

УДК 676.252.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ОТ КОМПОЗИЦИИ ПО ВОЛОКНУ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО МАТЕРИАЛА

© *И.В. Лаврентьев, Е.И. Симонова, Е.Ю. Демьянцева, В.К. Дубовый\*, В.Н. Булычева*

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095, Россия, dubovy2004@mail.ru*

Проведенные исследования влияния композиционного состава по волокну на водопоглощение подтвердили факт возможного решения задачи повышения качества как целлюлозы-основы, так и получаемой из нее флафф-целлюлозы – сердцевинного слоя одноразовых водопоглощающих санитарно-гигиенических изделий (ОБ СГИ) на основе композиций целлюлозосодержащих материалов. Получены данные об эффективности сочетания в составе целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины и целлюлозы специальной химической обработки (ЦСО). По сравнению с целлюлозой в ЦСО главный показатель – «Средневзвешенная длина волокна» для ЦСО оказался в почти в 2 раза ниже. Уменьшилась ширина волокна, в 2 раза уменьшился изгиб волокна, в 3 раза увеличилась скручиваемость волокна и почти в 3 раза увеличилась площадь мелочи. Такие глубокие изменения в целлюлозе ожидаемо сказались на качестве целлюлозы-основы. Исследовались композиции по волокну для отлива образцов целлюлозного материала: целлюлоза – 100%; целлюлоза – 75% + ЦСО – 25%; целлюлоза – 50% + ЦСО – 50%; ЦСО – 100%. Для сравнения проводился опыт с хлопком, из которого получается наилучшая флафф-целлюлоза. По существу, продукт из хлопка принимается за эталон качества. Были исследованы композиции: целлюлоза – 75% + хлопок – 25%; целлюлоза – 50% + хлопок – 50%; хлопок – 100%.

Сочетание целлюлозы и ЦСО в различных долях от 25 до 50% позволило получить образцы целлюлозного материала-основы с высокими свойствами водопоглощения – на 22%, при повышении водоудержания на 3–5%. При сравнении показателей качества целлюлозы-основы и хлопка выявлено, что целлюлозный материал, состоящий из целлюлозы – 50% + ЦСО – 50% сравним или несколько превышает качество флафф-целлюлозы из хлопка. Исследования в целом показали перспективность разработки флафф-целлюлозы на основе различных целлюлозосодержащих материалов для создания конкурентоспособных материалов и выполнения задачи развития и импортозамещения флафф-целлюлозы в РФ.

*Ключевые слова:* целлюлоза, флафф-целлюлоза, хлопок, целлюлоза специальной химической обработки, водопоглощение, водоудержание, композиция по волокну, средневзвешенная длина волокна, целлюлоза распушенная.

---

**Для цитирования:** Лаврентьев И.В., Симонова Е.И., Демьянцева Е.Ю., Дубовый В.К., Булычева В.Н. Исследование зависимости водопоглощения от композиции по волокну целлюлозного материала // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 401–409. DOI: 10.14258/jcprm.20240214980.

---

### **Введение**

До 2022 г. российский рынок целлюлозы-основы (флафф-целлюлозы) в натуральном выражении свыше 126.5 тыс. т в год на 95% обеспечивался импортом. Главными поставщиками были: INTERNATIONAL PAPER, GP CELLULOSE, DOMTAR (США), суммарная доля 69%, STORA ENSO (Финляндия) – 10%, KLABIN (Бразилия) – 7%. Существенная доля принадлежит группе мелких импортеров – 9%. Остальная доля – 5% принадлежала единственному российскому производителю – АО «Пролетарий». Санкционное давление приостановило импорт и обозначило острую проблему выпуска для населения одноразовых водопоглощающих санитарно-гигиенических изделий (ОБ СГИ): подгузники, пеленки, простыни и другие изделия аналогичного назначения.

Полная зависимость от импорта флафф-целлюлозы побудила Правительство РФ инициировать меры по решению этой проблемы. Был издан Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 24 августа 2022 г. №3561 «О включении отрасли производства флафф-целлюлозы в план мероприятий по импортозамещению и развитию в лесопромышленном комплексе Российской Федерации». В результате принятых мер в настоящее время флафф-целлюлозу в России производят 4 предприятия – АО

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

«Пролетарий» («Целлюлоза рулонная»), ООО «Николь Пак Империл» («Целлюлоза рулонная»), АО «Туринский ЦБЗ» («TURA» «Флафф-Целлюлоза»), к поставкам присоединилась «Добрушская бумажная фабрика «Герой Труда», Республика Беларусь («Полотно целлюлозное»). Суммарное производство флафф-целлюлозы всеми предприятиями поддерживает обеспеченность рынка флафф-целлюлозы в пределах 40–50%.

