



# **СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ**

**MODERN PULP AND PAPER INDUSTRY. CURRENT  
CHALLENGES AND PROMISING SOLUTIONS**

Материалы

III Международной научно-технической конференции  
молодых учёных и специалистов ЦБП

Том II



Санкт-Петербург  
2022

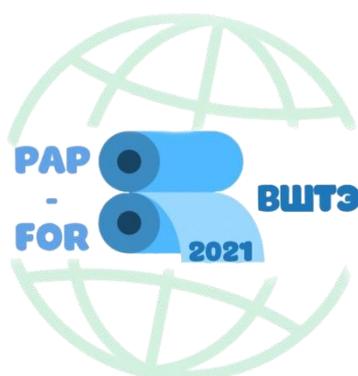
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

---

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ



PAP-FOR 2021



Материалы

III Международной научно-технической конференции  
молодых учёных и специалистов ЦБП

## «СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ»

8 ноября 2021 г.

Том II

**PAP-FOR**  
■ RUSSIA ■

Санкт-Петербург  
2022

УДК 676:(665+378+628)+674.8+502.17

ББК 65.9(2)304.18

С 568

Рецензент:

доктор технических наук, профессор кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)

федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

*Яков Владимирович Казаков*

С 568 Материалы III Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 8 ноября 2021 года) / Ред. О. В. Фёдорова; А. Г. Кузнецов. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — Том II. — 98 с.

ISBN 978-5-91646-298-2

В сборнике материалов размещены доклады научно-технической конференции, представленные студентами, аспирантами, молодыми учёными и специалистами целлюлозно-бумажной промышленности России и Республики Беларусь, ведущими фундаментальные и прикладные научные исследования. Конференция посвящена проблемам современного состояния целлюлозно-бумажной промышленности.

Представленные доклады освещают четыре основные темы:

- технологии и оборудование ЦБП;
- охрана окружающей среды и энергосбережение;
- проблемы применения профессиональных стандартов;
- условия внедрения наилучших доступных технологий.

Сборник предназначен тем, кто интересуется современными технологиями и методами исследования в различных отраслях науки.

ISBN 978-5-91646-298-2

© Высшая школа технологии  
и энергетики СПбГУПТД, 2022

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education  
**SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGIES AND DESIGN**

---

**HIGHER SCHOOL OF TECHNOLOGY AND ENERGY**



**PAP-FOR 2021**



Proceedings  
of the 3<sup>rd</sup> International State-of-the-Art Conference  
of Young Researchers and Pulp & Paper Industry Specialists

**«MODERN PULP AND PAPER INDUSTRY.  
CURRENT CHALLENGES AND PROMISING  
SOLUTIONS»**

November 8, 2021

Volume II

**PAP-FOR**  
■ **RUSSIA** ■

Saint Petersburg  
2022

UDC 676:(665+378+628)+674.8+502.17

Reviewer:

Yakov Vladimirovich Kazakov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Pulp and Paper and Wood Chemical Production in the Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov

Proceedings of the 3rd International State-of-the-Art Conference of Young Researchers and Pulp & Paper Industry Specialists (Russia, Saint Petersburg, 8 of November, 2021). Ed. O. V. Fedorova, A. G. Kuznetsov. Saint Petersburg, SPbSUITD HSTE, 2022, vol. 2, 98 p.

ISBN 978-5-91646-298-2

The proceedings contain reports of the scientific and technical conference presented by students, postgraduates, young researchers and specialists of pulp and paper industry of Russia, The Republic of Belarus, India and Germany, carrying out fundamental and applied scientific research projects. The conference is devoted to the problems of the current state of pulp and paper industry.

The reports cover four main themes:

- technologies and equipment of the pulp and paper industry;
- environmental protection and energy saving;
- problems of professional standards applying;
- conditions for the implementation of the best available technologies.

These proceedings are intended for those who are interested in modern technologies and research methods in various branches of science.

ISBN 978-5-91646-298-2

© Higher School of Technology  
and Energy of SPbSUITD, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Смит Р. А., Якубова О. С., Демьянцева Е. Ю., Аширова М. С., Ганева Д. С. <b>Вязкость и солюбилизующая способность растворов смешанных систем на основе компонентов сульфатного мыла с вариативным введением НПАВ</b> .....	9
Александрова А. И., Кулебакина Ю. Ю. <b>Проблемы применения профессиональных стандартов в сфере системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья</b> .....	14
Строганова М. С., Антонов И. В. <b>Нормирование сброса сточных вод сульфат-целлюлозного предприятия с учетом процессов трансформации органических соединений</b> .....	17
Аким Э. Л., Уварова Д. Ю., Орехова Т. В., Бобкова Е. А. <b>Техническая конопля – перспективное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности. Строение и химический состав технической конопля</b> .....	24
Ушаков А. В., Алашкевич Ю. Д., Кожухов В. А., Ковалев В. И. <b>Влияние бумагообразующих свойств на прочностные характеристики отливок при размоле массы высокой концентрации.</b> .....	29
Флейшер В. Л. <b>Влияние полиамидной смолы на основе амидов смоляных кислот канифоли на прочность и гидрофобность целлюлозосодержащих композиционных материалов в зависимости от их состава по волокну</b> .....	34
Итконен К., Терещенко С. В., Фрейдкина Е. М. <b>Проект «цифровая лесная педагогика»: достигнутые результаты и перспективы</b> .....	39
Евдокимов Н. В., Мидуков Н. П. <b>Определение параметров получения формованных изделий из древесных отходов</b> .....	43
Замазий Л. В., Леонович А. А. <b>Расширение сырьевой базы ДВП использованием подсолнечной лузги</b> .....	46
Ившин С. Ю., Назарова А. Н. <b>Влияние пандемии на цепи поставок продукции целлюлозно-бумажной промышленности</b> .....	50
Каплев Е. В., Юртаева Л. В., Васильева Д. Ю., Алашкевич Ю. Д. <b>Сравнительный анализ влияния способов размола на процесс получения порошковой целлюлозы</b> .....	55
Нонин Д. М., Федорова О. В., Таразанов А. А., Махотина Л. Г., Аким Э. Л. <b>Потенциометрическое титрование как метод оценки буферных свойств и кислотности среды (водородного показателя) отработанных сульфитных щелоков (лигносульфонатов).</b> .....	62
Петруничев О. В., Мочалова Н. А., Ковалева О. П. <b>Плантационная древесина ели и ее пригодность к использованию в производстве целлюлозы</b> .....	66

Прохоров Д. А. <b>Общая характеристика и перспективы развития мировой целлюлозно-бумажной промышленности.....</b>	<b>69</b>
Смульская С. К., Сунайт В. Н., Махотина Л. Г., Галиханов М. В., Басырова С. И. <b>Исследование физико-механических свойств композиционных материалов, изготовленных на основе бумаги и биополимеров .....</b>	<b>75</b>
Черная Н. В., Чернышева Т. В., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Карпова С. В., Мисюров О. А. <b>Разработка способов улучшения гидрофобности и прочности бумаги и печатных свойств мелованной продукции .....</b>	<b>80</b>
Романова Л. В., Шанова О. А. <b>Применение наклонного поверхностного конденсатора для осуществления природоохранных процессов.....</b>	<b>87</b>
Рыбников О. В., Аким Э. Л. <b>Опыт и перспективы использования осиновой древесины при производстве картона и бумаги .....</b>	<b>91</b>

## CONTENTS

Smit R. A., Yakubova O. S., Demyantseva E. Yu., Ashirova M. S., Ganeva D. S. VISCOSITY AND SOLUBILIZING ABILITY OF MIXED SYSTEMS SOLUTIONS BASED ON SULPHATE SOAP COMPONENTS WITH ADJUSTABLE ADDITION OF NONIONIC SURFACTANTS .....	13
Alexandrova A. I., Kulebakina Yu. Yu. PROBLEMS OF APPLICATION OF PROFESSIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH MANAGEMENT SYSTEM .....	16
Stroganova M. S., Antonov I. V. RATIONING OF WASTEWATER DISCHARGE OF A SULFATE-PULP PLANT TAKING INTO ACCOUNT THE PROCESSES OF ORGANIC COMPOUNDS TRANSFORMATION .....	22
Akim E. L., Uvarova D. Yu., Orekhova T. V., Bobkova E. A. TECHNICAL HEMP IS A PROSPECTIVE RAW MATERIAL FOR PULP AND PAPER INDUSTRY. STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF TECHNICAL HEMP .....	28
Ushakov A. V., Alashkevich Yu. D., Kozhukhov V. A., Kovalev V. I. EFFECT OF PAPER-FORMING PROPERTIES ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CASTINGS AT REFINING OF HIGH CONSISTENCE MASS .....	33
Fleisher V. L. INFLUENCE OF POLYAMIDE RESIN BASED ON AMIDES RESIN ROSIN ACID ON STRENGTH AND HYDROPHOBICITY OF CELLULOSE-CONTAINING COMPOSITE MATERIALS DEPENDING ON THEIR FIBER COMPOSITION .....	38
Itkonen K., Tereschenko S. V., Freidkina E. M. THE DIGITAL FOREST PEDAGOGY PROJECT: RESULTS ACHIEVED AND PROSPECTS .....	42
Evdokimov N. V., Midukov N. P. DETERMINATION OF PARAMETERS FOR OBTAINING MOLDED PRODUCTS FROM WOOD WASTE. ....	45
Zamaziy L. V., Leonovich A. A. EXPANSION OF THE RAW MATERIAL BASE OF FIBERBOARD USING SUNFLOWER HUSK .....	50
Ivshin S. Yu., Nazarova A. N. THE IMPACT OF THE PANDEMIC ON THE SUPPLY CHAIN OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY .....	55
Kaplyov E. V., Yurtaeva L. V., Vasilyeva D. Yu., Alashkevich Yu. D. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF GRINDING METHODS ON THE PROCESS OF OBTAINING POWDERED CELLULOSE .....	61

Nonin D. M., Fedorova O. V., Tarazanov A. A., Makhotina L. G., Akim E. L. POTENTIOMETRIC TITRATION AS A METHOD FOR EVALUATING THE BUFFER PROPERTIES AND ACIDITY OF THE MEDIUM (PH VALUE) OF SPENT SULPHITE LIQUORS (LIGNOSULPHONATES).....	65
Petrunichev O. V., Mochalova N. A., Kovaleva O. P. INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF PLANTATION SPRUCE WOOD FOR THE PRODUCTION OF CELLULOSE.....	69
Prokhorov D. A. GENERAL CHARACTERISTIC AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE WORLD PULP AND PAPER INDUSTRY.....	74
Smulskaya S. K., Sunayt V. N., Makhotina L. G., Galikhanov M. F., Basyrova S. I. RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON PAPER AND BIOPOLYMERS.....	79
Chernaya N. V., Chernysheva T. V., Shashok Zh. S., Uss E. P., Karpova S. V., Misyurov O. A. DEVELOPMENT OF IMPROVING HYDROPHOBICITY AND STRENGTH OF PAPER AND PRINTING PROPERTIES OF COATED PRODUCTS.....	85
Romanova L. V., Shanova O. A. THE USE OF AN INCLINED SURFACE CONDENSER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION PROCESSES.....	90
Rybnikov O. V., Akim E. L. EXPERIENCE AND PROSPECTS OF THE USE OF ASPEN WOOD IN THE PRODUCTION OF CARDBOARD AND PAPER.....	96

## **ВЯЗКОСТЬ И СОЛЮБИЛИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РАСТВОРОВ СМЕШАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ СУЛЬФАТНОГО МЫЛА С ВАРИАТИВНЫМ ВВЕДЕНИЕМ НП АВ**

Р. А. Смит\*, О. С. Якубова, Е. Ю. Демьянцева, М. С. Аширова, Д. С. Ганева  
*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*  
*E-mail: zz1234567@yandex.ru*

В настоящее время безотходность производства является важным экологическим и экономическим показателем развития практически каждой отрасли. Целлюлозно-бумажное производство остро нуждается во внедрении технологий, приводящих к максимальному извлечению ценных побочных продуктов (в частности, сульфатного мыла) повышенного качества. В работе представлено исследование вязкости и солюбилизационной емкости растворов модельных компонентов сульфатного мыла с добавкой и без неионогенных поверхностно-активных веществ с различной степенью оксиэтилирования как перспективных деэмульгаторов, повышающих выход сульфатного мыла. Установлено, что лучше использовать индивидуальные добавки, а не их смеси. Исследованы коллоидно-химические закономерности смешанного мицеллообразования в таких сложных системах.

