклонений зависимой переменной от ее среднего значения, объясняемая рассматриваемой моделью связи. Его интерпретируют как универсальную меру связи для числовых данных. Чем ближе значение коэффициента детерминации к единице, тем лучше модель описывает эмпирические наблюдения. Таким образом, близость рассчитанных коэффициентов детерминации к 100% говорит о хороших прогностических свойствах полученных моделей процесса.



Стандартизированные карты Парето для показателей: А – вязкость; Б – белизна

На основе полученных данных математических моделей был произведен компьютерный расчет оптимального режима проведения ступени Г.

Условия оптимизации (в пределах варьирования переменных факторов):

- вязкость –  $24 \pm 2.5$  мПа·с;
- белизна – не менее 90%.

В таблице 3 приведены оптимальные условия отбелки целлюлозы на ступени гипохлоритной отбелки, а также расчетные и экспериментальные результаты делигнификации по оптимальному режиму.

Результаты отбелки целлюлозы по оптимальному режиму соответствуют расчетным данным, что говорит об адекватности построенных моделей реальному процессу.

Таким образом, в схеме Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К мы оптимизировали условия ступени Г, назначение которой – регулирование вязкости целлюлозы; условия ступеней отбелки Пк, Хт оптимизированы на кафедре ранее [14].

Задача оптимизации решена правильно. В данном случае в соответствии с условиями оптимизации получена целлюлоза, по показателям качества соответствующая вискозной целлюлозе второго сорта по ГОСТ 5982-84 (такие условия оптимизации приняты в связи с использованием для отбелки и облагораживания весьма жесткой – не традиционной – целлюлозы с высокой долей лигнина).

В таблице 4 представлены результаты отбелки бисульфитной жесткой целлюлозы повышенного выхода с получением целлюлозы для химической переработки по схеме. Задача исследований состояла в получении из жесткой сульфитной целлюлозы беленой облагороженной целлюлозы, по показателям качества соответствующей требованиям ГОСТ 5982-84. В таблице приведены также показатели целевой целлюлозы.

Как видно из таблицы 4, полученная целлюлоза по показателям качества соответствует вискозной целлюлозе второго сорта.

С целью получения вискозной целлюлозы, удовлетворяющей нормам ГОСТ для целлюлозы 1-го сорта по всем показателям, в разработанную пятиступенчатую схему добавили еще одну ступень отбелки – хлоритом натрия ( $Xt_2$ ), отбеливающим агентом которого является  $ClO_2$  – реагент, практически не подвергающий деструкции целлюлозу. Условия отбелки приняли такие же, но с меньшими расходами реагентов –  $NaClO$  и  $NaClO_2$ . Отбелка по этой схеме также дала положительные результаты.

В таблице 5 представлены расходы химикатов по отбелке и облагораживанию жесткой сульфитной целлюлозы при отбелке по полной схеме.

Ступень Г в схеме использована для регулирования вязкости целлюлозы.

Результаты отбелки представлены в таблице 6.

В результате исследования получена растворимая целлюлоза для ХП с показателями качества, полностью соответствующая нормам ГОСТ 5982-84 «Целлюлоза сульфитная вискозная» I сорта.

Таким образом, небольшие изменения в схеме отбелки позволили получить целлюлозу с показателями качества, соответствующими нормам ГОСТ 5982-84 на древесную вискозную целлюлозу.

Таблица 3. Оптимальные условия отбелки целлюлозы на ступени Г, расчетные и экспериментальные результаты отбелки по оптимальному режиму (схема Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К)

Факторы процесса отбелки	Значения факторов	
	расчетные	экспериментальные
Расход NaClO, % от а. с. в. (в ед. акт. хлора)	2.9	2.9
Температура процесса, °С	37.6	38
Продолжительность обработки, мин	157	160
Выходные параметры	Величины выходных параметров	
	расчетные	экспериментальные
Вязкость, мПа·с	23.9	23.5
Белизна, %	90.1	90.1

Таблица 4. Результаты отбелок бисульфитной целлюлозы для химической переработки (технология ECF) с получением вискозной целлюлозы 2 сорта

Показатели целлюлозы	Значение показателей		Нормы для сульфитной вискозной целлюлозы (ГОСТ 5982-84)	
	Исходная	Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К	I сорт	II сорт
Степень провара, п.ед.	130	9	–	–
Массовая доля в целлюлозе, %:				
– лигнина	6	0.29	–	–
– α-целлюлозы	–	91.8	≥92.0	≥90.0
– смол и жиров	1.3	0.05	≤0.30	≤0.35
Динамическая вязкость, мПа·с	–	21.7	24±2.5	22±2.5
Белизна, %	60.8	90.1	≥90	≥90

