

УДК 676.2.024.3

**Н. В. Черная, Н. А. Герман, С. А. Гордейко, Т. В. Чернышева,
О. А. Мисюров, С. А. Дашкевич**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ
ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА**

Важную роль при производстве высококачественных видов бумаги и картона играет процесс диспергирования, который протекает на стадии роспуска применяемых видов волокнистого сырья. Отсутствие научно обоснованных технологических режимов процесса диспергирования, обеспечивающих получение однородных волокнистых суспензий, обуславливает необходимость проведения в этом направлении исследования, результаты которого представляют научный и практический интерес.

Установлены закономерности влияния основных технологических факторов на стадии роспуска волокнистого сырья в водной среде на степень диспергирования волокон, полученных из широко применяемого волокнистого сырья, к числу которых относятся первичные (целлюлозные), вторичные (макулатурные) и синтетические. Результаты исследования позволили установить, что управляемыми технологическими факторами являются концентрация волокнистой суспензии, частота вращения ротора в диспергирующем оборудовании и продолжительность его механического воздействия на волокнистое сырье в водной среде. Диапазон изменения этих параметров соответствовал техническим характеристикам применяемого производственного оборудования. Основное внимание обращено на концентрацию волокнистых суспензий (изменяли от 1 до 6%) и частоты вращения ротора (увеличивали от 1500 до 4500 мин⁻¹).

Установлено, что разработанный технологический режим диспергирования волокнистого сырья является энергосберегающим, о чем свидетельствует сокращение продолжительности стадии роспуска в 2–3 раза.

Ключевые слова: диспергирование, волокнистые суспензии, водная среда, факторы.

Для цитирования: Черная Н. В., Герман Н. А., Гордейко С. А., Чернышева Т. В., Мисюров О. А., Дашкевич С. А. Энергосберегающая технология диспергирования волокнистого сырья при изготовлении высококачественных видов бумаги и картона // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 72–78.

**N. V. Chernaya, N. A. Herman, S. A. Gordeyko, T. V. Chernysheva,
O. A. Misyurov, S. A. Dashkevich**

Belarusian State Technological University

**ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF DISPERSION OF FIBROUS RAW
MATERIALS IN THE MANUFACTURE OF HIGH-QUALITY TYPES
OF PAPER AND CARDBOARD**

An important role in the production of high-quality types of paper and cardboard is played by the dispersion process, which takes place at the stage of dissolution of the used types of fibrous raw materials. The absence of scientifically substantiated technological modes of the dispersion process, necessitates conducting research in this direction, the results of which are of scientific and practical interest.

The regularities of the influence of the main technological factors at the stage of the descent of fibrous raw materials in an aqueous medium on the degree of dispersion of fibers obtained from widely used fibrous raw materials, which include primary (cellulose), secondary (waste paper) and synthetic. The results of the study allowed us to establish that the controlled technological factors are the concentration of fibrous suspension, the frequency of rotation of the rotor in the dispersing equipment and the duration of its mechanical action on fibrous raw materials in an aqueous medium. The range of variation of these parameters corresponded to the technical characteristics of the production equipment used. The main attention is paid to the concentration of fibrous suspensions (changed from 1 to 6%) and the rotor speed (increased from 1500 to 4500 min⁻¹).

It was found that the developed technological mode of dispersion of fibrous raw materials is energy-saving, as evidenced by a reduction in the duration of the dissolution stage by 2–3 times.

Key words: dispersion, fibrous suspensions, aqueous medium, factors.

For citation: Chernaya N. V., Herman N. A., Gordeyko S. A., Chernysheva T. V., Misyurov O. A., Dashkevich S. A. Energy-saving technology of dispersion of fibrous raw materials in the manufacture of high-quality types of paper and cardboard. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 72–78 (In Russian).

Введение. Постоянно растущий спрос на высококачественные виды бумаги и картона диктует необходимость совершенствования технологии получения данных видов продукции. Свойства бумаги и картона зависят от совокупности всех процессов, протекающих в химико-технологической системе.