*Ключевые слова: сульфатное мыло, деэмульгирование, неионогенные поверхностно-активные вещества, солюбилизация*

В современном развитии любого технологического процесса особый акцент делается на безотходное использование сырьевых ресурсов. Такой подход продиктован не только экономическими причинами, но и экологическими требованиями, так как большинство неиспользованных материалов попадает в отходы. Большое количество отходов целлюлозно-бумажного производства делает необходимым поиск решения наиболее эффективного извлечения побочных продуктов производства, в частности, сульфатного мыла. В настоящее время сульфатное мыло (СМ) выделяется на этапах отстаивания и выпарки черного щелока. Практически весь объем сульфатного мыла идет на переработку с целью получения таллового масла. Но имеющиеся в СМ нейтральные вещества (биологически активные компоненты) – фитостерины – широко используются в косметической и медицинской промышленности [1, 2]. Увеличение выхода сульфатного мыла с сохранением его качественного состава является важной задачей, достигнув которую, можно уменьшить количество отходов производства при одновременном увеличении количества полученных вторичных продуктов.

Простым, достаточно эффективным и экономичным способом извлечения сульфатного мыла является процесс его деэмульгирования при введении неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ) [3]. Важным вопросом в данном методе является изучение влияния различных ПАВ на свойства компонентов сульфатного мыла [4]. Для этого необходимо изучить и сравнить характеры воздействия ПАВ на компоненты СМ при их различных соотношениях.

Целью работы является исследование солюбилизационной способности компонентов сульфатного мыла в присутствии и отсутствии ПАВ, с выбором оптимального НПАВ, наиболее подходящего для эффективного извлечения СМ.

Для достижения поставленной цели были намечены и решены следующие задачи:

- на основании показателей кинематической вязкости определить солюбилизационные емкости смешанных систем компонентов сульфатного мыла (смоляные и жирные кислоты:нейтральные вещества) разного состава в отсутствии и присутствии ПАВ;
- провести сравнительный анализ солюбилизационных емкостей компонентов сульфатного мыла при добавлении различных НПАВ.

Для проведения исследований было выбрано сульфатное мыло (ЗАО «International Paper»), из которого согласно стандартным методикам [5] были выделены смоляные и жирные кислоты, а также неомыляемые вещества (фитостерин). В качестве неионогенных дэмульгаторов были выбраны следующие амфифильные вещества: синтанол ДС-10 (смесь первичных оксиэтилированных высших жирных спиртов фракций  $C_{10} - C_{18}$ , степень оксиэтилирования – 10), синтамид-5 (N-моно-(2-полиэтиленгликольэтил) амид синтетических жирных кислот фракции  $C_{7-17}$ , степень оксиэтилирования – 5) и синтанол АЛМ-7 (первичные оксиэтилированные синтетические высшие жирные спирты фракций  $C_{12} - C_{14}$ , степень оксиэтилирования – 7). Вязкость измеряли на вискозиметре Оствальда (модификации ВПЖ – 2, диаметр капилляра – 0,73 мм). Полученные для исследования компоненты сульфатного мыла были взяты в соотношениях (смоляные : жирные кислоты к неомыляемым веществам) 4:1 и 3:1, потому что в таких соотношениях они могут находиться в потоках на производстве [6]. Концентрационная область исследования растворов 0,1–0,5 % была выбрана в соответствии с содержанием смолистых веществ в черном щелоке сульфатцеллюлозного производства.

В области заданных концентраций вязкость исследуемых систем резко возрастает до определенного значения и далее остается неизменной, что свидетельствует о сохранении сферической формы мицеллярных агрегатов. При включении неомыляемых веществ зависимость смещается в область более высоких концентраций, и вязкость при этом возрастает. Для исследуемых систем характерна немонотонная зависимость относительной вязкости от концентрации (рис. 1).

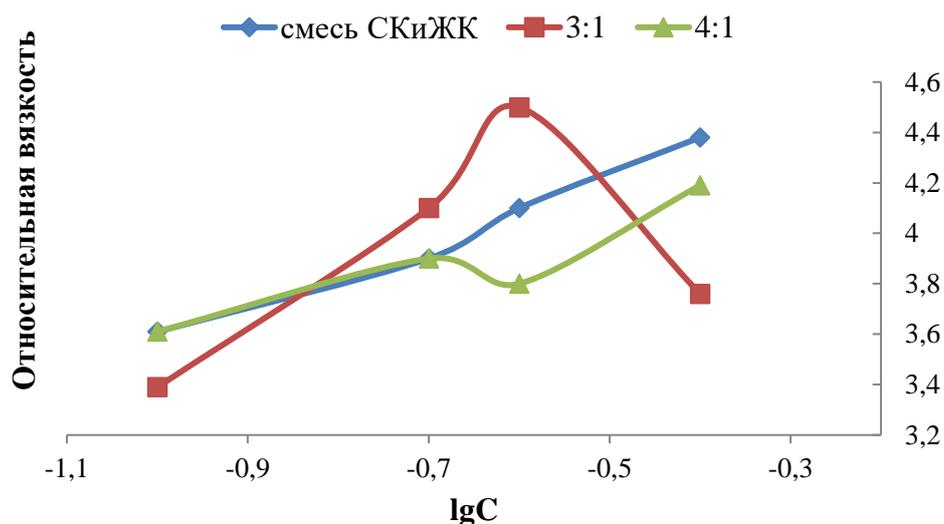


Рисунок 1 – Зависимость относительной вязкости от логарифма концентрации компонентов сульфатного мыла

Увеличение угла наклона концентрационной зависимости характеризует наличие фазового перехода. С добавлением нейтральных веществ точка перегиба смещается, и с увеличением их содержания появляется точка экстремума. Это можно связать с увеличением степени гидрофобности мицеллы и изменением формы внутримицеллярной организации молекул при увеличении углеводородной цепи, то есть изменяются числа агрегации мицелл. Рассматриваемая область находится выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Полученный экстремум может свидетельствовать о второй ККМ.

На основании зависимостей, представленных на рисунке 1, были рассчитаны солубилизационные емкости исследуемых композиций (табл. 1).

С увеличением содержания смоляных и жирных кислот увеличивается солубилизационная емкость мицелл. При увеличении содержания нейтральных веществ на 5 % солубилизационная емкость снижается. Это происходит вследствие недостатка полярной периферической части мицеллы.

Таблица 1 – Солюбилизационные емкости (СЕ) компонентов сульфатного мыла

Показатель	Соотношение компонентов							
	3:1				4:1			
С, %	0,1	0,2	0,3	0,5	0,1	0,2	0,24	0,4
СЕ, г/г	0,93	1,05	1,11	0,85	4	2,15	1,75	1,15

Влияние НПАВ на относительную вязкость смесей компонентов сульфатного мыла приведено на рисунках 2 и 3.

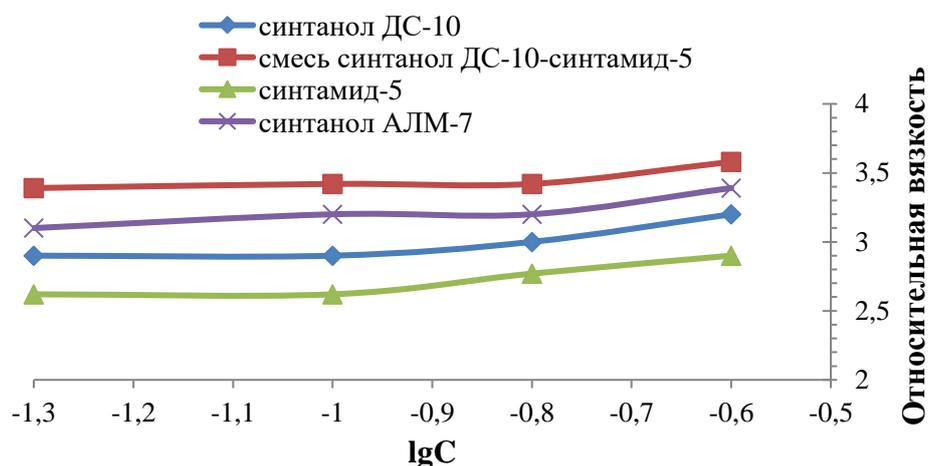


Рисунок 2 – Зависимость относительной вязкости от логарифма концентрации lgC в присутствии ПАВ при соотношении компонентов 3:1

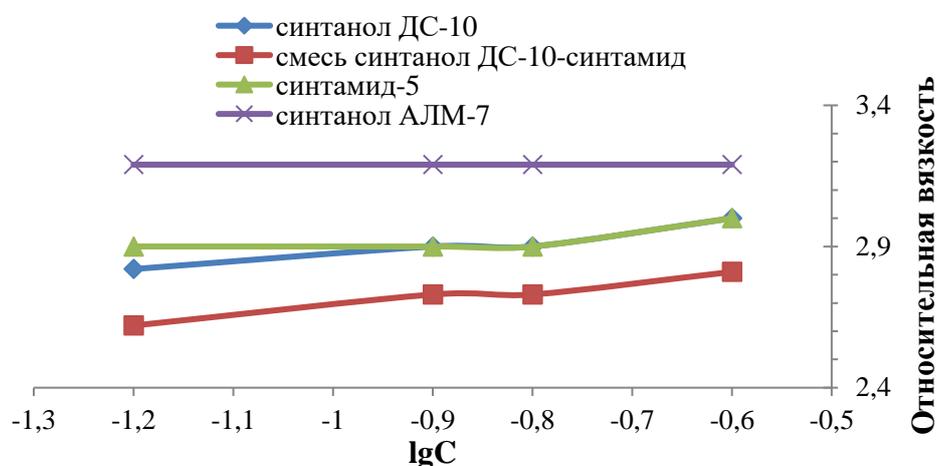


Рисунок 3 – Зависимость относительной вязкости от логарифма концентрации lgC в присутствии ПАВ при соотношении компонентов 4:1

Для данных зависимостей наблюдаются те же закономерности, что и для систем, в которых отсутствуют НПАВ. Солюбилизационные емкости данных систем представлены в таблицах 2 – 4.

В присутствии синтаноло ДС-10, синтамида-5 и их бинарной смеси с увеличением содержания нейтральных веществ увеличивается солюбилизационная емкость мицелл. С увеличением длины оксиэтилированной цепочки НПАВ увеличивается солюбилизационная емкость мицелл. Данные, полученные при измерении солюбилизационной емкости мицелл компонентов сульфатного мыла в присутствии ПАВ, показали средний результат между синтанолом ДС-10 и синтамидом-5. Из этого следует вывод, что предпочтительнее использование индивидуального ПАВ, а не смеси.

Таблица 2 – Солюбилизационные емкости (СЕ) компонентов сульфатного мыла (3:1) в присутствии НПАВ

<b>С (3:1)</b>	<b>Синтанол ДС-10</b>	<b>Синтаמיד-5</b>	<b>Синтанол ДС-10 + синтаמיד-5</b>
0,05	1,00	0,78	0,86
0,1	0,84	0,64	0,73
0,15	0,76	0,60	0,66
0,25	0,95	0,73	0,85

Таблица 3 – Солюбилизационные емкости (СЕ) компонентов сульфатного мыла (4:1) в присутствии НПАВ

<b>С (4:1)</b>	<b>Синтанол ДС-10</b>	<b>Синтаמיד-5</b>	<b>Синтанол ДС-10 + синтаמיד-5</b>
0,06	0,78	0,80	0,73
0,12	0,74	0,74	0,70
0,15	0,76	0,76	0,71
0,25	0,72	0,72	0,67

Таблица 4 – Солюбилизационные емкости (СЕ) компонентов сульфатного мыла в присутствии синтанола АЛМ-7

<b>С, %</b>	<b>СЕ, г/г</b>	
	<b>3:1</b>	<b>4:1</b>
0,1	0,84	0,88
0,2	0,67	0,82
0,3	0,66	0,83
0,5	0,81	0,76

При увеличенном содержании смоляных и жирных кислот в смешанной системе компонентов сульфатного мыла длина оксиэтилированной цепочки ПАВ не влияет на солюбилизационную емкость растворов.