Несмотря на имеющиеся научные работы по получению композиционных материалов с высокой абсорбционной способностью, способам интенсификации размола, дефибрирования целлюлозных волокон для придания им специальных свойств с исследованием физико-химических характеристик диспергированных волокон [1–6] современная технология производства подобных материалов далека от совершенства. Общим недостатком флафф-целлюлозы отечественных предприятий, отмечаемым потребителями, является низкое качество в сравнении с импортными продуктами. Учитывая доступный предприятиям способ производства флафф-целлюлозы – простая конвертация листовой целлюлозы в рулонный материал, способом роспуска и отлива на доступных не специализированных машинах, задача по наращиванию выпуска решается быстро, но требуемое качество не достигается. В результате получают целлюлозу исходного качества, но в рулонном виде и поставляют как флафф-целлюлозу. Упускаемый важный факт, что целлюлоза-основа для флафф-целлюлозы – это отдельный вид целлюлозного материала (картона) с комплексом специально приданных свойств, удовлетворяющих технологичности и экономичности переработки в ОВ СГИ, не позволил достичь необходимого по качеству результата.

Исходя из существующего состояния темы флафф-целлюлозы в России, научно-техническая разработка нового продукта – ролевой беленой флафф-целлюлозы остается актуальной задачей.

Цель исследования – разработка рулонного беленого целлюлозного композиционного материала, соответствующего потребительскому качеству флафф-целлюлозы, на основе беленой товарной и специально обработанной целлюлозы.

#### **Объекты исследования и методики**

*Объекты исследования:* целлюлоза сульфатная беленая из хвойных пород древесины (ЦСБХ) по ГОСТ 9571-89, целлюлоза специальной обработки (ЦСО) и хлопковая целлюлоза в качестве образца сравнения.

*Методики исследования.* Исследование проводилось в соответствии с методиками, изложенными в труде [7] и ГОСТ Р 57566-2017. Целлюлоза для впитывающих бумажных изделий санитарно-гигиенического назначения. Технические условия. Целлюлозу предварительно подвергали роспуску в гидроразбивателе, затем составляли различные композиции по волокну в указанном процентном соотношении. Лабораторные образцы целлюлозы основы получали на листоотливном аппарате «Рапид-Кетен» по методике [7]. Структурно-морфологические характеристики волокон определяли согласно инструкции на приборе «Morfі-Сонтраст».

Распушенную целлюлозу получали из лабораторных образцов различного по волокну целлюлозного композиционного материала (ЦКМ), согласно методике, изложенной в труде [8].

*Методика определения абсорбирующей способности распушенной целлюлозы.* В стеклянный цилиндр заливают 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, температура которой должна составлять 20±3 °С. В пластиковый сетчатый контейнер, размерами 50 мм×20 мм×10 мм известной массы, помещают навеску распушенной целлюлозы, взвешенной с точностью 0.01 г. Контейнер с навеской целлюлозы помещают при полном погружении в воду на 180±5 с.

После окончания процесса впитывания воды контейнер с целлюлозой вынимают из воды и дают свободной влаге стечь в течение 300±5 с, после чего контейнер с целлюлозой взвешивают с точностью до 0.01 г.

Абсорбирующую способность распушенной целлюлозы А, г воды/г распушенной целлюлозы, вычисляют по формуле:

$$A = B_2 - (B + B_1) / B_1,$$

где В – масса сетчатого контейнера, г; В<sub>1</sub> – масса сухого образца, распушенной целлюлозы, г; В<sub>2</sub> – масса контейнера с навеской распушенной целлюлозы, после испытания, г.

### Результаты и обсуждения

Термин «Флафф-целлюлоза», по существу, применяется к ролевому целлюлозному материалу-основе для получения «распушенной целлюлозы» или «целлюлозного пуха» [9, 10]. В этой физической форме целлюлоза аэродинамическим способом укладывается в сердцевинном водовпитывающем слое ОБ СГИ. В каждом виде изделия содержится сердцевинный слой заданной массы, назначение которого – быстро впитывать определенное количество жидких отходов жизнедеятельности (воды) и прочно их удерживать [11–13].

Объектом исследования выбрана целлюлоза беленая сульфатная хвойных пород древесины. Это принципиально важно, так как именно целлюлоза хвойная в мировой практике является главным материалом для водопоглощающего сердцевинного слоя [10]. В этом качестве целлюлоза удовлетворяет требованиям водопоглощения, санитарно-гигиеническим, физико-механическим и эстетическим нормам ОБ СГИ. Важным достоинством целлюлозы является экономичность производства.

В то же время целлюлозу характеризуют многие показатели качества и, как достоверно установлено [14–16], отличающиеся в широких пределах в зависимости от целого ряда факторов. Проведенный в исследовании авторов сравнительный анализ целлюлозы различных предприятий [10] подтвердил литературные данные и выявил зависимости потребительских свойств образцов флафф-целлюлозы от вида и композиции целлюлозы и активных волокнистых и иных добавок. Сравнение структурно-размерных показателей качества целлюлозы различных производителей приведены в таблице 1.