Важную роль играют процессы подготовки волокнистой суспензии: диспергирование (протекает на стадии роспуска волокнистых полуфабрикатов) и фибриллирование (протекает на стадии размола). Эффективность следующих стадий производства бумаги (картона) существенно зависит от указанных первых двух, результатом которых является получение однородной волокнистой суспензии с необходимой степенью фибриллирования [1–6].

Первой стадией получения волокнистых суспензий в водной среде независимо от природы используемого волокнистого сырья является стадия роспуска. При роспуске волокнистых полуфабрикатов происходит набухание и диспергирование волокон, сущность которого заключается в отделении волокон друг от друга за счет механического воздействия ротора на волокнистое сырье, поставляемое на бумажную (картонную) фабрику со склада [7, 8].

Волокнистое сырье имеет влажность 5–15% в зависимости от его природы. Остальное количество приходится на основные компоненты сырья – волокна. Поэтому стадия роспуска в водной среде является обязательной для получения волокнистой суспензии.

Правильный выбор условий процесса диспергирования на стадии роспуска конкретного вида волокнистого сырья гарантирует получение однородной волокнистой суспензии, имеющей степень диспергирования 100%. Такая степень достигается в том случае, когда на стадии роспуска в присутствии воды обеспечивается полное отделение волокон друг от друга. Полученная однородная волокнистая суспензия представляет собой дисперсную систему, в которой дисперсной фазой выступают волокна, а дисперсионной средой – вода [9–12]. Скорость процесса диспергирования зависит от многих технологических факторов. Наиболее значимыми являются концентрация волокнистой суспензии и частота вращения ротора гидроразбивателя.

Для технологии получения волокнистой суспензии в производственных условиях необходимо рекомендовать такие условия стадии роспуска, которые минимизируют продолжитель-

ность этой стадии и не требуют высоких энергетических затрат при функционировании выбранного гидроразбивателя. Количество полученной распущенной волокнистой суспензии должно обеспечить бесперебойную работу бумагоделательной (картоноделательной) машины. Для этого нужно правильно подобрать тип гидроразбивателя, оснащенного ванной унифицированного объема (преимущественно 3 и 5 м³) и имеющего необходимые технические характеристики [1, 5, 13–17].

Отсутствие научно обоснованных технологических режимов получения однородных волокнистых суспензий при оптимальных параметрах осуществления стадии роспуска не позволяет улучшить свойства этих суспензий и уменьшить энергетические затраты на стадии роспуска. Поэтому проблема повышения эффективности процесса диспергирования на стадии роспуска волокнистого сырья в водной среде в настоящее время остается нерешенной и представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – установление закономерностей влияния условий процесса диспергирования, протекающего на стадии роспуска волокнистого сырья в водной среде, на однородность получаемых суспензий и разработка научно обоснованного технологического режима процесса диспергирования.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

- изучено влияние условий стадии роспуска исследуемых видов волокнистого сырья на однородность получаемых в водной среде суспензий и степень их диспергирования;
- исследовано влияние вида волокнистого сырья на размеры волокон в полученных суспензиях;
- установлены закономерности влияния условий стадии роспуска на однородность получаемых суспензий;
- разработаны научно обоснованные технологические режимы получения в водной среде однородных суспензий из различных видов волокнистого сырья.

Основная часть. Объектами исследования являлись волокнистые суспензии, полученные из следующих видов волокнистого сырья: целлюлозы сульфатной небеленой хвойной по ГОСТ 11208–82, целлюлозы сульфатной беленой хвойной по ГОСТ 9571–89, целлюлозы сульфатной небеленой из лиственных пород древесины по ГОСТ 28172–89, целлюлозы сульфатной беленой из лиственных пород древесины по ГОСТ 14940–96,

макулатуры по ГОСТ 10700–89, синтетических волокон полиэтилентерефталата (лавсана) ГОСТ 32085–2013.