Резюмируя проведенные исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания смоляных и жирных кислот в смешанных системах с нейтральными веществами приводит к увеличению солюбилизационной емкости.
2. При дополнительном включении нейтральных веществ появляется вторая область ККМ вследствие увеличения гидрофобной части мицеллы.
3. Обнаружена зависимость солюбилизационной емкости от длины оксиэтилированной цепочки НПАВ при различных соотношениях компонентов смешанной системы. С увеличением количества оксиэтилированных групп возрастает солюбилизационная емкость.

#### Список литературы

1. Back E. L., Allen H. L. Pitch control, wood resin and deresination. Atlanta, Tappi, 2000, 392 p.
2. Богомолов Б. Д., Буцаленко В. С., Остащенко М. И., Мариев А. А. Направление использования таллового пека // Лесохимия и подсочка (обзор. информ.). ВНИПИЭИлеспром, 1989. № 1. 28 с.
3. Патент РФ 2744382. МПК С11В 13/00. Способ получения мыла из черных щелоков сульфатного производства / Е. Ю. Демьянцева, О. С. Андранович, Р. А. Смит, В. С. Пугаев; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД)" Заявлено 23.03.2020; опубл. 09.03.2021, Бюл. № 7. 8 с.
4. Смит Р. А., Демьянцева Е. Ю., Андранович О. С., Филиппов А. П. Особенности солюбилизирующего действия амфифильных соединений при обессмоливании

целлюлозы // Лесной журнал. 2021. № 1. С. 180-191. DOI:10.37482/0536-1036-2021-1-180-191.

5. Попова Л. М., Курзин А. В., Вершилов С. В., Евдокимов А. Н. Химия и технология органических веществ на основе побочных продуктов ЦБП: учеб. пособие. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 61 с.
6. Андранович О. С., Демьянцева Е. Ю., Филиппов А. П., Смит Р. А. Деэмульгирование сульфатного мыла при введении неионогенного поверхностно-активного вещества // Лесной журнал. 2019. №6. С. 224-232. DOI:10.17238/issn0536-1036.2019.6.224.

## VISCOSITY AND SOLUBILIZING ABILITY OF MIXED SYSTEMS SOLUTIONS BASED ON SULPHATE SOAP COMPONENTS WITH ADJUSTABLE ADDITION OF NONIONIC SURFACTANTS

R. A. Smit, O. S. Yakubova, E. Yu. Demyantseva, M. S. Ashirova, D. S. Ganeva  
*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*  
E-mail: zz1234567@yandex.ru

At the present time non-waste industry is an important ecological and economic development indicator almost every industry. Pulp and paper industry is badly in need of the introduction of technologies leading to the maximum extraction of valuable by-products (in particular, sulphate soap) of improved quality. The paper presents a study of the viscosity and solubilization capacity of solutions of sulphate soap model components with and without nonionic surfactants with varying degrees of oxyethylation as promising demulsifiers that increase the yield of sulphate soap. It has been found that it is better to use individual surfactants rather than mixtures of them. Colloidal-chemical trends of mixed micelle formation in such complex systems have been investigated.

**Keywords:** sulphate soap, деэмульгирование, nonionic surfactants, solubilization

### References

1. Back E. L., Allen H. L. *Pitch control, wood resin and deresination*. Atlanta, Tappi, 2000, 392 p.
2. Bogomolov B. D., Butsalenko V. S., Ostashenko M. I., Mariyev A. A. Napravlenie ispol'zovaniya talloвого peka [Direction of Use of Tall Oil Pitch]. *Lesokhimiya i podsochka (obzornaya informatsiya)*, 1989, no. 1, 28 p. (In Russian)
3. Dem'yantseva E. Yu., Andranovich O. S., Smit R. A., Pugaev V. S. *Sposob polucheniya myla iz chernykh shchelokov sul'fatnogo proizvodstva* [Method of producing soap from black liquors of sulphate production]. Patent RF no. 2744382, 2021. (In Russian)
4. Smit R. A., Demiantseva E. Yu., Andranovich O. S., Filippov A. P. Osobennosti solyubiliziruyushchego deystviya amfifil'nykh soedineniy pri obessmolivanii tsellyulozy [Features of Solubilizing Effect of Amphiphilic Compounds during Pulp Deresination]. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 1, pp. 180–191. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-180-191. (In Russian).
5. Popova L. M., Kurzin A. V., Vershilov S. V., Evdokimov A. N. *Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv na osnove pobochnykh produktov TsBP* [Chemistry and technology of organic substances based on by-products of PPI]: study guide. HSTE SPbSUITD. Saint-Petersburg, 2016. 61 p. (In Russian).
6. Andranovich O. S., Dem'yantseva E. Yu., Filippov A. P., Smit R. A. Deemul'girovanie sul'fatnogo myla pri vvedenii neinogennogo poverkhnostno-aktivnogo veshchestva [Sulphate Soap Demulsifying with Addition of Non-Ionic Surfactant]. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 224–232. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.224. (In Russian).

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В СФЕРЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ**

А. И. Александрова, Ю. Ю. Кулебакина\*

*Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург*

*E-mail: juliakulebakina99@mail.ru*

В связи с нововведениями в социально-трудовой сфере и развитием профессиональных стандартов организации сталкиваются с рядом проблем, связанных с пониманием стандартов и способами их внедрения.

*Ключевые слова: профессиональные стандарты, системы менеджмента, система менеджмента качества, система менеджмента безопасности труда и охраны здоровья, обязательное применение.*

На данном этапе экономического развития и социально-трудовой сферы в Российской Федерации были произведены изменения в отношении профессиональных стандартов: был пересмотрен и обновлен реестр профстандартов, а именно, некоторые стандарты теперь имеют статус «утратил силу», были разработаны новые стандарты, пересмотрены и отредактированы уже существующие, которые вступили в силу в 2021 году.

Согласно Трудовому кодексу РФ профессиональный стандарт – документ, содержащий в себе характеристику квалификации, необходимой работнику для осуществления своей профессиональной деятельности и выполнения своих трудовых функций, а квалификация работника, в свою очередь, определяется уровнем знаний, умений и профессиональных навыков работника [1].

Профессиональный стандарт включает в себя:

- основную цель вида профессиональной деятельности;
- четкое отнесение профессии к виду экономической деятельности;
- описание трудовых функций;
- характеристику обобщенных трудовых функций: требования к образованию, к опыту практической работы, а также особые условия допуска к работе;
- описание необходимых знаний и умений.

Таким образом, профессиональные стандарты дают четкое понимание работодателям требований, которые они должны предъявлять к соискателям, а соискателю понимание соответствия его квалификации требованиям профессионального стандарта к профессии.

С помощью профстандартов развивается тенденция к мотивации персонала к постоянному повышению квалификации и самосовершенствованию с целью карьерного роста, так как вследствие повышения в должности повышается и заработная плата, но помимо положительных сторон существуют и различные проблемы с внедрением стандартов в организации.

Первая проблема, с которой сталкиваются организации, – это определение обязанности применять профессиональный стандарт на законодательном уровне и определение пользы от внедрения профессионального стандарта в целом. Так как законодательная база не имеет четкого определения обязанности применения профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда», но при этом в Трудовом кодексе РФ устанавливается требование по созданию отдела по охране труда и введению данной должности при наличии штатных сотрудников свыше 50 человек, а также, согласно Кодексу Российской Федерации об административных правонарушениях, на организацию накладывается штраф за неосуществление оценки профессиональных рисков [2].

Таким образом, каждая организация определяет для себя внедрение нового профстандарта «Специалист в области охраны труда» обязательным и сталкивается с другими проблемами, связанными с внедрением самого стандарта.

Вторая проблема – это определение структуры отдела охраны труда, но благодаря использованию рекомендаций от Министерства труда, данный процесс намного упрощается. Например, Постановление Минтруда России от 08.02.2000 № 14 «Об утверждении Рекомендаций по организации работы Службы охраны труда в организации» содержит в себе следующую информацию:

- общие положения о службе охраны труда;
- основные задачи службы охраны труда;
- функции службы охраны труда;
- права работников службы охраны труда;
- организация работы службы охраны труда.

Третья проблема – это определение численности отдела. Не каждый руководитель организации знает о требованиях к численности сотрудников в отделе охраны труда и как правильно определить эту численность. Рекомендации по расчету нормативной численности работников службы охраны труда в организации приведены в Постановлении Минтруда России от 22.01.2001 N10 «Об утверждении Межотраслевых нормативов численности работников службы охраны труда в организациях», где численность отдела зависит от количества работников организации и числа работников, занятых в тяжелых или связанных с вредными условиями труда работах.

Четвертая проблема связана с нововведениями в профессиональном стандарте, так как новый стандарт содержит в себе новую квалификацию и новые требования к образованию. Руководителю организации нужно эффективно и малозатратно произвести переподготовку персонала и повышение квалификации, а в некоторых случаях произвести новый набор кадров. Также изменена была и цель деятельности, а именно, она была дополнена новой обязанностью специалиста – управление профессиональными рисками. Это означает, что оценку риска теперь должен проводить специалист по охране труда, которая включает в себя:

- идентификацию опасностей;
- оценку уровней рисков;
- разработку мероприятий по снижению или устранению риска.

Пятая проблема – это пересмотр или разработка внутренней документации. Данный процесс включает в себя переработку (или разработку) всей существующей документации, связанной с трудовой деятельностью: штатное расписание, трудовой договор, должностные инструкции, наименование должностей. Пересмотр состава и численности отделов приведет к разработке новой организационной структуры, а документально-оформленные функции должностей и обязанностей работников с присваиванием соответствующего разряда влекут за собой пересмотр системы оплаты труда. Такую проблему, к сожалению, никак не избежать.

Каждому руководителю организации придется выделить время на пересмотр и актуализацию внутренней документации, но чтобы сэкономить время, можно эффективно распределить обязанности данного процесса среди сотрудников организации или передать процесс на аутсорсинг.

Внедрение профессионального стандарта – это трудоемкий процесс, требующий много времени на разработку или актуализацию внутренней документации. Несмотря на Постановления Минтруда России, связанные с охраной труда, которые облегчают процесс внедрения профессионального стандарта и создают основу для эффективного функционирования отдела охраны труда, руководителям организации нужно приложить усилия, чтобы создать атмосферу безопасного труда, где работники имеют мотивацию соблюдать требования безопасности, а руководящее звено создает безопасные условия труда.

Эффективно функционирующий отдел охраны труда положительно влияет на организацию в целом, так как, создавая безопасные условия труда, предприятие позволяет сотруднику приобрести уверенность в своей работе, потому что в процессе его деятельности с ним не произойдет несчастный случай или получение травмы. Осознание данного факта позволяет повысить работоспособность персонала, так как здоровый, уверенный в себе человек, работающий в комфортных условиях, производит более качественную продукцию. В свою очередь выпуск качественной продукции повышает конкурентоспособность организации и ее имидж, а безопасные условия труда привлекают высококвалифицированных работников.

#### Список литературы

1. Российская Федерация. Трудовой кодекс № 197-ФЗ // Российская газета. 2001. № 2868.
2. Российская Федерация. Кодекс Об административных правонарушениях: Кодекс Российской Федерации № 195-ФЗ // Российская газета. 2001. № 2868.