При сравнительном анализе показателей качества флафф-целлюлозы и их уровней по отечественному ГОСТ Р 57566-2017 (Целлюлоза для впитывающих бумажных изделий санитарно-гигиенического назначения) и образцов импортной флафф-целлюлозы установлено отличие показателей по количеству и уровню значений. Сравнительные нормы показателей качества по ГОСТ Р 57566-2017 и импортной флафф-целлюлозы представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 1. Структурно-размерные показатели целлюлозы сульфатной беленой хвойной разных производителей

Образец	Средне-взвешенная длина, мм	Ширина волокон, мкм	Грубость волокна, мг/м	Изгиб волокна, средний угол	Средняя скручиваемость, %	Площадь мелочи к общей площади, %
АО «Сыктывкарский ЛПК»	1.96	28.5	0.128	130.0	15.4	4.64
АО «Архангельский ЦБК»	2.09	27.2	0.116	135.6	11.8	2.08
ОАО «Светлогорский ЦКК» (Белоруссия)	1.80	25.6	0.112	133	11.7	2.63
АО «Туринский ЦБЗ»	2.16	33.7	0.202	131	14.7	5.0
США (GP Cellulose)	2.31	32.8	0.210	134.2	13.3	5.38

Таблица 2. Нормы показателей качества флафф-целлюлозы по ГОСТ Р 57566-2017

Наименование показателя	Норма
Для полотна целлюлозы	
Масса целлюлозы, г/м <sup>2</sup>	725±40
Толщина, мм	1.43±16
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0.53±0.04
Влажность, %	8±0.8
Массовая доля смол и жиров, %, не более	0.16
Белизна, %, не менее	86.0
Соппротивление разрыву (Мюллен), кПа	Не нормируется
Средняя длина волокна, мм	Не нормируется
Энергия Камас (Энергия распушения), кВтч/т	Не нормируется
Степень разделения на волокна, %	Не нормируется
Для распушенной целлюлозы	
Абсорбирующая способность, г/г, не менее	15.0
Время впитывания, с, не более	3.5

Таблица 3. Нормы показателей качества импортной флафф-целлюлозы

Наименование показателя	PanaFluff® 745LE, США	PineFluff «Klabin», Бразилия	Балтийская целлюлоза
Белизна, %	>84	≥87	80–86
Масса целлюлозы площадью 1 м <sup>2</sup> , г	725–765	690–760	685
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0.55–0.65	0.50–0.62	0.52–0.53
Влажность, %	6.5–9.5	6.0–9.0	6–10
Сопротивление разрыву (Мюллен), кПа	560–760	800–1300	450–750
Средняя длина волокна, мм	3.1	2.5–3.1	–
Массовая доля смол и жиров, %	0.1	≤0.2	–
Зольность, %	0.1	–	–
Энергия Kamax (Энергия распушения), кВтч/т	<29	<40	33–50
Специфическая емкость впитывания (распушенной целлюлозы), г/г, за время, сек	>9.2 <4.5	>9 <4	10–11 2.5–4.5
Толщина целлюлозы, мм	–	1.15–1.35	–
pH водной вытяжки	–	–	–

Уровень всех структурно-размерных показателей качества целлюлозы, приведенных в таблице 1, имеет существенное значение для обеспечения показателей качества флафф-целлюлозы, поименованных в таблицах 2 и 3. Наибольшее влияние, по теоретическим и практическим заключениям [10, 17–19], оказывает средняя длина волокна, чем она больше, тем выше качество по всем показателям. Если рассмотреть данные таблицы 1, то по показателю средней длины волокна целлюлозу можно расположить в следующей последовательности: США – 2.31 мм, АО «Туринский ЦБЗ» – 2.16 мм, АО «Архангельский ЦБК» – 2.09 мм, АО «Сыктывкарский ЛПК» – 1.96 мм, ОАО «Добрушская БФ» «Герой Труда» (Светлогорск) – 0.8 мм.

Назначением сердцевинного слоя является поглощение и удержание максимальной массы воды в его структуре. Итоговой оценкой качества флафф-целлюлозы является величина водопоглощения, это показатель «Абсорбирующая способность», а для импортных продуктов – это показатель «Специфическая емкость впитывания», определяемые для распушенной целлюлозы. Показатель выражается в граммах воды на 1 г распушенной целлюлозы (г/г) за время в сек. Чем выше показатель, тем эффективнее и экономичнее используется целлюлоза в производстве ОВ СГИ. При сравнении показателя в таблицах 2 и 3 в отечественном нормативном документе – это 15 г/г, за 3.5 сек., а в импортных – это 9–11 г/г за 2.5–4.5 сек. Исходя из сравнения, требования к качеству импортной флафф-целлюлозы ниже, а к отечественной – выше. При этом разница в 4 г воды на г целлюлозы примерно 27% – это значительное отличие.