Предметом исследования являлся процесс диспергирования, протекающий на стадии роспуска в водной среде при различных условиях и обеспечивающий получение однородных волокнистых суспензий из широко используемых видов растительного и синтетического сырья, отличающихся морфологической структурой, размерами волокон и способностью к диспергированию.

Роспуск шести видов волокнистого сырья до суспензий получали на моделирующем оборудовании: в дезинтеграторе марки БМ-3 и лабораторном комплекте ЛКР-1 в соответствии с прилагаемыми к ним инструкциями.

Для полученных волокнистых суспензий определяли по стандартным методикам следующие основные свойства: концентрацию, однородность (степень диспергирования волокон).

Концентрацию волокнистых суспензий определяли по ГОСТ Р 50068–92 (ИСО 4119–78). Однородность волокнистых суспензий характеризовали показателем «степень диспергирования волокон» (СДВ). В процессе диспергирования волокон на стадии роспуска волокнистого сырья СДВ увеличивается от 0 до 100%. Для этого необходимо повышать продолжительность механического воздействия ротора диспергирующего оборудования на волокнистое сырье, находящееся в водной среде.

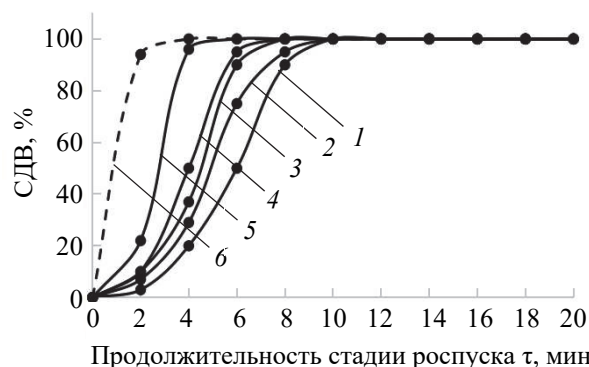
Исследование направлено на изучение следующих технологических факторов, влияющих на условия стадии роспуска: 1) вид волокнистого сырья; 2) концентрация волокнистой суспензии (С); 3) частота вращения ротора диспергирующего оборудования (ЧВР); 4) продолжительность (τ) механического воздействия ротора диспергирующего оборудования на волокнистое сырье.

Для шести видов волокнистого сырья увеличивали С волокнистых суспензий от 1 до 6%, ЧВР – от 1500 до 4500 мин^{-1} и τ – от 0,5 до 20,0 мин.

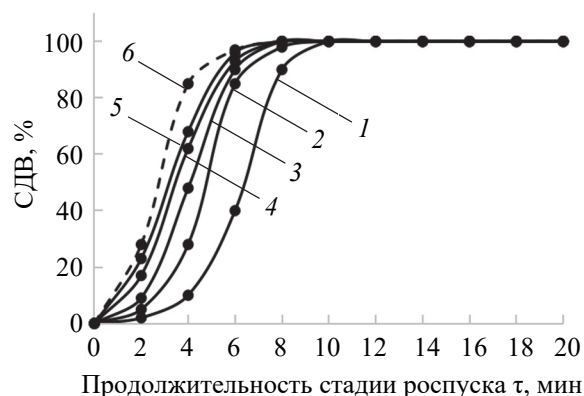
На рисунке представлены зависимости $\text{СДВ} = f(\tau)$, демонстрирующие влияние условий стадии роспуска на степень диспергирования волокон (СДВ) и, следовательно, на однородность суспензий ($\text{СДВ} = 100\%$), для получения которых использовали шесть видов волокнистого сырья: целлюлоза небеленая хвойная (кривая 1); целлюлоза беленая хвойная (кривая 2); целлюлоза небеленая из лиственных пород древесины (кривая 3); целлюлоза беленая из лиственных пород древесины (кривая 4); макулатура (кривая 5); синтетические волокна (кривая 6).