#### **PROBLEMS OF APPLICATION OF PROFESSIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH MANAGEMENT SYSTEM**

A. I. Alexandrova, Yu. Yu. Kulebakina\*  
University ITMO, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: juliakulebakina99@mail.ru

Due to innovations in the social and labor sphere and the development of professional standards, organizations face a number of problems related to understanding standards and ways to implement them.

**Keywords:** *professional standards, management systems, quality management system, occupational safety and health management system, mandatory application.*

#### **References**

1. Rossiyskaya Federatsiya. Trudovoy kodeks № 197-FZ. *Rossiyskaya gazeta*, 2001, № 2868. (In Russian).
2. Rossiyskaya Federatsiya. Kodeks. Ob administrativnykh pravonarusheniyakh. Kodeks Rossiyskoy Federatsii № 195-FZ. *Rossiyskaya gazeta*, 2001, № 2868. (In Russian).

## **НОРМИРОВАНИЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

М. С. Строганова\*, И. В. Антонов

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: masha1994707@list.ru*

В работе произведена оценка качества природных вод Ладожского озера и дан прогноз его изменения в месте начального и основного разбавления сточных вод сульфатного целлюлозного завода с использованием методов математического моделирования процессов биохимического окисления органического вещества. Получены результаты в ходе экспериментально-теоретического обоснования показателей биохимического окисления органических веществ сточных вод, которые позволили создать базу данных для расчета процессов трансформации органического вещества. Выбран и обоснован новый коэффициент учета деятельности микроорганизмов ( $\gamma$ ) в процессах биохимического окисления органических веществ в стоках сульфат-целлюлозного производства, который позволил точнее рассчитать скорость окисления органического вещества. Разработана трехкомпонентная модель биохимического окисления сточных вод сульфат-целлюлозного производства на основе экспериментальных данных с учетом количества микроорганизмов, участвующих в процессах окисления. Разработанная методика оценки процесса трансформации органического вещества в сточных водах применима в условиях влияния стоков предприятия для целей прогноза и нормирования качества водных экосистем, на которые оказывается техногенное воздействие, и позволяет сократить количество органических соединений при сбросе сточных вод в водоем. Исследование проводилось на основе комплекса природных, антропогенных, эколого-территориальных параметров и лимитирующих факторов.

*Ключевые слова: нормирование сброса сточных вод, трехкомпонентная модель, биохимическое окисление органических веществ, сульфат-целлюлозное предприятие.*

В настоящее время важным вопросом является разработка методики оценки трансформации органического вещества в рамках формирования современной методики эколого-технологического нормирования с применением средств математического моделирования, обеспечивающих получение оценок состояния природно-производственных объектов и их ранжирование на бассейновом уровне.

Одним из основных источников поступления органических веществ являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, в составе сточных вод которых содержится преимущественно комплекс органических соединений, и при попадании вместе со сточной водой в природные водные экосистемы они начинают трансформироваться до других соединений, в том числе токсичных для экосистем. В работе будет предложен подход к контролю и оценке трансформации загрязняющих веществ в окружающей природной среде [1].

В соответствии с изменением природоохранного законодательства вопрос минимизации негативного воздействия предприятий на экосистему водного объекта неразрывно связан с изучением вопроса трансформации и превращения загрязняющих веществ в воде с учетом гидрологических характеристик. Воздействие целлюлозного производства определяется качеством используемого сырья – древесина, щепа, химические реагенты, вода – технологическим процессом производства целлюлозы, бумаги, картона, а также побочных продуктов и применяемыми природоохранными технологиями [2].

В работе предложен подход к нормированию допустимого сброса сточных вод, в котором учитываются превращения органических веществ под действием микроорганизмов

и других факторов, что отличает данный подход от существующих методов математического моделирования, основанных на моно- и бимолекулярных уравнениях, учитывающих только гидрохимические параметры окисления органического вещества и не включающие в себя микробиологическую составляющую процесса окисления [3-4].

Первоочередным при оценке трансформации органических веществ осуществляется идентификация параметров модели биохимического окисления сточных вод, основанная на ранее рассмотренных моделях [1, 5], с учетом не только показателей органического вещества, растворенного кислорода, но и концентрации микроорганизмов, участвующих в процессе биохимического окисления (1).

$$\frac{dC_{OB}}{dt} = -kC_{OB}^m C_{O_2}^n C_B^p, \quad (1)$$

где  $k$  – константа биохимического окисления органических соединений;

$C_{OB}$  – концентрация органического вещества, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{O_2}$  – концентрация растворенного кислорода мг/дм<sup>3</sup>;

$C_B$  – концентрация микроорганизмов, мг/дм<sup>3</sup>, при этом  $C_B = m_B * C_B^*$ ;

$m_B$  – масса микроорганизмов в пробе, мг;

$C_B^*$  – концентрация микроорганизмов, содержащихся в 1 дм<sup>3</sup> воды, участвующих в процессе окисления;

$m$ ,  $n$ ,  $p$  — константы, соответственно, для показателя органического вещества, растворенного кислорода и концентрации микроорганизмов, определяются эмпирическим путем по экспериментальным данным.

Для учета микроорганизмов авторами была предложена трехкомпонентная модель, основанная на бимолекулярной модели и включающая третий компонент, учитывающий влияние микроорганизмов на процессы окисления [5]. На основе экспериментальных данных о количестве микроорганизмов, участвующих в ходе окисления, в модель вводится новый коэффициент учета микроорганизмов в ходе процесса окисления органического вещества ( $\gamma$ ), который отражает скорость окисления органического вещества.

В общем виде новая трехкомпонентная модель представлена системой уравнений (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_{OB}}{dt} = -\alpha \cdot C_{OB} \cdot C_{O_2} \cdot C_B \\ \frac{dC_{O_2}}{dt} = -\alpha \cdot C_{OB} \cdot C_{O_2} \cdot C_B + \beta \cdot (C_{O_2np} - C_{O_2}), \\ \frac{dC_B}{dt} = -\alpha \cdot C_{OB} \cdot C_{O_2} \cdot C_B + \beta \cdot (C_{O_2np} - C_{O_2})^2 - \gamma \cdot C_B \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $C_{OB}$  – концентрация органического вещества, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{O_2}$  – концентрация растворенного в воде кислорода, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_B$  – концентрация микроорганизмов, участвующих в процессе биохимического окисления, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{O_2np}$  – предельное содержание растворенного в воде кислорода при данной температуре, мг/дм<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коэффициент биохимического окисления для бимолекулярной и тримолекулярной моделей, мг<sup>2</sup>/(л<sup>2</sup>\*сут);

$\beta$  – коэффициент реэрации для бимолекулярной и тримолекулярной моделей, мг/(л\*сут);

$\gamma$  – коэффициент учета микроорганизмов в ходе процессов окисления, определяется экспериментальным путем, сут<sup>-1</sup>.

При реализации разработанной модели в качестве исходных данных принимаются: температура, глубина, концентрация органического вещества, растворенного кислорода,

концентрации микроорганизмов, коэффициенты биохимического окисления ( $k_1$ ), реаэрации ( $k_2$ ).

Трехкомпонентная модель применима для условий высокого содержания органического вещества, превышающего значение ПДК<sub>рыбхоз</sub> в месте выпуска сточных вод с целью прогноза его утилизации под воздействием растворенного кислорода и микроорганизмов до контрольного створа. Интегральный показатель БПК, характеризующий легкоокисляемую фракцию органических соединений, и лигнин сульфатный, характеризующий трудноокисляемую фракцию, являются специфичными для контроля природных и сточных вод сульфат-целлюлозного производства.

Для идентификации параметров модели анализ проб воды проводился на базе аккредитованной лаборатории для следующих показателей – растворенный кислород, температура, лигнин сульфатный, биохимическое потребление кислорода (БПК), нитрит-ионы, как индикаторы процесса утилизации органического вещества. Для оценки параметров модели исследовались кинетические зависимости процессов окисления органического вещества от времени при взаимовлиянии концентрации растворенного кислорода и микроорганизмов. Для определения концентрации растворенного кислорода, требуемого на окисление легкоокисляемого органического вещества в пробе с пересчетом в БПК, использовался стандартизированный метод йодометрического титрования согласно методике ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Для оценки процесса нитрификации параллельно проводились лабораторные исследования на содержание нитрит-ионов по методике ПНДФ14.1:2:43-95. Лигнин сульфатный определялся фотометрическим методом согласно ПНД Ф 14.1:2.216-06.

Определение количества клеток микроорганизмов проводилось по методу Коха путем высева на питательную среду для мезофильных аэробных микроорганизмов и факультативных анаэробов. Основная часть микроорганизмов (82 %), обнаруженных в ходе исследований в зоне влияния сточных вод, относится к палочковидным формам, большая часть которых попадает в природные воды вместе со сточными из системы биологической очистки. Оставшаяся часть микроорганизмов относится к сапрофитам, населяющим водоем, и составляет 18 %, которые питаются продуктами распада органических веществ. Результаты количественного определения микроорганизмов, проведенного по методу Коха, выражают в колониеобразующих единицах (КОЕ) в 1 см<sup>3</sup> исследуемого субстрата.

В процессе исследования было проанализировано несколько групп точек от места глубинного рассеивающего выпуска сточных вод до контрольного створа, а также в фоновом створе водного объекта. Для охвата всей водной толщи выбраны места отбора проб на разных горизонтах, а также на различных удалениях от места выпуска сточных вод. Статистическая обработка данных проведена на основе сравнения двух временных периодов – лето 2019 и 2020 гг. и весна 2020 и 2021 гг. по критерию Стьюдента. Выявлено, что различия сравниваемых величин статистически не значимы.

Идентификация параметров трехкомпонентной модели биохимического окисления органического вещества щелочесодержащих сточных вод от места выпуска сточных вод до контрольного створа проведена на основе экспериментальных данных, полученных в ходе исследования. Рассчитаны коэффициенты биохимического окисления ( $k_1$ ) для показателей БПК и лигнин сульфатный по методу Базякиной Н. А. [6].

Расчетные участки определены с помощью кинетической кривой. По результатам расчета  $k_1$  можно сделать вывод о том, что значение константы окисления для обоих показателей увеличивается в процессе окисления и достигает максимума на двадцатые сутки. Результаты расчета  $k_1$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов биохимического окисления для БПК и лигнина сульфатного

Участок	Сутки	Коэффициент $k_1$ по БПК, сут <sup>-1</sup>	Коэффициент $k_1$ по лигнину сульфатному, сут <sup>-1</sup>
1	0-4	0,061	0,0030
2	4-5	0,159	0,0038
3	5-16	0,180	0,0049
4	16-20	0,244	0,0060

Согласно рассчитанным значениям констант окисления легкоокисляемых органических соединений, выраженным в показателе БПК, с третьих по пятые сутки скорость окисления выше, чем с пятых по двадцатые сутки, что указывает на то, что в исследуемой среде созданы температурные и кислородные условия, позволяющие переработать вещества.

В зоне разбавления сточных вод средние значения скорости окисления лигнина сульфатного за 20 суток оказались в пределах 0,003-0,006 сут<sup>-1</sup>. Значения скорости окисления лигнина сульфатного значительно ниже, чем значения скорости окисления БПК, что говорит о сложном химическом составе трудноокисляемых лигнинных соединений и, как следствие, более длительном протекании процессов деструкции вещества. Значение  $k_1$  в месте выпуска сточных вод составило 1,8 сут<sup>-1</sup>. Расчетным путем согласно методу О'Коннера-Доббинса рассчитан коэффициент реаэрации  $k_2$  для исследуемой зоны, который зависит от глубины и скорости течения [3, 6]. Для исследуемой зоны влияния коэффициент  $k_2$  равен 0,4 сут<sup>-1</sup>. Исходные данные для расчета задачи биохимического окисления органического вещества представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для решения трехкомпонентной модели

Показатель	t	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$k_1$	$k_2$	$c_{O_2np}$	v	H
	°C	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	млн шт./дм <sup>3</sup>	сут <sup>-1</sup>	сут <sup>-1</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	м/с	м
БПК <sub>5</sub>	14,3	5,5	5,7	4,4	0,200	0,4	10,2	0,67	19,0
Лигнин сульфатный	14,3	16,0	5,7	4,4	0,006	0,4	10,2	0,67	19,0

где  $x_0 - c_1$  – значение показателя  $OB$ ,  $x_1 - c_2$  – концентрация растворенного кислорода,  $x_3 - c_3$  – концентрация микроорганизмов, выраженная в КОЕ.