Явная зависимость свойств флафф-целлюлозы от качества исходного сырья – целлюлозы стала основой исследования по разработке ЦКМ с показателем водопоглощения в распушенном виде 15 г/г воды и выше. Укажем, что главными факторами водопоглощения ЦКМ являются «гидрофильность целлюлозы» [20–22] и «пористость структуры» [23–25]. Влияние данных факторов исследовано в научных трудах [17–18] и показано, что решение задачи повышения водопоглощения ЦКМ определяется сочетанием величины гидрофильности целлюлозы и соотношения гетерокапиллярных составляющих в структуре целлюлозного композиционного материала, которые следует изменять в сторону увеличения микрокапиллярности [26, 27]. Гидрофильность и микрокапиллярность управляется технологическими факторами: композицией по волокну (виды и соотношение целлюлозных и иных компонентов), степенью помола компонентов, режимами процессов отлива целлюлозного композита [28, 29]. Учитывая указанные факторы, исследование проведено с целлюлозой хвойной АО «Архангельский ЦБК» – промышленной и с целлюлозой специальной предварительной химической обработки (ЦСО). Структурно-размерные характеристики объектов исследования, до и после распушения представлены в таблице 4.

Представленные в таблице данные позволяют заключить, что при сухом размоле (молотковая мельница по ГОСТ 5766-2017), длина волокна существенно снижается (почти в 2 раза). Ширина волокна, изгиб, скручиваемость и площадь мелочи меняются незначительно. Следует отметить, что показатель грубости при сухом размоле также сильно снижается. Рассмотренная зависимость структурно-размерных показателей сохраняется для целлюлозы АО «Архангельский ЦБК» и для ЦСО.

Таблица 4. Структурно-размерные характеристики целлюлозы АО «Архангельский ЦБК» и ЦСО

Образец		Средне- взвешенная длина, мм	Ширина волокон, мкм	Грубость волокна, мг/м	Изгиб во- локна, сред- ний угол	Средняя скручиваемость, %	Площадь мелочи к общей площади, %
Основа	Целлюлоза	2.09	27.2	0.116	135.6	11.8	2.08
	ЦСО	1.03	21.0	0.175	75.6	29.8	7.43
Распушенная	Целлюлоза	1.22	25.5	0.099	123.0	21.2	3.17
	ЦСО	0.68	19.8	0.106	69.3	32.3	8.61

Из данных таблицы 4 также можно судить и о влиянии предварительной специальной обработки на исходную целлюлозу. Главный показатель – «Средневзвешенная длина волокна» для ЦСО оказался почти в 2 раза ниже. В меньшую сторону изменилась ширина волокна, в 2 раза снизился изгиб волокна, в 3 раза увеличилась скручиваемость волокна и почти в 3 раза увеличилась площадь мелочи. Такие глубокие изменения в целлюлозе должны существенно сказаться на качестве ЦКМ.

Исследовались композиции массы по волокну для отлива образцов ЦКМ: целлюлоза – 100%; целлюлоза – 75% + ЦСО – 25%; целлюлоза – 50% + ЦСО – 50%; ЦСО – 100%. Информативно представлялось целесообразным сравнить влияние на ЦКМ добавок хлопкового волокна, обладающего явно выраженным превалированием качества над древесным целлюлозным волокном для целей производства флафф-целлюлозы. Данные исследования приведены в таблице 5.

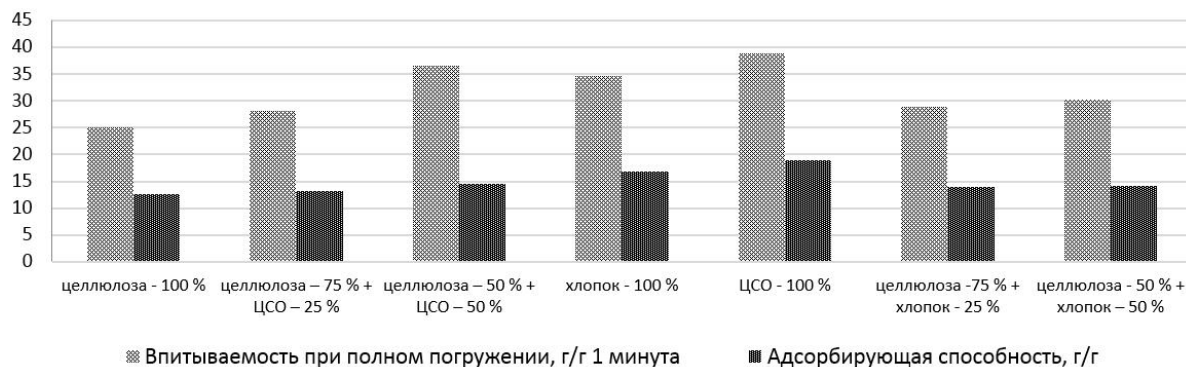
Анализ данных таблицы 5 показывает, что при одной и той же массе 1 м<sup>2</sup> ЦКМ механическая прочность (разрушающее усилие) более чем в 5 раз ниже для композита из ЦСО. Наличие его в композиции с целлюлозой понижает прочность, но для ЦКМ снижение, вызываемое добавками ЦСО, допустимо в определенных пределах. Впитываемость ЦКМ при полном погружении в воду существенно возрастает по мере увеличения в нем доли ЦСО и при 100%-ной ЦСО составляет 11.4 г/г. Поглощение воды ЦСО почти в 2.5 раза выше целлюлозы. Объясняется данный факт плотностью сравниваемых материалов. Для 100% – это 0.63 г/см<sup>3</sup>, а для ЦСО – 0.74 г/см<sup>3</sup>. Повышенная плотность в 1.18 раза и уменьшенная длина волокна в 2 раза для ЦСО увеличивает поглощение воды в 2.6 раза. Объяснение данному явлению – в повышении пористости ЦКМ при добавлении ЦСО к целлюлозе в ЦКМ. Можно предположить, что гетерокапиллярная структура ЦКМ с увеличением доли ЦСО разрыхляется в сторону микрокапиллярности и создается гетерокапиллярная структура, способная заметно увеличивать поглощение воды и ее прочно удерживать. Иными словами, увеличивается доля «микропустот», эффективно поглощающих и удерживающих воду.