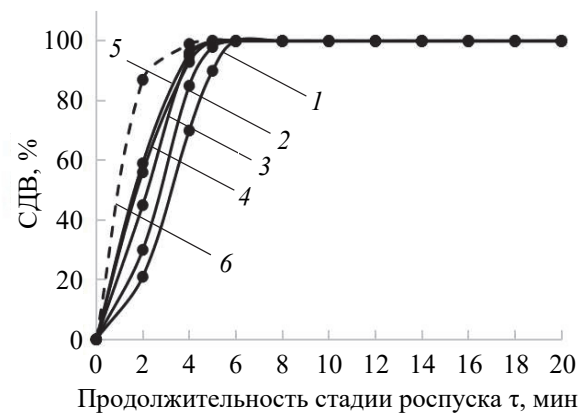
а



б



в



г

Зависимости $\text{СДВ} = f(\tau)$ при изменении способов процесса диспергирования

Установленные зависимости $СДВ = f(\tau)$ (рис. 1) получены для следующих способов диспергирования:

- способ 1 (а) – $C = 1\%$ и $ЧРВ = 1500 \text{ мин}^{-1}$;
- способ 2 (б) – $C = 6\%$ и $ЧРВ = 1500 \text{ мин}^{-1}$;
- способ 3 (в) – $C = 1\%$ и $ЧРВ = 4500 \text{ мин}^{-1}$;
- способ 4 (г) – $C = 6\%$ и $ЧРВ = 4500 \text{ мин}^{-1}$.

Выбор указанных способов обусловлен практической возможностью их применения на действующих производствах. Используемые два вида диспергирующего оборудования являются моделирующими и воспроизводят в лабораторных условиях работу производственного оборудования – гидроразбивателей марок ГРВ-03 и ГРВ-05.

Зависимости $СДВ = f(\tau)$ (рис. 1), полученные при $C = 1\%$ и $ЧРВ = 1500 \text{ мин}^{-1}$ для исследуемых шести видов волокнистого сырья, позволяют определить τ , необходимое для получения однородных волокнистых суспензий ($СДВ = 100\%$), и оценить способность каждого вида волокнистого сырья к диспергированию. Установлены особенности диспергирования исследуемых видов волокнистого сырья:

- для целлюлозы небеленой хвойной (кривая 1) $\tau = 14,0$ мин;
- для целлюлозы беленой хвойной (кривая 2) $\tau = 10,0$ мин;
- для целлюлозы небеленой из лиственных пород древесины (кривая 3) $\tau = 8,5$ мин;
- для целлюлозы беленой из лиственных пород древесины (кривая 4) $\tau = 8,0$ мин;
- для макулатуры (кривая 5) $\tau = 6,0$ мин;
- для синтетических волокон (кривая 6) $\tau = 4,0$ мин.

Определено, что дальнейшее повышение τ от указанных значений до 20 мин не влияет на однородность волокнистых суспензий. Они сохраняют $СДВ = 100\%$. Одной из основных причин изменения τ для кривых 1–6 (рис. 1), обеспечивающих достижение $СДВ = 100\%$, является, по нашему мнению, размеры волокон (таблица) и их способность образовывать межволоконные связи.

Влияние вида волокнистого сырья на размеры волокон

Вид волокнистого сырья	Размеры волокон, мкм	
	длина	толщина
Целлюлоза:		
небеленая хвойная	3500–4200	25–30
беленая хвойная	3200–4000	23–28
небеленая из лиственных пород древесины	2800–3400	18–22
беленая из лиственных пород древесины	2700–3200	17–20
Макулатура	2200–2500	20–25
Синтетические волокна	3000–3500	15–20

Установлена следующая упорядоченная убывающая последовательность по размерам волокон для исследуемых видов волокнистого сырья: целлюлоза небеленая хвойная > целлюлоза беленая хвойная > синтетические волокна > целлюлоза небеленая из лиственных пород древесины > целлюлоза беленая из лиственных пород древесины > макулатура.