Задача идентификации параметров модели сводится к определению коэффициента учета микроорганизмов в ходе процессов окисления и трансформации органического вещества. Для расчета коэффициента  $\gamma$ , учитывающего количество микроорганизмов в ходе окисления, использовано программное обеспечение *MathCAD 15*. Методика идентификации параметров модели представлена на рисунке 1.

В результате моделирования и апробации трехкомпонентной модели расчетным путем получен коэффициент  $\gamma$ , отражающий полноту биохимического окисления органического вещества с учетом взаимовлияния трех компонентов: органического вещества, растворенного кислорода и микроорганизмов, участвующих в процессе окисления.

Значения коэффициента  $\gamma$  для показателя БПК<sub>5</sub> согласно проделанным исследованиям равно 0,45 сут<sup>-1</sup>, для лигнина сульфатного равно 0,03 сут<sup>-1</sup>, это показывает, что скорость окисления легкоокисляемого органического вещества (по БПК) выше, чем трудноокисляемого (сульфатный лигнин, образующийся в процессе сульфатной варки целлюлозы, относится к практически небиodeградируемым органическим веществам). Данный коэффициент характеризует степень трансформации загрязняющего вещества.

Трехкомпонентная модель позволяет рассчитать параметры биохимического окисления загрязняющих веществ сточных вод, в том числе коэффициент учета микроорганизмов, и установить зависимости между величиной органического вещества,

растворенного кислорода и количеством микроорганизмов в пробе в определенный момент времени.

С учетом проведенных натурных исследований и разработанной модели предлагается следующая методика оценки трансформации органического вещества в водном объекте, включающая в себя несколько взаимосвязанных между собой этапов. На первом этапе определяются участок водного объекта, где наблюдается техногенная нагрузка от производства, границы зоны исследования, расчетная схема с указанием точек контроля. Далее приводятся репрезентативные показатели качества воды исследуемой зоны, сбор данных и замеры по гидрохимическим и микробиологическим параметрам в зонах начального и основного разбавления. Формируется база экспериментальных данных по параметрам, отражающим специфику сточных вод (БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>полн</sub>, ХПК, лигнин сульфатный, нитрат-ионы, нитрит-ионы, растворенный кислород, количество микроорганизмов, выраженное в КОЕ).

Далее осуществляется ввод исходных данных в трехкомпонентную модель: величины органического вещества (на примере БПК<sub>5</sub> и лигнина сульфатного), концентрации растворенного кислорода, количества микроорганизмов, участвующих в процессах окисления, коэффициентов биохимического окисления, коэффициента реаэрации с учетом температурного режима – и проводится расчет параметров модели для получения коэффициентов трансформации органического вещества при участии микроорганизмов ( $\gamma$ ).

На заключительном этапе получения результатов моделирования и формирования выводов по скорости трансформации органического вещества проводится сравнительная оценка скорости окисления органического вещества от места выпуска до контрольного створа с целью оценки процесса утилизации загрязняющего органического вещества (рис. 1, 2). Следует отметить, что необходимо учитывать не только химическую трансформацию вещества, но и процессы перемешивания в толще воды и осаждения. Процедура эколого-технологического нормирования сточных вод завершается сравнением с нормативом репрезентативных показателей в контрольном створе и предложением мероприятий по корректировке технологических параметров производства и систем очистки согласно наилучшим доступным технологиям в рассматриваемой отрасли.

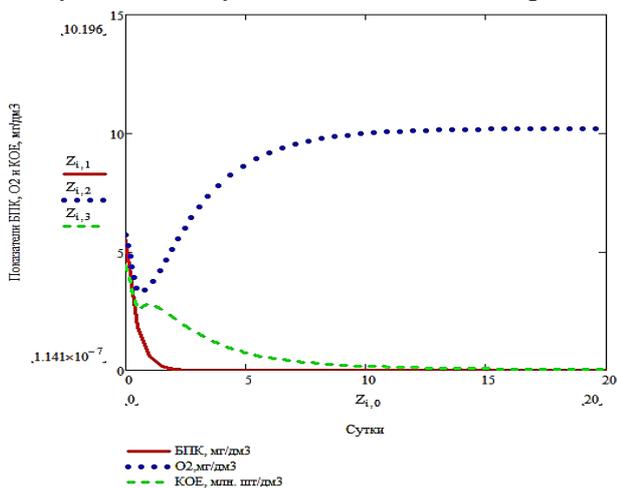


Рисунок 1 – Трансформация легкоокисляемого вещества (БПК) в зависимости от O<sub>2</sub> и КОЕ

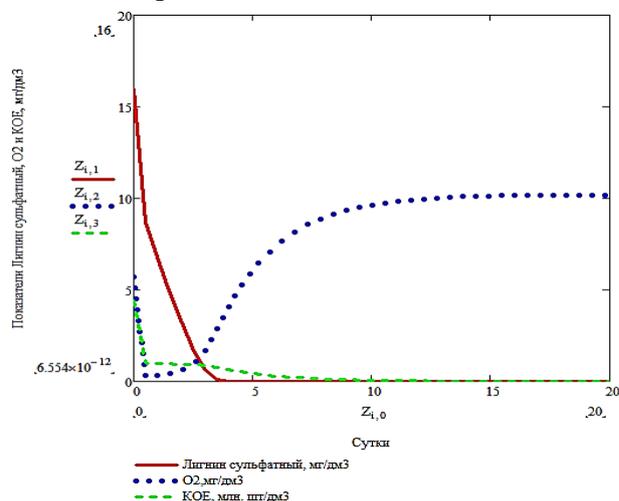


Рисунок 2 – Трансформация сульфатного лигнина в зависимости от O<sub>2</sub> и КОЕ

Результаты моделирования позволяют включить в расчет эколого-технологических нормативов новую модель и методику оценки трансформации органического вещества на основании изменения исследуемого вещества.

### Выводы

На примере стоков сульфат-целлюлозного завода рассмотрен процесс утилизации растворенного органического вещества и динамики потребления кислорода стоков целлюлозного завода в зоне влияния рассеивающего выпуска по репрезентативным

показателям: БПК<sub>5</sub>, лигнин сульфатный с участием микроорганизмов и растворенного кислорода. Определены константы биохимического окисления органического вещества ( $k_1$ ) по показателям БПК<sub>5</sub> и лигнина сульфатного и коэффициент реэрации ( $k_2$ ) от места выпуска до контрольного створа. Введен и рассчитан новый коэффициент учета микроорганизмов в ходе процессов биохимического окисления ( $\gamma$ ). Предложена новая трехкомпонентная модель биохимического окисления органических веществ в сточных водах сульфат-целлюлозного производства и реализована на примере БПК<sub>5</sub> и лигнина сульфатного. На основе новой трехкомпонентной модели разработана методика оценки трансформации органических веществ, которая позволяет сократить их количество от сульфат-целлюлозного завода при внедрении наилучших доступных технологий за счет разработки научно-методического подхода к нормированию сточных вод.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90128.*

#### Список литературы

1. Шишкин А. И., Строганова М. С. Идентификация показателей соизмеримости качества сбрасываемых очищенных стоков ЦБП с технологическими параметрами природоемкости производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 256-269.
2. Боголицын К. Г., Москалюк Е. А., Костогоров Н. М., Шульгина Е. В., Иванченко Н. Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 343–352. DOI:10.14258/jcprgm.202102787.
3. Дружинин Н. И., Шишкин А. И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 329 с.
4. Готовцев А. В. Определение скорости биохимического окисления и биохимической потребности в кислороде табличным методом // сборник трудов по мат. Конференции. Карельский научный центр Российской академии наук, 2015. С. 263-272.
5. Строганова М. С. Трехкомпонентная модель биохимического окисления органических веществ сточных вод ЦБП в зонах начального и основного разбавления // Вестник СПГУТД. Серия 1. Естественные и технические науки. 2021. № 2. С. 61–65.
6. Базякина Н. А. Расчет константы скорости потребления кислорода при определении БПК сточной жидкости // Санитарная техника. 1933. № 2. С. 17-24.

#### **RATIONING OF WASTEWATER DISCHARGE OF A SULFATE-PULP PLANT TAKING INTO ACCOUNT THE PROCESSES OF ORGANIC COMPOUNDS TRANSFORMATION**

M. S. Stroganova, I. V. Antonov

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: masha1994707@list.ru*

The study was conducted on the basis of a complex of natural, anthropogenic, ecological and territorial parameters and limiting factors. The forecast and assessment of the quality of the natural water of the lake at the site of the initial and main dilution of the wastewater of the sulfate-pulp plant using methods of mathematical modeling of the processes of biochemical oxidation of organic matter are given. The results were obtained in the course of experimental and theoretical substantiation of indicators of biochemical oxidation of organic substances of wastewater, which made it possible to create a database for calculating the processes of transformation of organic matter. A new coefficient of accounting for the activity of microorganisms ( $\gamma$ ) in the processes of biochemical oxidation of organic substances in the effluents of sulfate-pulp plant was selected and justified, which made it possible to more accurately calculate the rate of oxidation of organic

matter. A three-component model of biochemical oxidation of wastewater from sulfate-pulp plant has been developed based on experimental data, taking into account the number of microorganisms involved in the oxidation processes. The developed methodology for assessing the process of transformation of organic matter in wastewater is applicable under the influence of the effluents of the plant for the purposes of forecasting and rationing the quality of aquatic ecosystems affected by man-made impacts, and allows reducing the amount of organic compounds when wastewater is discharged into the reservoir.

**Keywords:** *rationing of wastewater discharge, three-component model, biochemical oxidation of organic substances, sulfate-pulp plant.*

*The reported research was funded by the Russian Foundation for Basic Research; Project No. 19-35-90128.*

### References

1. Shishkin A. I., Stroganova M. S. Identifikaciya pokazatelej soizmerimosti kachestva sbrasyvaemyh ochishchennyh stokov CBP s tekhnologicheskimi parametrami prirodnoemkosti proizvodstva [Identification of indicators of comparable quality discharging treated effluents from the pulp and paper process parameters of nature intensity of production]. *Bulletin of Saint-Petersburg forestry Academy*, 2021, vol. 235, pp. 256-269. (In Russian).
2. Bogolitsyn K. G., Moskaliuk E. A., Kostomarov N. M., Shulgin E. V., Ivanchenko N. L. Primenenie integral'nyh pokazatelej kachestva stochnyh vod dlya vnutri proizvodstvennogo ekologo-analiticheskogo kontrolya proizvodstva cellyulozy [The use of integrated indicators of the quality of wastewater for industrial environmental and analytical monitoring of the production of pulp]. *Chemistry of plant raw materials*, 2021, no. 2, pp. 343-352. DOI:10.14258/jcprm.202102787. (In Russian).
3. Druzhinin N. I., Shishkin A. I. *Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie zagryazneniya poverhnostnyh vod sushhi* [Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1989, 329 p. (In Russian).
4. Gotovtsev A. V. Opredelenie skorosti biohimicheskogo okisleniya i biohimicheskoy potrebnosti v kislorode tablichnym metodom [Determination of the rate of biochemical oxidation and biochemical oxygen demand by the tabular method]. Proceedings of the Conference, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2015, pp. 263-272. (In Russian).
5. Stroganova M. S. Trekhkomponentnaya model' biohimicheskogo okisleniya organicheskikh veshchestv stochnyh vod CBP v zonah nachal'nogo i osnovnogo razbavleniya [A three-component model of biochemical oxidation of organic substances of waste water of the PPI in the zones of initial and basic dilution]. *Bulletin of the SPbSUITD. Series 1. Natural and technical sciences*, 2021, no. 2, pp. 61-65. (In Russian).
6. Bazyakina N. A. Raschet konstanty skorosti potrebleniya kisloroda pri opredelenii BPK stochnoj zhidkosti [Calculation of the oxygen consumption rate constant in determining the BOD of the waste liquid]. *Sanitary equipment*, no. 2, 1933, pp. 17-24. (In Russian).

## ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНОПЛЯ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. СТРОЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ

Э. Л. Аким, Д. Ю. Уварова\*, Т. В. Орехова, Е. А. Бобкова

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: uvarovadarya17@ya.ru*

В советские годы техническая конопля являлась одной из основных сельскохозяйственных культур, но из-за содержания наркотического вещества тетрагидроканнабинола (ТГК) посевы стали резко сокращаться, а в 1960 году растение в СССР полностью запретили. После постановления Правительства РФ от 20 июля 2007 г. № 460 полностью разрешили культивировать такие сорта технической конопля, как южная и среднерусская (содержание в них ТГК минимально – не более 0,1 %).

Техническая конопля обладает рядом существенных преимуществ: высокое содержание целлюлозы в стебле; стебель и волокна обладают хорошими прочностными характеристиками; экологична, безвредна для человека и окружающей среды, благоприятно влияет на почву; быстрорастущая, можно собирать несколько урожаев за год; менее требовательна к уходу при выращивании, то есть экономична; возобновляемый природный ресурс.

В статье рассмотрены особенности строения технической конопля, приведены данные по химическому составу стебля. Исследования проводились на базе лабораторий ВШТЭ СПбГУПТД. На основании полученных данных были определены перспективы дальнейшего применения технической конопля, в том числе и в целлюлозно-бумажной промышленности. В дальнейшем в лабораториях университета были проведены лабораторные опытные варки технической конопля в белом щелоке и получены образцы бумаги.

*Ключевые слова: техническая конопля, целлюлоза, бумага, бумага из конопля, биорефайнинг.*

Наиболее распространенным сырьем для производства бумаги и картона на сегодняшний день является древесина, однако у древесно-бумажного производства есть свои недостатки, например, медленная скорость роста древесины и долгосрочный ущерб экологии из-за массовой вырубки лесов. В связи с этим актуален вопрос поиска альтернативных источников бумажного сырья.

Дешевым, безопасным и перспективным сырьем для производства бумаги и других целлюлозно-композиционных материалов может стать техническая ненаркосодержащая конопля. После постановления Правительства РФ от 20 июля 2007 г. № 460 «Об установлении сортов наркосодержащих растений, разрешенных для культивирования в промышленных целях, и определяющие требования к сортам конопля, условиям их культивирования и использования» полностью разрешили культивировать такие сорта технической конопля, как южная и среднерусская. Отличия этих видов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Отличие южной конопля от среднерусской конопля

Характеристики	Южная	Среднерусская
Стебель	Темно-зеленый, шестигранный, ребристый	Четырех- или шестигранные, приобретающие желто-зеленый цвет
Лист	Обладает темно-зеленым оттенком, 7 – 11 длинными широкими долями	Обладает ярко-зеленым оттенком, 5 – 7 длинными узкими долями

Характеристики	Южная	Среднерусская
Соцветия	Иногда со слабым фиолетовым оттенком	Соцветия компактные
Высота стебля	3,5 – 4 м	125 – 250 см, не ветвистый
Семена, урожайность, кг/га	Темно-серые, мозаичность выражена ярко, крупные, масса 1000 семян около 20-22 кг	Светло-серые, мозаичность слабо выражена масса 1000 семян около 13 – 18 кг
Вегетационный период	130 – 160 дней	Не более 120 дней
Содержание ТГК	Не более 0,1 %	Не более 0,1 %
Свойства сорта	Слабо повреждается конопляной блохой и не повреждается заразой. Обладает высоким урожаем волокна, низким урожаем семян и продолжительным вегетационным периодом	Неустойчивый к заразахе, сильно повреждается конопляной блохой, обладает малым вегетационным периодом

Главным достоинством коноплеводства является то, что для получения хороших урожаев не используют пестициды. За 110 дней растение технической конопли достигает в высоту от 2 до 4 метров, что позволяет получать несколько урожаев за сезон. В то время как срок созревания леса 80-100 лет. Благодаря этому она имеет преимущество перед другими культурами, т.к. является экологичной и быстрорастущей.

Общий вид куста технической конопли (рис. 1, слева) представляет собой: корневую систему, стебель, листья, семена, соцветия и цветки. Техническая конопля обладает стройной кустистостью и высоким стеблем [1]. У растения стержневая корневая система (главный корень длиннее и толще боковых) (рис. 1, справа), это позволяет растению получать влагу и питание из глубоких слоев почвы, что делает растение не прихотливым и не требовательным к поливу.



Рисунок 1 – Общий вид куста технической конопли (слева) и корневая система (справа)

Рекультивация почв, которые разрушаются от природных процессов или вследствие деятельности человека, остается также одним из главных вопросов нашего времени. Специалисты ведут непрерывные поиски действенных и доступных методов для решения таких проблем, как: ухудшение биохимических и структурных показателей грунтов, снижение плодородия почв, загрязнение различными солями тяжелых металлов, радиоактивными элементами, химическими препаратами. Техническая конопля является результативным средством для восстановления почвы благодаря своим природоохранным свойствам. Главной особенностью технической конопли является способность к очищению. Она способна поглощать из почвы токсичные и радиоактивные элементы. Конопля, как

сорбент, вбирает и удерживает в своих тканях молекулы тяжелых металлов и других токсичных соединений, постепенно расщепляя их на безопасные для окружающей среды вещества. Растение конопли принадлежит к фиторекультиваторам и фиторемедиантам поврежденных, зараженных и разрушенных почв.

Из листьев конопли (рис. 2) вместе с тонкими стеблями изготавливают БАДы, которые стимулируют аппетит и улучшают сон, а также конопляное масло, которое применяется в качестве основы косметологических препаратов. Конопляное масло содержит биоактивные компоненты – хлорофилл, витамины (А, Е, К, D, В1, В2, В6), аминокислоты, ненасыщенные кислоты, бактерицидные и дубильные вещества, глицерин, микроэлементы, каротин, а также эфирные масла.



Рисунок 2 – Лист конопли

Семена технической конопли (рис. 3), состоящие из углеводов в количестве около 48 %, служат для получения конопляного масла, содержание которого 29–33 %, в зависимости от сорта конопли. Конопляное масло не содержит токсических веществ и применяется как пищевое масло, а также как биодобавка. Оно оказывает лечебное воздействие, обусловленное содержанием в нем полиненасыщенных высокомолекулярных жирных кислот. Из масла также производят краски, косметику.

Конопляный жмых (прессованные плитки отходов, которые получают после отжима масла из семян) служит кормом для скота. Жмых состоит из воды, белка, жира, клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ.

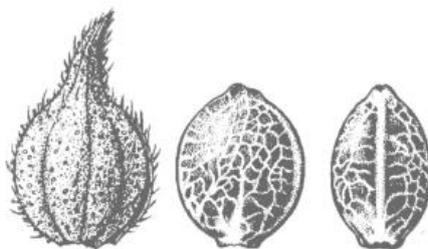


Рисунок 3 – Семена технической конопли

Таким образом, к технической конопле возможно применение технологии биорефайнинга, т.е. можно перерабатывать и использовать все части растения.

Для целлюлозно-бумажной промышленности особый интерес представляет стебель. На рисунке 4 представлен высушенный стебель технической конопли. Диаметр стебля 20–30 мм, в длину стебель может достигать 3–4 м. Стебель состоит из двух основных частей: костры и волокна. Костра представляет собой одревесневевшую часть стебля, имеет цвет слоновой кости. Внешняя часть стебля имеет очень длинные волокна, которые можно применять в текстильной промышленности. Стебель технической конопли состоит из костры на 65–75 % по массе.



Рисунок 4 – Высушенный стебель технической конопли (масштаб 1:1)

Химический состав образцов технической конопли приведен в таблице 2. Содержание целлюлозы во всех образцах достаточно велико. Из этого можно сделать вывод, что по содержанию целлюлозы любая часть является достаточно приемлемым сырьем для получения волокнистых полуфабрикатов.

Таблица 2 – Химический состав образцов технической конопли

Параметры	Волокно	Костра
Содержание целлюлозы, %	76,80	58,80
Экстрактивные вещества, %	0,52	0,41
Зольность, %	1,60	1,50
Лигнин, %	15,00	27,50
Легкогидролизуемые полисахариды, %	6,30	6,10

Целесообразно остановиться на значениях зольности, измеренной в ходе экспериментов: такое значение возможно из-за недостаточной очистки сырья от пыли после сборки.

Насыпная плотность костры меньше насыпной плотности щепы древесины (табл. 3), поэтому, к примеру, вес 10-литрового ведра конопляной костры составляет всего 1,5-2 кг.

Таблица 3 – Характеристики щепы

Сырье	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Размеры щепы, см
Костра	100-120	1,5x1x0,5
Древесина	150-200	2,5x2x0,5

Анализ литературных данных и результаты исследования в лабораториях университета показали, что:

- в технической конопле высокое содержание целлюлозы;
- насыпная плотность костры меньше, чем древесины;
- получение целлюлозы для производства бумаги с помощью 1 гектара конопли примерно в 4 раза больше, чем получение целлюлозы с 1 гектара вырубленного леса, т.к. срок созревания технической конопли от 90 до 160 дней, в то время как на восстановление леса потребуется 80-100 лет;

- конопля поглощает углекислый газ из атмосферы в 3-4 раза быстрее, чем лиственные деревья, а также забирает тяжелые металлы из почвы, подготавливая ее для других более прихотливых растений [2];
- из технической конопли изготавливают более 50000 единиц продукции. Из пеньки изготавливают различного вида веревки, канаты, шпагаты и т.д. Волокна конопли в 10 раз прочнее хлопка, при этом ткань из конопли намного полезнее для кожи. Для выращивания хлопка требуются теплые места и большое количество воды. Конопля не требует много влаги, растет повсеместно и превосходит хлопок в 3-4 раза по урожайности. Из костры конопли – одревесневших частей стебля, которые составляют от 65 до 75 % от всей массы перерабатываемого стебля, – получают гидролизный этиловый спирт, сырье для бумажной или химической промышленности. Также из нее изготавливают стройматериалы или используют как топливо. Кострабетон является нетоксичным и натуральным строительным материалом и используется во многих направлениях промышленности [3].

Таким образом, преимущества технической конопли заключаются в том, что она: экологична, недорогая, безвредна для человека, прочная, у нее высокая износостойкость, по сравнению с другими агрокультурами, она не требовательна к уходу и является возобновляемым природным ресурсом. Необходимо заниматься дальнейшим изучением свойств целлюлозы из технической конопли, разрабатывать новые технологии биорефайнинга технической конопли.

#### Список литературы

1. Посыпанов Г. С., Долгодворов В. Е, Жеруков Б. Х. и др. Растениеводство. М.: Колос-с, 2007. 612 с.
2. Солиман М., Потлакаяла С., Миллар Д., Виден Х., Богуш Д., Дегучи М., Рудрабхатла С. Сравнение обзора потребления тяжелых металлов и их токсичности для здоровья растений и человека // Международный журнал наук о растениях, животных и окружающей среде. 2019. № 9. С. 182–189.
3. Хамадоу Фоуад. Конопляный бетон // Молодой ученый. 2019. № 4. С. 72-74.