На рисунке приводятся данные об испытании водопоглощения и удержания воды вариантов ЦКМ в распушенном виде.

Данные, представленные на рисунке, подтверждают специфическое влияние добавления ЦСО к целлюлозе на свойства целлюлозного материала. Оно выражается в том, что существенно повышается водопоглощение материала, а поглощение воды при полном погружении распушенной формой достигает 36.5 г/г, при соотношении целлюлозы и ЦСО = 50 : 50% (повышение на 46%). Высокое водопоглощение наблюдается для ЦКМ из 100% ЦСО, а также для распушенного продукта – 38.9 г/г. Проведено сравнение с композицией из 100% хлопка, который считается эталоном. Результаты исследования свойств свидетельствуют о том, что композиция в соотношении целлюлозы и ЦСО = 50 : 50% имеет водопоглощение выше, чем у композиции состава целлюлоза и хлопок в соотношении 50 : 50%.

Таблица 5. Качественные показатели целлюлозы-основы различной композиции

Композиция	Масса ЦКМ, г/м <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Разрушающее усилие, ИСО 1924-1-96, Н	Впитываемость при полном погружении, г/г, мин		
				1	5	10
Целлюлоза – 100%	700	0.43	167	4.3	4.9	6.3
Целлюлоза – 75% + ЦСО – 25%	700	0.47	159	5.5	6.3	7.3
Целлюлоза – 50% + ЦСО – 50%	700	0.55	115	7.4	8.9	10.2
Хлопок – 100%	700	0.50	56	5.2	6.6	6.8
Цсо – 100%	700	0.74	32	11.4	12.8	13.3
Целлюлоза – 75% + Хлопок – 25%	700	0.37	157	4.6	4.9	5.6
целлюлоза – 50% + хлопок – 50%	700	0.70	130	4.8	5.5	5.6



Водопоглощение и удержание воды целлюлозным композиционным материалом различного состава

### Выводы

1. Результаты исследования по разработке целлюлозного материала, основы для флафф-целлюлозы подтвердили возможность решения задачи повышения качества, как целлюлозного материала-основы, так и получаемой из него флафф-целлюлозы для сердцевинного слоя ОВ СГИ.

2. Получены данные об эффективности использования в целлюлозном материале-основе разного сочетания целлюлозы и ЦСО.

3. Использование в композиции целлюлозы и ЦСО в различных долях – от 25 до 50% позволило получить образцы целлюлозного материала-основы с высокими свойствами водопоглощения.

4. При сравнении показателей качества целлюлозного материала-основы и хлопка выявлено, что целлюлозный материал состава целлюлоза – 50% + ЦСО – 50% коррелирует по качеству с флафф-целлюлозой из хлопка.

5. Проведенные исследования показали перспективность разработанных ЦКМ для флафф-целлюлозы на основе целлюлозы и ЦСО, конкурентоспособных для решения задачи импортозамещения флафф-целлюлозы в РФ.

### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики. 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. Технология целлюлозно-бумажного производства. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Ч. 3. Наилучшие доступные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности. СПб, 2012. Т. 3. 294 с.
2. Патент №2755984 (РФ). Способ получения распушенной целлюлозы / И.И. Осовская, В.С. Антонова, Г.К. Малиновская, А.Ю. Добош, М.Ю. Литвинов, А.С. Смолин. 2021.
3. Аким Э.Л., Абрамов И.Н., Коваленко М.В., Сазонова Н.А. Размол как путь направленного изменения физико-механических свойств композиционных материалов на основе целлюлозы из лиственницы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. №6. С. 38–44.
4. Осовская И.И., Антонова В.С., Добош А.Ю. Особенности диспергирования целлюлозы для получения распушенного материала // Химические волокна. 2023. №1. С. 17–21.
5. Осовская И.И., Антонова В.С. Физико-химические свойства распушенной целлюлозы, полученной аэродинамическим методом // Бутлеровские сообщения. 2023. Т. 76, №10. С. 111–118. DOI: 10.37952/ROI-jbc -01/23-76-10-111.