Зависимости $СДВ = f(\tau)$ (рис. 2), полученные при $C = 6\%$ и $ЧРВ = 1500 \text{ мин}^{-1}$, имеют характер, аналогичный зависимостям на рис. 1. Отличие состоит в числовых значениях τ , при которых $СДВ = 100\%$. Значения τ составляют:

- для целлюлозы небеленой хвойной (кривая 1) $\tau = 8,0$ мин;
- для целлюлозы беленой хвойной (кривая 2) $\tau = 7,5$ мин;
- для целлюлозы небеленой из лиственных пород древесины (кривая 3) $\tau = 7,0$ мин;
- для целлюлозы беленой из лиственных пород древесины (кривая 4) $\tau = 6,5$ мин;
- для макулатуры (кривая 5) $\tau = 4,0$ мин;
- для синтетических волокон (кривая 6) $\tau = 2,0$ мин.

Сравнение числовых значений τ , при которых $СДВ = 100\%$, полученных при $C = 1\%$ (рис. 1) и $C = 6\%$ (рис. 2) и одинаковых частотах вращения ротора ($ЧРВ = 1500 \text{ мин}^{-1}$), свидетельствует об ускорении процесса диспергирования за счет увеличения C от 1 до 6%.

Достижимый эффект энергосбережения на стадии роспуска можно объяснить двумя основными причинами: 1) увеличением числа контактов диспергируемого волокнистого сырья с вращающимся ротором, что приводит к увеличению его механического воздействия на волокна; 2) снижением связующего действия окисленного лигнина, находящегося в беленой целлюлозе, по сравнению с остаточным сульфированным лигнином, присутствующим в небеленой целлюлозе.

Установлено, что положительный эффект по сокращению продолжительности процесса диспергирования, обнаруженный на рис. 1 и 2, достигается следующих значений:

- в 1,75 раза для целлюлозы небеленой хвойной (кривая 1);
- в 1,33 раза для целлюлозы беленой хвойной (кривая 2);
- в 1,21 раза для целлюлозы небеленой из лиственных пород древесины (кривая 3);
- в 1,23 раза для целлюлозы беленой из лиственных пород древесины (кривая 4);
- в 1,50 раза для макулатуры (кривая 5);
- в 2,00 раза для синтетических волокон (кривая 6).

Аналогичная тенденция наблюдается для других видов волокнистого сырья (рис. 3 и 4). Отличие состоит в достигаемых эффектах.

Сопоставительный анализ установленных закономерностей $СДВ = f(\tau)$ позволяет сделать следующие основные выводы:

– каждый исследованный вид волокнистого сырья диспергируется в водной среде до получения однородной волокнистой суспензии, имеющей $СДВ = 100\%$;

– на процесс диспергирования влияют четыре основных фактора: вид волокнистого сырья; концентрация волокнистой суспензии (C); частота вращения ротора (ЧВР) диспергирующего оборудования; продолжительность (τ) механического воздействия ротора на волокнистую суспензию.

Следовательно, установленные закономерности влияния условий стадии роспуска исследуемых видов волокнистого сырья на однородность получаемых суспензий и степень диспергирования волокон позволяют оптимизировать технологический режим процесса диспергирования и разработать практические рекомендации получения волокнистых суспензий по энергосберегающим технологиям. При этом технические характеристики оборудования, функционирующего на действующих производствах, являются достаточными для решения существующей актуальной проблемы – повышение степени диспергирования волокнистого сырья за минимальное время и решения проблем энергосбережения.

Заключение. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о практической це-

лесообразности управления процессом диспергирования. Установлено, что скорость процесса диспергирования существенно зависит от первоначальных размеров волокон, снижение их длины и уменьшение толщины ускоряют процесс диспергирования.

Разработанный технологический режим процесса диспергирования волокнистого сырья природного и синтетического происхождения основан на повышении концентрации волокнистых суспензий от 1 до 6% и увеличении скорости вращения ротора от 1500 до 4500 мин^{-1} , что позволяет ускорить стадию роспуска в 2–3 раза.

Определена практическая возможность сокращения продолжительности стадии роспуска первичного волокнистого сырья от $15 \leq \tau \leq 40$ мин (существующая технология) до $5 \leq \tau \leq 14$ мин для целлюлозы хвойной небеленой и до $4 \leq \tau \leq 10$ мин для целлюлозы хвойной беленой.