#### **TECHNICAL HEMP IS A PROSPECTIVE RAW MATERIAL FOR PULP AND PAPER INDUSTRY. STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF TECHNICAL HEMP**

E. L. Akim, D. Yu. Uvarova \*, T. V. Orekhova, E. A. Bobkova

*Higher School of Technology and Energy SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: uvarovadarya17@ya.ru*

In the Soviet years, industrial hemp was one of the main agricultural crops, but due to the content of the narcotic substance tetrahydrocannabinol, crops began to decline sharply, and in 1960 the plant was banned in the USSR. After the decree of the Government of the Russian Federation of July 20, 2007 No. 460 "On the establishment of varieties of narcotic plants permitted for cultivation for industrial purposes, and determining the requirements for varieties of hemp, the conditions for their cultivation and use", it was fully allowed to cultivate such varieties of industrial hemp as: southern and Central Russian (the content of THC in it is minimal – no more than 0.1 %).

The main benefits of technical hemp:

- high content of cellulose in the stem;
- stem and fibers have good strength characteristics;
- environmentally friendly, harmless to humans and the environment, has a beneficial effect on the soil;
- fast-growing, can be harvested several crops per year;
- less demanding to care for when growing, which means it is economical;
- renewable natural resource.

The article discusses the structural features of industrial hemp, provides data on the chemical composition of the stem. The studies were carried out on the basis of the laboratories of the Higher School of Technology and Energy SPbSUITD . Based on this, the prospects for the further use of technical hemp, including in the pulp and paper industry, were determined. Later, in the laboratories of the university, laboratory experimental cooking of industrial hemp in white liquor was eaten and paper samples were obtained.

**Keywords:** *technical hemp, cellulose, paper, hemp paper, biorefining.*

### References

1. Posypanov G. S., Dolgodvorov V. E., Znerukov B. H. *Rasteniievodstvo* [Crop production]. Moscow, Koloss Publ., 2007, 612 p. (In Russian).
2. Soliman M., Potlakayala S., Millar D., Weeden H., Bogush D., Deguchi M., Rudrabhatla S. Comparing A Review of Heavy Metal Uptake and Their Toxicity on Plant and Human Health. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2019, no 9. pp 182-189.
3. Hamadou Fouad. Konoplyanyu beton [Hemp concrete]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2019, no. 4, pp 72-74. (In Russian).

УДК 676.157

ГРНТИ 66.45.03

## ВЛИЯНИЕ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТЛИВОК ПРИ РАЗМОЛЕ МАССЫ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

А. В. Ушаков\*, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов, В. И. Ковалев

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск*

*E-mail: al.usahkov2194@mail.ru*

Считается, что высокие прочностные показатели при размол массы высокой концентрации обеспечиваются благодаря бумагообразующим свойствам, к которым можно отнести: длину волокна, фракционный состав, водоудерживающую способность, индекс фибрилляции и содержание мелочи. В данной работе проанализированы качественные характеристики сульфатной беленой целлюлозы из лиственных пород древесины, размолотой при высокой концентрации волокнистой массы с учетом конструктивных особенностей размалывающих гарнитур. Исследователями подтверждается влияние типа гарнитуры на качество полученного волокнистого полуфабриката.

*Ключевые слова:* *размол, высокая концентрация, бумагообразующие свойства, размалывающая гарнитура, прочностные характеристики.*

При подготовке целлюлозной массы для выработки бумаги и картона размол массы высокой концентрации нашел широкое применение. Основные достоинства данного способа размола связаны с ростом производительности размалывающего оборудования, снижением удельных затрат энергии, а также сохранением исходной длины волокна, что особенно важно при размол целлюлозы из лиственных пород древесины, а также однолетних растений [1]. Ряд исследователей считают [1, 2], что высокие прочностные характеристики бумажной продукции обеспечиваются за счет сохранения исходной длины волокна в процессе размола. Это происходит потому, что при высокой концентрации в процессе размола в межножевом зазоре размалываются не только отдельные волокна, но и пучки волокон, соответственно, при пересечении ножей внутренние волокна в пучке разрушаются по слабым связям вдоль волокон, наблюдается процесс фибрилляции волокон [3, 4]. Вопросы, связанные с влиянием конструкции размалывающих органов при размол массы

высокой концентрации на качественные показатели волокнистой массы, отдельными исследователями были рассмотрены не в полной мере. Так, ранее считалось, что конструкция дисковой гарнитуры при размоле массы высокой концентрации не оказывает существенного влияния на разработку волокна, хотя данный вопрос является спорным [1, 5].

В лаборатории кафедры МАПТ СибГУ им. академика М. Ф. Решетнева проводились исследования зависимости физико-механических характеристик бумажных отливок от прироста степени помола, индекса фибриляции и рисунка гарнитуры. В качестве физико-механических характеристик готовых изделий анализировались: разрывная длина, сопротивление продавливанию, сопротивление излому и сопротивление раздиранию. При проведении экспериментальных исследований размолу в дисковой мельнице подвергалась сульфатная беленая целлюлоза из лиственных пород древесины марки ЛС-1 (полуфабрикат АО группы «Илим», г. Братск) с начальной степенью помола 15 °ШР. Эксперимент проводился при частоте вращения ротора 2000 об/мин, межножевом зазоре 1,5 мм и концентрации волокнистой массы 10 %. Подача волокнистой массы в зону размола осуществлялась шнековым питателем при частоте вращения шнека 80 об/мин.

В эксперименте использовались следующие гарнитуры дисковой мельницы: секторная гарнитура с прямолинейной формой ножей, прямолинейная с равномерным распределением ножей и гарнитура с эксцентрично окружными ножами. Все три вида гарнитуры имели различные значения секундной режущей длины (рис. 1).

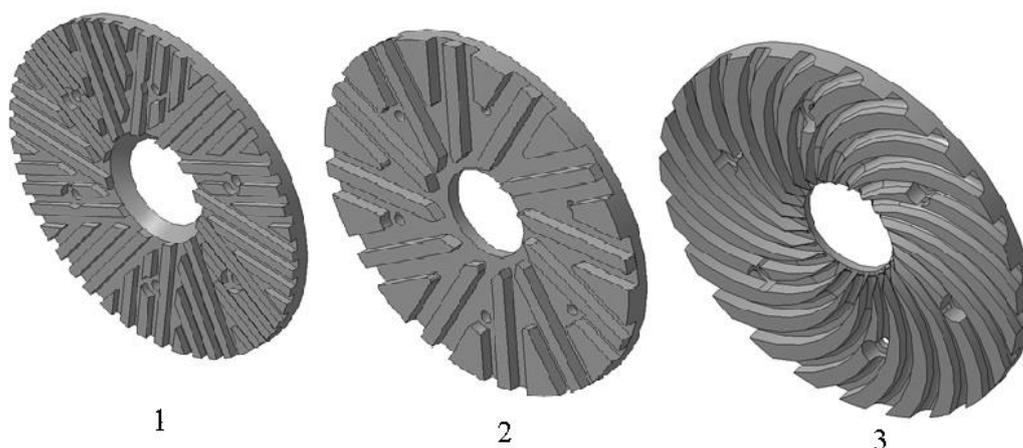


Рисунок 1 – Конструкции размалывающих гарнитур: 1 – секторная с прямолинейной формой ножей и секундной режущей длиной 30990 м/с; 2 – прямолинейная с равномерным распределением ножей и секундной режущей длиной 22780 м/с; 3 – с эксцентрично окружными ножами (секундная режущая длина 33177 м/с)

На рисунках (рис. 2–5) представлены зависимости физико-механических характеристик бумажных отливок от изменения степени помола по шкале Шоппер – Риглера. Разрывная длина бумажных отливок с ростом степени помола (рис. 2) увеличивается по параболической зависимости, причем для двух гарнитур с прямолинейным расположением ножей качественные зависимости совпадают и величина разрывной длины значительно ниже, чем для гарнитуры с эксцентрично окружными ножами. Аналогичные зависимости наблюдаются с величиной сопротивления продавливанию (рис. 3), сопротивления излому (рис. 4) и сопротивления раздиранию (рис. 5).

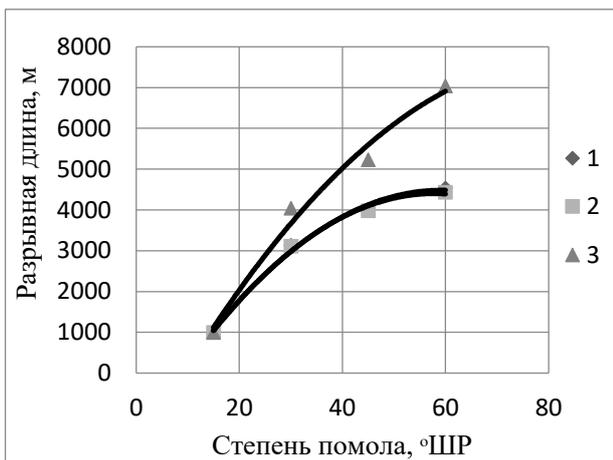


Рисунок 2 – Зависимость разрывной длины от степени помола (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

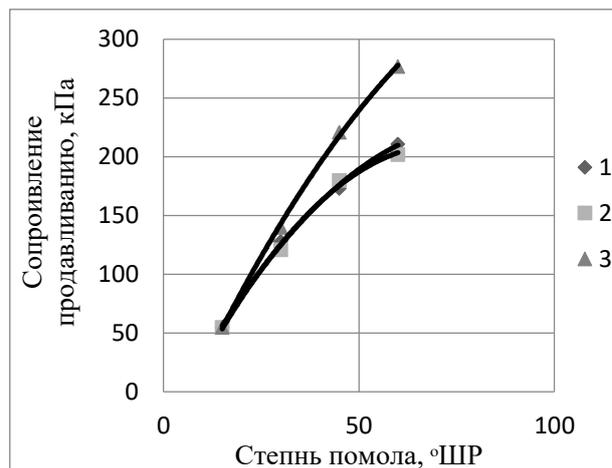


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления продавливанию от степени помола (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

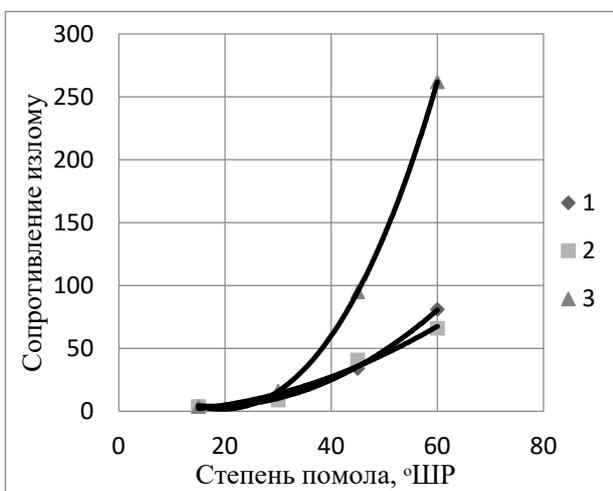


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления излому от степени помола (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

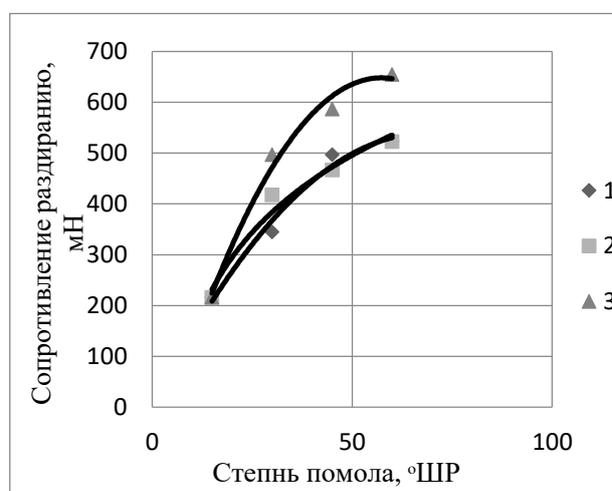


Рисунок 5 – Зависимость сопротивления раздиранию от степени помола (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

Интересная наблюдается зависимость прочностных показателей готовых изделий от индекса фибрилляции. Индекс фибрилляции характеризует отношение суммы длин всех фибрилл к сумме длин всех распознанных волокон:

$$\text{Индекс фибрилляции} = \frac{\sum_{i=1}^N F_i}{\sum_{i=1}^N L_i},$$

где  $F_i$  - сумма длин всех фибрилл, мм;

$L_i$  - сумма длин всех волокон, мм;

Для оценки качества помола волокнистой массы критерий индекса фибрилляции стал использоваться сравнительно недавно. Это стало возможным с появлением прибора анализатора волокна *Morfi neo*, способного давать более высокую и точную оценку бумагообразующим свойствам волокна. В процессе размолла волокнистой массы желательно, чтобы индекс фибрилляции с ростом степени помола возрастал, так как большее количество фибрилл на волокне обеспечивает рост прочностных показателей готового продукта [6].