6. Патент №2361557 (РФ). Поглощающая слоистая структура / Т. Гуидотти. – 2009.
7. Дубовый В.К. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие. СПб, 2006. 230 с.
8. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб, 2011. 56 с.
9. Nanko H., Button A., Hillman D. The World of Market Pulp. Appleton, WI, USA: WOMP, LLC, 2005. 258 p.
10. Лаврентьев И.В. Исследование свойств волокна для целлюлозных водоабсорбирующих материалов // Материалы V Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2023 года). СПб, 2023. С. 134–142.
11. Рынок флафф-целлюлозы в России [Электронный ресурс]. URL: <http://prcs.ru>.
12. Папков С.П., Файнберг Э.З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М., 1976. 231 с.
13. Аким Г.Л. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы : в 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. Производство полуфабрикатов. СПб, 2003. 633 с.
14. Осипов П.С. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы : в 3 т. Т. 1-1. Сырье и производство полуфабрикатов. СПб, 2002. 420 с.
15. Пузырев С.С. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы : в 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. СПб, 2004. 316 с.
16. Структура и физико-химические свойства целлюлоз и нанокompозитов на их основе / под ред. Л.А. Алешина, В.А. Гуртова, Н.В. Мелех. Петрозаводск, 2014. 240 с.
17. Лаврентьев И.В., Дубовый В.К. Актуальные задачи импортозамещения целлюлозных водоабсорбирующих материалов и изделий санитарно-гигиенического назначения // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII Международной научно-технической конференции имени профессора В.И. Комарова, 14–16 сентября 2023 г. Архангельск, 2023. С. 225–227.
18. Лаврентьев И.В. Влияние пористости целлюлозного материала на абсорбцию воды сердцевинным слоем одноразовых санитарно-гигиенических изделий // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы 7 международной молодежной научно-практической конференции. 9–10 ноября 2023 г. СПб, 2023. С. 31–34.
19. Чухчин Д.Г., Варакин Е.А., Новожилов Е.В., Терентьев К.Ю., Смирнов Е.В., Белых Е.А. Исследование суспензий целлюлозных волокон методом электронной микроскопии // Физикохимия растительных полимеров: материалы V международной конференции. Архангельск, 2013. С. 46–50.
20. Осовская И.И., Антонова В.С. Влияние поверхностной деструкции на гидрофильность и связеобразующую способность целлюлозных волокон // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 315–320. DOI: 10.14258/jscrpm.2020016269.
21. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химических воздействиях. Рига, 1972. 511 с.
22. Грунин Ю.Б., Бакиева Д.Р., Грунин Л.Ю. Гидрофильные свойства целлюлозных материалов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2002. №4. С. 109–114.
23. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М., 1970. 408 с.
24. Астаханов А.А., Юнусов М.Ю., Сарымсаков А.А., Рашидов С.Ш. Сравнительные исследования сорбционных свойств и капиллярно-пористой структуры целлюлозы, микрокристаллической целлюлозы и наноцеллюлозы // Химия растительного сырья. 2012. №3. С. 45–48.
25. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. Минск, 1981. 135 с.
26. Волосность // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). СПб, 1890–1907.
27. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М., 1982. 320 с.
28. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2011. 176 с.
29. Гораздова В.В., Дернова Е.В., Дулькин Д.А., Окулова Е.О. Влияние фибриллирования и укорочения волокон при размоле на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости целлюлозных материалов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2018. №2. С. 262–265.

*Поступила в редакцию 2 апреля 2024 г.*

*После переработки 27 мая 2024 г.*

*Принята к публикации 2 июня 2024 г.*

Lavrentev I.V., Simonova E.I., Demyantseva E.Yu., Dubovy V.K.\*, Bulycheva V.N. INVESTIGATION OF WATER ABSORPTION BY CELLULOSE COMPOSITE

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy, Ivana Chernykh st., 4, Saint Petersburg, 198095, Russia, dubovy2004@mail.ru

The conducted studies of the effect of composite fiber composition on water absorption confirmed the fact of a possible solution to the problem of improving the quality of both the cellulose base and the puff cellulose obtained from it - the core layer of disposable water-absorbing sanitary and hygienic products (SGI) based on compositions of cellulose-containing materials. Data on the effectiveness of the combination of coniferous and deciduous wood pulp and cellulose of special chemical treatment (CSR) have been obtained. Compared to cellulose, the main indicator in the CSO – the "Weighted average fiber length" for the CSO turned out to be almost 2 times lower. The width of the fiber has decreased, the bending of the fiber has decreased 2 times, the twisting of the fiber has increased 3 times and the area of the trifle has increased almost 3 times. Such profound changes in cellulose, as expected, affected the quality of the cellulose base. Fiber compositions for casting cellulose material samples were studied: cellulose – 100%; cellulose – 75% + CSO – 25%; cellulose – 50% + CSO – 50%; CSO – 100%. For comparison, an experiment was conducted with cotton, from which the best puff cellulose is obtained. In essence, a cotton product is taken as a standard of quality. The compositions were studied: cellulose – 75% + cotton – 25%; cellulose – 50% + cotton – 50%; cotton – 100%.