Для макулатуры и синтетических волокон обнаружен положительный эффект сохраняется. Это позволяет оптимизировать и разработать практические рекомендации получения применяемых волокнистых суспензий по энергосберегающим технологиям, следствием чего является снижение энергетических затрат в 2–3 раза для получения распущенных волокнистых суспензий, содержащих первичные (целлюлозные), вторичные (макулатурные) и синтетические волокна.

Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит / В. И. Комаров [и др.] СПб.: Политехника, 2006. 499 с.
2. Кожевников С. Ю., Ковернинский И. Н. Химия и технология «СКИФ» для бумаги. М.: МГУЛ, 2010. 91 с.
3. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А. А. Остапенко [и др.] // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 187–190.
4. Химия бумаги: исследование действия упрочняющих и обезвоживающих добавок / З. О. Шабиев [и др.] // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 263–270.
5. Janja Z., Dolenc J. Determination of AKD sizing in papermaking systems by gas chromatography // Pulp and paper Institute. 2003. P. 115–122.
6. Дулькин Д. А., Спиридонов В. А., Комаров В. И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: АГТУ, 2007. 1118 с.
7. Смолин А. С. О развитии технологии бумаги и картона // Лесной журнал. 2013. № 2. С. 163–171.
8. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов / В. И. Комаров [и др.] СПб.: Политехника, 2004. 316 с.
9. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона / В. И. Комаров [и др.] СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
10. Фляте Д. М. Бумагообразующие свойства волокнистых материалов. М.: Лесная промышленность, 1990. 136 с.
11. Иванов С. Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
12. Lindgren H. Charge determination of cellulose fibers of different origin. Comparison between different methods // Nordic pulp and paper research journal. 2002. Vol. 17, no. 1. P. 89–96.

13. Осипов П. В. Повышение скорости машин: анализ и создание условий для эффективного функционирования // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 5. С. 56–58.
14. Мягченков В. А. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Колос, 2007. 187 с.
15. Вураско А. В., Агеев М. А., Агеев А. Я. Технологии получения, обработки и переработки бумаги и картона. Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. 276 с.
16. Дулькин Д. А., Спиридонов В. А., Комаров В. И. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона. Архангельск: САФУ, 2011. 176 с.
17. Ванчаков М. В., Смолин А. С., Канарский А. В. Интенсификация роспуска макулатуры в воде // Вестник Казанского технологического университета. 2017. № 16. С. 27–29.