Таблица 5. Сводная таблица расходов химикатов при отбелке и облагораживанию целлюлозы по полной схеме: Пк-Щ-Хт<sub>1</sub>-ГО-Хт<sub>2</sub>-Г-К

Степень отбелки	Применяемые реагенты	Расход реагентов, % от а. с. волокна	Степень отбелки	Применяемые реагенты	Расход реагентов, % от а. с. волокна
Пк	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4.5	Хт <sub>2</sub>	NaClO <sub>2</sub>	1.0 (в ед. ClO <sub>2</sub> )
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.75		HCl	0.6
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.5			
Щ	NaOH	2.0	Г	NaClO NaOH	1.5 (в ед. акт. Cl) ~0.5
Хт <sub>1</sub>	NaClO <sub>2</sub>	2.0 (в ед. ClO <sub>2</sub> )	К	раствор SO <sub>2</sub>	1.0
	HCl	0.6			
ГО	NaOH	13.0	–	–	–

Таблица 6. Результаты отбелок бисульфитной целлюлозы для химической переработки по полной схеме: Пк-Щ-Хт<sub>1</sub>-ГО-Хт<sub>2</sub>-Г-К

Показатели целлюлозы	Значение показателей				Нормы для сульфитной вискозной целлюлозы (ГОСТ 5982-84)	
	Исходная	После Пк-Щ	Пк-Щ-Хт-ГО-Г-К	Пк-Щ-Хт <sub>1</sub> -ГО-Хт <sub>2</sub> -Г-К	I сорт	II сорт
Степень провара, п.ед.	130	93	9	3	–	–
Массовая доля в целлюлозе, %:						
– лигнина	6	3.2	0.29	0.16	–	–
– α-целлюлозы	–	–	91.8	92.2	≥92.0	≥90.0
– смол и жиров	1.3	–	0.05	0.04	≤0.30	≤0.35
Динамическая вязкость, мПа·с	–	40.2	21.7	25.1	24±2.5	22±2.5
Белизна, %	60.6	–	90.1	91.2	≥90	≥90
Сорт вискозной целлюлозы по ГОСТ 5982-84			Второй	Первый	–	–

Примечание. Условия отбелки на ступени Г: температура – 35 °С, продолжительность – 120 мин, концентрация массы – 10%, pH 8–9.

Важная особенность предлагаемой технологии и технологической схемы получения вискозной целлюлозы – реализация ее на действующем целлюлозном заводе по капитальным затратам будет несопоставима, т.е. меньше по сравнению с созданием нового производства. В настоящее время все сульфитные

заводы в стране получают целлюлозу повышенного выхода с высокой массовой долей лигнина (с целью экономии сырья – древесины), потому нет необходимости изменения существующих производств (цехов варки, промывки, сортирования целлюлозы) и вряд ли не будет возможности пристроить к существующему целлюлозному корпусу цех отбелки и облагораживания целлюлозы. К тому же в настоящее время в ЦБП часто практикуется расположение отбельных башен на улице рядом с цехом отбелки целлюлозы.

### **Выводы**

1. По разработанной авторами ранее оригинальной экологичной технологии получена древесная вискозная целлюлоза из бисульфитной целлюлозы, применяемой для производства бумаги.

Вариант нетрадиционный, так как сырье для переработки с высокой массовой долей лигнина.

2. В результате исследования полная схема отбелки и облагораживания целлюлозы составила Пк – Щ – ХТ<sub>1</sub> – ГО – ХТ<sub>2</sub> – Г – К (гипохлоритная ступень отбелки – для регулирования вязкости целлюлозы).

3. Условия отбелки гипохлоритом натрия оптимизированы с применением математического планирования эксперимента и программного пакета Statgraphics Plus Version 5.0.

4. В результате исследования получена целлюлоза для химической переработки с показателями качества, соответствующими нормам ГОСТ 5982-84 «Целлюлоза сульфитная вискозная» первого сорта.

5. Реализация результатов исследования приведет к импортозамещению – хлопкового сырья отечественным возобновляемым – древесиной, и к возобновлению в стране производства вискозной целлюлозы (в настоящее время – импортная).