The combination of cellulose and CSF in various proportions – from 25 to 50%, allowed us to obtain samples of cellulose base material with high water absorption properties - by 22%, with an increase in water retention by 3-5%. When comparing the quality indicators of the pulp base and cotton, it was revealed that the cellulose material consisting of cellulose – 50% + CSO – 50% is comparable or somewhat higher than the quality of the cotton puff pulp. Research has generally shown the prospects for the development of puff pulp based on various cellulose-containing materials to create competitive materials and fulfill the task of developing and import substitution of puff pulp in the Russian Federation.

**Keywords:** cellulose, puff cellulose, cotton, cellulose of special chemical treatment, water absorption, water retention, fiber composition, weighted average fiber length, fluffed cellulose.

**For citing:** Lavrentev I.V., Simonova E.I., Demyantseva E.Yu., Dubovy V.K., Bulycheva V.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 401–409. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240214980.

## References

1. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Avtomatizatsiya, standartizatsiya, ekonomika i okhrana okruzhayushchey sredy v TsBP. Ch. 3. Nailuchshiyе dostupnyye tekhnologii v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti.* [Pulp and paper production technology. Automation, standardization, economics and environmental protection in pulp and paper industry. Part 3. Best available technologies in the pulp and paper industry]. St. Petersburg, 2012, vol. 3, 294 p. (in Russ.).
2. Patent 2755984 (RU). 2021. (in Russ.).
3. Akim E.L., Abramov I.N., Kovalenko M.V., Sazonova N.A. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2012, no. 6, pp. 38–44. (in Russ.).
4. Osovskaya I.I., Antonova V.S., Dobosh A.Yu. *Khimicheskiye volokna*, 2023, no. 1, pp. 17–21. (in Russ.).
5. Osovskaya I.I., Antonova V.S. *Butlerovskiyе soobshcheniya*, 2023, vol. 76, no. 10, pp. 111–118. DOI: 10.37952/ROI-jbc -01/23-76-10-111. (in Russ.).
6. Patent 2361557 (RU). 2009. (in Russ.).
7. Dubovy V.K. i dr. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii bumagi i kartona: ucheb. posobiye.* [Laboratory workshop on paper and cardboard technology: textbook. allowance]. St. Petersburg, 2006, 230 p. (in Russ.).
8. Drobosyuk V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya bumagi aerodinamicheskim sposobom.* [Aerodynamic paper manufacturing technology]. St. Petersburg, 2011, 56 p. (in Russ.).
9. Nanko H., Button A., Hillman D. *The World of Market Pulp.* Appleton, WI, USA: WOMP, LLC, 2005, 258 p.
10. Lavrent'ev I.V. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchonykh i spetsialistov TsBP «Sovremennaya tsellyulozno-bumazhnaya promyshlennost'. Aktual'nyye zadachi i perspektivnyye resheniya» (Sankt-Peterburg, 13–14 noyabrya 2023 goda).* [Materials of the V International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Pulp and Paper Industry Specialists "Modern Pulp and Paper Industry. Current challenges and promising solutions" (St. Petersburg, November 13–14, 2023)]. St. Petersburg, 2023, pp. 134–142. (in Russ.).
11. *Rynok flaff-tsellyulozy v Rossii* [Fluff pulp market in Russia]. URL: <http://prcs.ru>. (in Russ.).
12. Papkov S.P., Faynberg E.Z. *Vzaimodeystviye tsellyulozy i tsellyuloznykh materialov s vodoy.* [Interaction of cellulose and cellulose materials with water]. Moscow, 1976, 231 p. (in Russ.).
13. Akim G.L. i dr. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnyye materialy. V 3-kh tomakh. T. 1. Syr'ye i proizvodstvo polufabrikatov. Ch. 2. Proizvodstvo polufabrikatov.* [Technology of pulp and paper production. Reference materials. In 3 volumes. Vol. 1. Raw materials and production of semi-finished products. Part 2. Production of semi-finished products]. St. Petersburg, 2003, 633 p. (in Russ.).
14. Osipov P.S. i dr. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnyye materialy. V 3-kh tomakh. T. 1-1. Syr'ye i proizvodstvo polufabrikatov.* [Technology of pulp and paper production. Reference materials. In 3 volumes. Vol. 1-1. Raw materials and production of semi-finished products]. St. Petersburg, 2002, 420 p. (in Russ.).
15. Puzyrev S.S. i dr. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnyye materialy. V 3-kh tomakh. T. 1. Syr'ye i proizvodstvo polufabrikatov. Ch. 3. Proizvodstvo polufabrikatov.* [Technology of pulp and paper production.