References

1. Komarov V. I., Laptev L. N., Koverninskiy I. N., Vinogradova S. G., Glazunov A. I., Bel'skiy A. P., Akim E. L., Nevolin V. F. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Tom 2. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 2. Osnovnyye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit* [Technology of pulp and paper production. Vol. 2. Production of paper and cardboard. Part 2. The main types and properties of paper, cardboard, fiber and wood boards]. St. Petersburg, Polytekhnik Publ., 2006. 499 p. (In Russian).
2. Kozhevnikov S. Yu., Koverninskiy I. N. *Khimiya i tekhnologiya "SKIF" dlya bumagi* [Chemistry and technology SKIF for paper]. Moscow, MGUL Publ., 2010. 91 p. (In Russian).
3. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovyy V. K., Koverninskiy I. N. Improving the quality of paper from waste paper with chemical functional substances. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2012, no. 1, pp. 187–190 (In Russian).
4. Shabiev R. O., Smolin A. S., Kozhevnikov Yu. S., Koverninskiy I. N. Paper chemistry: investigation of the hardening and dehydrating additives action. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2014, no. 4, pp. 263–270 (In Russian).
5. Janja Z., Dolenc J. Determination of AKD sizing in papermaking systems by gas chromatography. *Pulp and paper Institute*, 2003, pp. 115–122.
6. Dul'kin D. A., Spiridonov V. A., Komarov V. I. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ispol'zovaniya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi* [The current state and prospects for the use of secondary drawing from waste paper in the world and domestic paper industry]. Arkhangel'sk, AGTU Publ., 2007. 1118 p. (In Russian).
7. Smolin A. S. On the development of paper and cardboard technology. *Lesnoy zhurnal* [The Forest Magazine], 2013, no. 2, pp. 163–171 (In Russian).
8. Komarov V. I., Laptev L. N., Koverninskiy I. N., Vinogradova S. G., Glazunov A. I., Bel'skiy A. P., Akim E. L., Nevolin V. F. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Tom 1. Syr'ye i proizvodstvo polufabrikatov. Ch. 3. Proizvodstvo polufabrikatov* [Technology of pulp and paper production. Vol. 1. Raw materials and production of semi-finished products. Part 3. Production of semi-finished products]. St. Petersburg, Polytekhnik Publ., 2004. 316 p. (In Russian).
9. Komarov V. I., Laptev L. N., Koverninskiy I. N., Vinogradova S. G., Glazunov A. I., Bel'skiy A. P., Akim E. L., Nevolin V. F. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Tom 2. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 1. Tekhnologiya proizvodstva i obrabotki bumagi i kartona* [Technology of pulp and paper production. Vol. 2. Production of paper and cardboard. Part 1. Technology of production and processing of paper and cardboard]. St. Petersburg, Polytekhnik Publ., 2005. 423 p. (In Russian).
10. Flyate D. M. *Bumagoobrazuyushchiye svoystva voloknistykh materialov* [Paper-forming properties of fibrous materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 440 p. (In Russian).
11. Ivanov S. N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow, Shkola bumagi Publ., 2006. 696 p. (In Russian).
12. Lindgren H. Charge determination of cellulose fibers of different origin. Comparison between different methods. *Nordic pulp and paper research journal*, 2002, vol. 17, no. 1, pp. 89–96.
13. Osipov P. V. Increasing the speed of machines: analysis and creation of conditions for effective functioning. *Tsellyuloza. Bumaга. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard.], 2007, no. 5, pp. 56–58 (In Russian).
14. Myagchenkov V. A. *Poverkhnostnyye yavleniya i dispersnyye sistemy* [Surface phenomena and dispersed systems]. Moscow, Kolos Publ., 2007. 187 p. (In Russian).
15. Vurasko A. V., Ageev M. A., Ageev A. Ya. *Tekhnologii polucheniya, obrabotki i pererabotki bumagi i kartona* [Technologies for the production, processing and processing of paper and cardboard]. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2021. 276 p. (In Russian).
16. Dul'kin D. A., Spiridonov V. A., Komarov V. I. *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, SAFU Publ., 2011. 176 p. (In Russian).

17. Vanchakov M. V., Smolin A. S., Kanarsky A.V. Intensification of the dissolution of waste paper in water. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological universiteta], 2017, no. 16, pp. 27–29 (In Russian).

Информация об авторах

Черная Наталья Викторовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: chornaya@belstu.by

Герман Наталья Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: natalka_wow@mail.ru

Гордейко Светлана Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sveta_gordeiko@mail.ru

Чернышева Тамара Владимировна – старший научный сотрудник кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: chernysheva@belstu.by

Мисюров Олег Александрович – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: omisurov@mail.ru

Дашкевич Светлана Аркадьевна – стажер младшего научного сотрудника кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Dashkevich@belstu.by

Information about the authors

Chernaya Natal'ya Viktorovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chornaya@belstu.by

Herman Natal'ya Aleksandrovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natalka_wow@mail.ru

Gordeyko Svetlana Aleksandrovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sveta_gordeiko@mail.ru

Chernysheva Tamara Vladimirovna – Senior Researcher, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chernysheva@belstu.by

Misyurov Oleg Aleksandrovich – PhD Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: omisurov@mail.ru

Dashkevich Svetlana Arkad'yevna – Trainee Junior Researcher, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dashkevich@belstu.by

Поступила 18.04.2022