### **Финансирование**

*Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Пермского национального исследовательского политехнического университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.*

### **Конфликт интересов**

*Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.*

### **Открытый доступ**

*Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.*

### **Список литературы**

1. ИТС 1-2022. Целлюлозно-бумажное производство. М., 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300524521>.
2. Кряжев А.М. Наилучшие доступные технологии – основа развития целлюлозно-бумажной промышленности и лесопромышленного комплекса России в XXI веке. СПб, 2020. 90 с.
3. Обзор рынка вискозной целлюлозы в СНГ. М., 2008. 15 с.
4. Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Фадеев Б.А. и др. Возрождение производства вискозной целлюлозы в России – важнейшая народнохозяйственная задача // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. №8. С. 48–54.
5. Новожилов Е.В., Новожилов Е.В., Пошина Д.Н. Биотехнологии в производстве целлюлозы для химической переработки // Химия растительного сырья. 2011. №3. С. 15–32.
6. Сергеев А.Д., Атьман О.П., Сергеева И.В. Техничко-экономическое и экологическое обоснование выбора оптимальных технологий ЕСФ отбелки хвойной и лиственной целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. №2. С. 58–62.
7. Полюттов А.А., Пен Р.З., Бывшев А.В. Технология целлюлозы. Экологически чистое производство: монография. Красноярск, 2012. 294 с.
8. Неволин В.Ф., Шпаков Ф.В., Зарудская О.Л. и др. Снижение образования хлорорганических соединений при переходе на отбелку ЕСФ // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2000. №5-6. С. 18–19.
9. Аким Г.Л. Бесхлорная отбелка целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2001. №5-6. С. 24–28.
10. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. В 3 т. Т. III. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды. Ч. 3. Наилучшие доступные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности. СПб., 2012. 294 с.
11. Патент №274439 (РФ). Способ отбелки сульфитной целлюлозы / Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, К.А. Синяев, Р.Э. Андраковский. – 2021.
12. Патент №2759613 (РФ). Способ отбелки бисульфитной целлюлозы / Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, К.А. Синяев, Р.Р. Хакимов. – 2021.

13. Федорова Э.И., Кузванова А.В. Проблемы отбелки сульфатной целлюлозы // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 2007. №5. С. 52–54.
14. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А. Экологически безопасная отбелка бисульфитной целлюлозы // *Журнал прикладной химии*. 2014. Т. 87, №9. С. 1329–1335.
15. Шпаков Ф.В., Неволин В.Ф. Основные направления совершенствования технологии производства беленых полуфабрикатов в России на пороге XXI века // *Научно-техническая конференция PAP-FOR 98*. СПб, 1998. С. 74–79.
16. Пен Р.З., Пен В.Р. Теоретические основы делигнификации. Красноярск, 2007. 348 с.
17. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Андраковский Р.Э. Разработка технологии получения древесной целлюлозы для химической переработки // *Химия растительного сырья*. 2020. №2. С. 333–343.
18. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А. Отбелка сульфатной целлюлозы пероксидом водорода и хлоритом натрия // *Химия растительного сырья*. 2013. №2. С. 57–62.
19. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск: СибГТУ – Кларетианум, 2003. 246 с.
20. Старостенко Н.П., Непенин Н.Н. Сравнительное изучение способов определения вредной смолистости целлюлозы и их характеристика // *Сборник трудов ЛТА*. 1980. №80. С. 3–17.
21. Пен Р.З. Технология целлюлозы: в 2 томах. Т. 2. Сульфитные способы получения, очистка, отбелка, сушка целлюлозы: учеб. пособие. Красноярск, 2002. 358 с.

Поступила в редакцию 16 апреля 2024 г.

После переработки 6 мая 2024 г.

Принята к публикации 17 мая 2024 г.

*Khakimova F.Kh.\**, *Fonaryov I.I.*, *Noskova O.A.*, *Siniaev K.A.* DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEME FOR PRODUCTION OF WOOD VISCOSE PULP

*Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, 614000, Russia, oa-noskova@mail.ru*

Wood viscose pulp was obtained from industrial bisulfite pulp with a high mass fraction of lignin intended for paper production. The technology used is original, environmentally friendly, characterised by selectivity of processes and reagents used. The proposed technology causes less destruction of pulp than traditional ones and leads to obtaining, respectively, bleached and ennobled pulp of higher yield (the technology was developed by the authors earlier). As a result of the research, the technological scheme for the production of viscose pulp took the following form: Pk - E - Ch1- HE - Ch2 - G - A. The technology includes a stage of bleaching with sodium hypochlorite to regulate the viscosity of cellulose. The implementation of the proposed scheme at the existing pulp mill in terms of capital costs will not be comparable with the cost of creating a new production, because there will be no need to change the existing production (pulping, washing, sorting of pulp), thus obtaining import substitution of cotton raw materials with domestic renewable - wood. The resumption of viscose pulp production in the country is very actual and practically is also import substitution. Quality indicators of the obtained cellulose fully correspond to the norms of GOST 5982-84 "Viscose sulfite pulp" of the first grade.

*Keywords:* viscose pulp, wood pulp, technology, bleaching, enrichment, technological scheme, quality indicators, optimisation, implementation, import substitution.

---

**For citing:** Khakimova F.Kh., Fonaryov I.I., Noskova O.A., Siniaev K.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 396–404. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240415060.