\* Corresponding author.



- Reference materials. In 3 volumes. Vol. 1. Raw materials and production of semi-finished products. Part 3. Production of semi-finished products]. St. Petersburg, 2004, 316 p. (in Russ.).
16. *Struktura i fiziko-khimicheskiye svoystva tsellyuloz i nanokompozitov na ikh osnove* [Structure and physicochemical properties of celluloses and nanocomposites based on them], ed. L.A. Aleshin, V.A. Gurtov, N.V. Melekh. Petrozavodsk, 2014, 240 p. (in Russ.).
  17. Lavrent'yev I.V., Dubovyy V.K. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii imeni professora V.I. Komarova, 14–16 sentyabrya 2023 g.* [Problems of mechanics of pulp and paper materials: materials of the VII International Scientific and Technical Conference named after Professor V.I. Komarova, September 14–16, 2023]. Arkhangel'sk, 2023, pp. 225–227. (in Russ.).
  18. Lavrent'yev I.V. *Aktual'nyye voprosy lesnogo khozyaystva: materialy 7 mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 9–10 noyabrya 2023 g.* [Current issues of forestry. Materials of the 7th international youth scientific and practical conference. November 9–10, 2023]. St. Petersburg, 2023, pp. 31–34. (in Russ.).
  19. Chukhchin D.G., Varakin Ye.A., Novozhilov Ye.V., Terent'yev K.Yu., Smirnov Ye.V., Belykh Ye.A. *Fizikkhimiya rastitel'nykh polimerov: materialy V mezhdunarodnoy konferentsii.* [Physicochemistry of plant polymers: Proceedings of the V international conference]. Arkhangel'sk, 2013, pp. 46–50. (in Russ.).
  20. Osovskaya I.I., Antonova V.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 315–320. DOI: 10.14258/jcpm.2020016269. (in Russ.).
  21. *Kletochnaya stenka drevesiny i yeye izmeneniya pri khimicheskikh vozdeystviyakh.* [The cell wall of wood and its changes under chemical influences]. Riga, 1972, 511 p. (in Russ.).
  22. Grunin Yu.B., Bakiyeva D.R., Grunin L.Yu. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal*, 2002, no. 4, pp. 109–114. (in Russ.).
  23. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'.* [Adsorption, specific surface area, porosity]. Moscow, 1970, 408 p. (in Russ.).
  24. Astakhanov A.A., Yunusov M.Yu., Sarymsakov A.A., Rashidov S.Sh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 3, pp. 45–48. (in Russ.).
  25. Prokhorenko P.P., Dezhkunov N.V., Konovalov G.Ye. *Ul'trazvukovoy kapillyarnyy effekt.* [Ultrasonic capillary effect]. Minsk, 1981, 135 p. (in Russ.).
  26. *Entsiklopedicheskiy slovar' Brokgauza i Yefrona: v 86 t. (82 t. i 4 dop.).* [Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron: in 86 volumes (82 volumes and 4 additional)]. St. Petersburg, 1890–1907. (in Russ.).
  27. Kheyfets L.I., Neymark A.V. *Mnogofaznyye protsessy v poristyykh sredakh.* [Multiphase processes in porous media]. Moscow, 1982, 320 p. (in Russ.).
  28. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I., Blinova L.A. *Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyaniye na fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki bumagi i kartona.* [Properties of cellulose fibers and their influence on the physical and mechanical characteristics of paper and cardboard]. Arkhangel'sk, 2011, 176 p. (in Russ.).
  29. Gorazdova V.V., Dernova Ye.V., Dul'kin D.A., Okulova Ye.O. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal*, 2018, no. 2, pp. 262–265. (in Russ.).

Received April 2, 2024

Revised May 27, 2024

Accepted June 2, 2024

#### Сведения об авторах

Лаврентьев Игорь Владимирович – аспирант,  
supersmesi@mail.ru

Симонова Елена Игоревна – кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии бумаги и картона,  
bliznyakova1989@mail.ru

Демьянцева Елена Юрьевна – кандидат химических  
наук, доцент, доцент кафедры физической и коллоидной  
химии, demyant-seva@mail.ru

Дубовый Владимир Климентьевич – доктор технических  
наук, профессор, dubovy2004@mail.ru

Булычева Вера Николаевна – аспирант,  
dubovy2004@mail.ru

#### Information about authors

Lavrentyev Igor Vladimirovich – graduate student,  
supersmesi@mail.ru

Simonova Elena Igorevna – Candidate of Technical  
Sciences, Associate Professor of the Department of Paper  
and Cardboard Technology, bliznyakova1989@mail.ru

Demyantseva Elena Yuryevna – Candidate of Chemical  
Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the  
Department of Physical and Colloid Chemistry,  
demyant-seva@mail.ru

Dubovy Vladimir Klimentievich – Doctor of Technical  
Sciences, Professor, dubovy2004@mail.ru

Bulycheva Vera Nikolaevna – graduate student,  
dubovy2004@mail.ru