---

### References

1. *ITS 1-2022. Tsellyulozno-bumazhnoye proizvodstvo*. [ITS 1-2022. Pulp and paper production]. Moscow, 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300524521>. (in Russ.).
2. Kryazhev A.M. *Nailuchshiyе dostupnyye tekhnologii – osnova razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti i lesopromyshlennogo kompleksa Rossii v XXI veke*. [The best available technologies are the basis for the development of the pulp and paper industry and the forestry complex of Russia in the 21st century]. St. Petersburg, 2020, 90 p. (in Russ.).
3. *Obzor rynka viskoznoy tsellyulozy v SNG*. [Review of the viscose cellulose market in the CIS]. Moscow, 2008, 15 p. (in Russ.).
4. Mutovina M.G., Bondareva T.A., Fadeyev B.A. i dr. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2013, no. 8, pp. 48–54. (in Russ.).
5. Novozhilov Ye.V., Novozhilov Ye.V., Poshina D.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 3, pp. 15–32. (in Russ.).
6. Sergeev A.D., At'man O.P., Sergeeva I.V. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 2, pp. 58–62. (in Russ.).

---

\* Corresponding author.

7. Polyutov A.A., Pen R.Z., Byvshev A.V. *Tekhnologiya tsellyulozy. Ekologicheski chistoye proizvodstvo: monografiya*. [Cellulose technology. Environmentally friendly production: monograph]. Krasnoyarsk, 2012, 294 p. (in Russ.).
8. Nevolin V.F., Shpakov F.V., Zaruskaya O.L. i dr. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2000, no. 5-6, pp. 18–19. (in Russ.).
9. Akim G.L. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2001, no. 5-6, pp. 24–28. (in Russ.).
10. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnyye materialy. V 3 t. T. III. Avtomatizatsiya, standartizatsiya, ekonomika i okhrana okruzhayushchey sredy. CH. 3. Nailuchshiy dostupnyye tekhnologii v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti*. [Pulp and paper production technology. Reference materials. In 3 volumes. Vol. III. Automation, standardization, economics and environmental protection. Part 3. Best available technologies in the pulp and paper industry]. St. Petersburg, 2012. 294 p. (in Russ.).
11. Patent 274439 (RU). 2021. (in Russ.).
12. Patent 2759613 (RU). 2021. (in Russ.).
13. Fedorova E.I., Kuzivanova A.V. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2007, no. 5, pp. 52–54. (in Russ.).
14. Khakimova F.Kh., Sinyayev K.A. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2014, vol. 87, no. 9, pp. 1329–1335. (in Russ.).
15. Shpakov F.V., Nevolin V.F. *Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya RAR-FOR 98*. [Scientific and technical conference RAR-FOR 98]. St. Petersburg, 1998, pp. 74–79. (in Russ.).
16. Pen R.Z., Pen V.R. *Teoreticheskiye osnovy delignifikatsii*. [Theoretical foundations of delignification]. Krasnoyarsk, 2007, 348 p. (in Russ.).
17. Khakimova F.Kh., Sinyayev K.A., Andrakovskiy R.E. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 333–343. (in Russ.).
18. Khakimova F.Kh., Sinyayev K.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 2, pp. 57–62. (in Russ.).
19. Pen R.Z. *Planirovaniye eksperimenta v Statgraphics*. [Experimental planning in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003, 246 p. (in Russ.).
20. Starostenko N.P., Nepenin N.N. *Sbornik trudov LTA*, 1980, no. 80, pp. 3–17. (in Russ.).
21. Pen R.Z. *Tekhnologiya tsellyulozy: v 2 tomakh. T. 2. Sul'fitnyye sposoby polucheniya, ochistka, otbelka, sushka tsellyulozy: ucheb. posobiye*. [Cellulose technology: in 2 volumes. Vol. 2. Sulfite methods of obtaining, cleaning, bleaching, drying of cellulose: textbook]. Krasnoyarsk, 2002, 358 p. (in Russ.).

Received April 16, 2024

Revised May 6, 2024

Accepted May 17, 2024

#### Сведения об авторах

Хакимова Фирдавес Харисовна – доктор технических наук, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов, oa-noskova@mail.ru

Фонарёв Илья Игоревич – аспирант, fonaryov22@yandex.ru

Носкова Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии полимерных материалов и порохов, oa-noskova@mail.ru

Синяев Константин Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии полимерных материалов и порохов, oa-noskova@mail.ru

#### Information about authors

Khakimova Firdaves Harisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Propellants, oa-noskova@mail.ru

Fonaryov Ilya Igorevich – Postgraduate Student, fonaryov22@yandex.ru

Noskova Olga Alekseevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Propellants, oa-noskova@mail.ru

Sinyayev Konstantin Andreevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Propellants, oa-noskova@mail.ru