На рисунке 6 представлена зависимость разрывной длины бумажных отливок от индекса фибрилляции. Из рисунка видно, что качественные зависимости, несмотря на различные рисунки гарнитур, носят линейный характер, причем гарнитура с эксцентрично окружным распределением ножей показывает более высокие количественные показатели.

Аналогичная зависимость наблюдается при исследовании величины сопротивления продавливанию от индекса фибрилляции (рис. 7). Изменение величины сопротивления излому от индекса фибрилляции (рис. 8) представляет собой зависимость, близкую к параболической, количественная зависимость этого показателя наблюдается при использовании гарнитуры с эксцентрично окружным распределением ножей.

Показатель сопротивления раздиранию количественно имеет параболическую зависимость и в отличие от предыдущих физико-механических показателей не имеет серьезных изменений в количественной зависимости для различных видов гарнитур (рис. 9).

Результаты исследований показали:

1. Размол массы высокой концентрации зависит от рисунка гарнитуры дисковой мельницы, особенно разница наблюдается для гарнитуры с эксцентрично окружными ножами.

2. Индекс фибрилляции при размоле массы высокой концентрации оказывает существенное влияние на физико-механические характеристики бумажных отливок.

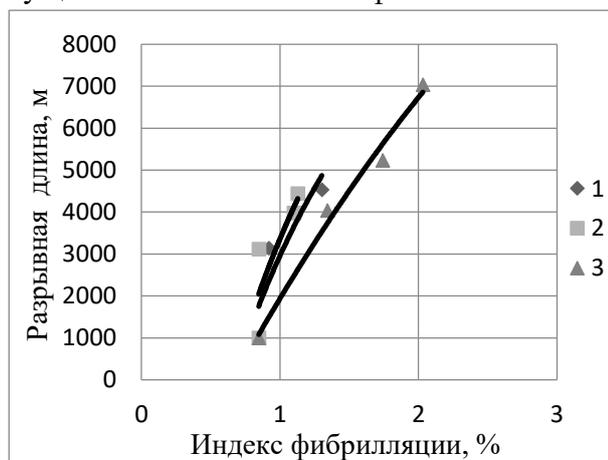


Рисунок 6 – Зависимость разрывной длины от индекса фибрилляции (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)



Рисунок 7 – Зависимость сопротивления продавливанию от индекса фибрилляции (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

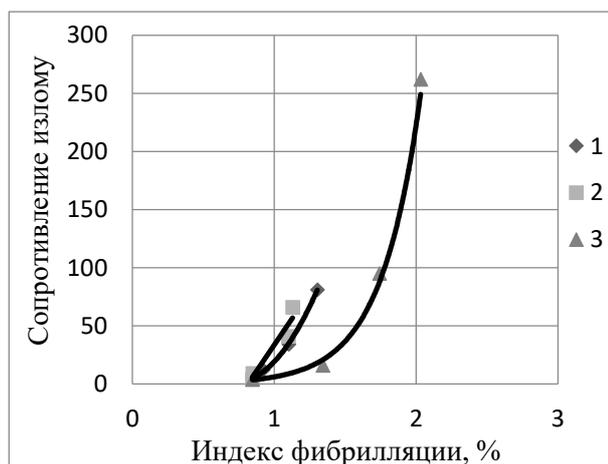


Рисунок 8 – Зависимость сопротивления излому от индекса фибрилляции (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

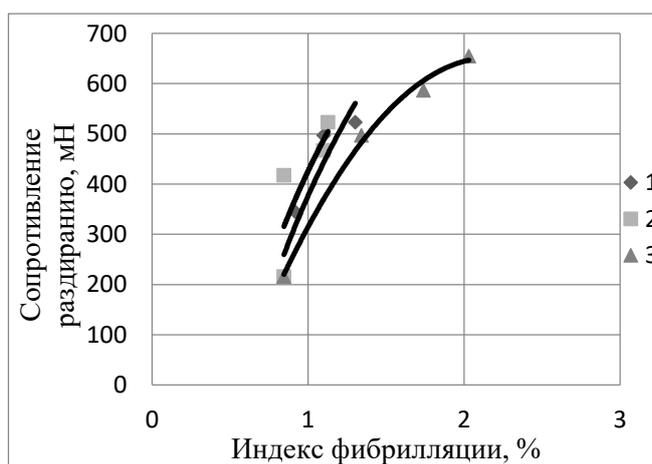


Рисунок 9 – Зависимость сопротивления раздиранию от индекса фибрилляции (гарнитура 1; гарнитура 2; гарнитура 3)

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья» (номер темы FEFE-2020-0016).*

## Список литературы

1. Сахаров С. М. Размол массы высокой концентрации: сборник рефератов по зарубежным материалам. М.: Лесная промышленность, 1971. 64 с.
2. Матвеев Б. П. Исследование основных факторов процесса размола сульфатной небеленой целлюлозы в дисковой мельнице при высокой концентрации: дис... канд. техн. наук 05.21.03 / Матвеев Борис Петрович. М.: Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, 1974. 158 с.
3. Алашкевич Ю. Д., Решетова Н. С. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли: учеб. пособие. Красноярск: СибГТУ, 2015. 317 с.
4. Васильев А. А. Оптимизация параметров ножевой гарнитуры для размола массы высокой концентрации: дис... канд. техн. наук. 05.21.03 / Васильев Анатолий Александрович. М.: Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, 1983. 225 с.
5. Gurnagul N., Shuohui J., Shallhorn P. Optimizing High consistency Refining Conditions for Good Sack Paper Quality // Article in Appita Annual Conference. Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment, 2005. Pp. 379 – 386.
6. Kang T., Paulapuro H. Effect of External Fibrillation on Paper Strength // Pulp and Paper. 2006. Pp. 51–54.

### **EFFECT OF PAPER-FORMING PROPERTIES ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CASTINGS AT REFINING OF HIGH CONSISTENCE MASS**

A. V. Ushakov\*, Yu. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov, V. I. Kovalev

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

*E-mail: al.usahkov2194@mail.ru*

It is believed that high strength values, when refining masses of high consistence, are provided due to paper-forming properties, which include: fiber length, fractional composition, water retention, fibrillation index and fine content. In this paper, the qualitative characteristics of sulphate bleached hardwood pulp milled at high pulp consistence are analyzed taking into account the design features of disc refining. Researchers confirm the influence of the type of headset on the quality of the resulting fibrous semi-product.

**Keywords:** *refining, high consistence, paper-forming properties, disc refining, strength characteristics*

### **References**

1. Saharov S. M. *Razmol massy vysokoj koncentracii* [Refining of high consistency pulp]: sbornik referatov po zarubezhnym materialam. Moscow, Lesnaja promyshlennost', 1971, 64 p. (In Russian).
2. Matveev B. P. *Issledovanie osnovnyh faktorov processa razmola sul'fatnoj nebelenoj celljulozy v diskovoj mel'nice pri vysokoj koncentracii*: dis. kand. teh. Nauk [Investigation of the main factors of the process of grinding kraft unbleached pulp in a disk mill at a high concentration] 05.21.03. Moscow, Leningradskij Tehnologicheskij Institut Celljulozno Bumazhnoj Promyshlennosti, 1974, 158 p. (In Russian).
3. Alashkevich Ju. D., Reshetova N. S. *Teorija i konstrukcija mashin i oborudovanija otrasli* [Theory and design of machinery and equipment of the industry]: ucheb. posobie. Krasnojarsk, SibGTU, 2015, 317 p. (In Russian).
4. Vasil'ev A. A. *Optimizacija parametrov nozhevoj garnitury dlja razmola massy vysokoj koncentracii*: dis. kand. teh. nauk [Optimizing Knife Headset Parameters for High Consistence Mass Refining] 05.21.03. Moscow, Leningradskij Tehnologicheskij Institut Celljulozno Bumazhnoj Promyshlennosti, 1983, 225 p. (In Russian).

5. Gurnagul N., Shuohui J., Shallhorn P. Optimizing High consistency Refining Conditions for Good Sack Paper Quality. *Article in Appita Annual Conference*. Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment, 2005, pp. 379 – 386.
6. Kang T., Paulapuro H. Effect of External Fibrillation on Paper Strength. *Pulp and Paper*, 2006, pp. 51–54.

УДК 676.16.046:678.675

ГРНТИ 61.57.31

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИАМИДНОЙ СМОЛЫ НА ОСНОВЕ АМИДОВ СМОЛЯНЫХ  
КИСЛОТ КАНИФОЛИ НА ПРОЧНОСТЬ И ГИДРОФОБНОСТЬ  
ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СОСТАВА ПО ВОЛОКНУ**

В. Л. Флейшер

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», Минск*

*E-mail: v\_fleisher@list.ru*

В лабораторных условиях изучено влияние полиамидной смолы «ПроХим DUO», полученной равновесной поликонденсацией в расплаве аминокрилов смоляных кислот канифоли, диэтилентриаминна и адипиновой кислоты, на прочность и гидрофобность образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) волокнистых полуфабрикатов. Установлено, что введение полиамидной смолы «ПроХим DUO» в бумажные массы в количестве 0,1 мас.% от абсолютно сухого волокна (а. с. в.) из первичных волокнистых полуфабрикатов способствует повышению прочности бумаги (элементарных слоев картона) на 16,6–26,0 % при одновременном снижении впитываемости при одностороннем смачивании на 14,4–26,0 %. Эффективность упрочнения бумаги из вторичных волокнистых полуфабрикатов (макулатуры) зависит от степени помола волокнистой суспензии. При увеличении степени помола от 25 до 70 °ШР прочность бумаги повышается с 14,4 до 20,4 % по сравнению с образцами без смолы, что, на наш взгляд, обусловлено ростом числа свободных раскрытых гидроксильных групп волокон целлюлозы, способных удерживать полиамидную смолу за счет образования дополнительных водородных связей.

*Ключевые слова: полиамидная смола «ПроХим DUO», целлюлоза, макулатура, упрочнение, гидрофобизация, целлюлозосодержащие композиционные материалы.*

Одной из нерешенных проблем в технологии клееных целлюлозосодержащих композиционных материалов (ЦКМ) является потеря прочности при их получении из-за снижения межволоконных связей. Для компенсации потери прочности при получении клееных видов ЦКМ используют полимерные соединения, содержащие аминокрилы и амидогруппы, способствующие связеобразованию в проклеенной бумажной массе. Однако в каждом конкретном случае необходимо подбирать индивидуальное упрочняющее вещество. Это относится к его структуре и расходу, а также последовательности введения функциональных химикатов (гидрофобизирующих и упрочняющих) в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные).

Решением вышеуказанной проблемы является использование разработанной в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» полиамидной смолы «ПроХим DUO» (ТУ ВУ 1526670.005 – 2018) на основе аминокрилов смоляных кислот канифоли, оказывающей на ЦКМ бифункциональное действие – упрочняющее и гидрофобизирующее [1, 2].

Полиамидная смола «ПроХим DUO» представляет собой полимерное соединение линейного строения, синтезированное равновесной поликонденсацией в расплаве

аминоамидов смоляных кислот канифоли, адипиновой кислоты и диэтилентриамин. В состав молекулы полиамидной смолы входят полярные амино- и амидогруппы, а также гидрофобные радикалы смоляных кислот канифоли, что в совокупности оказывает одновременно упрочняющее и гидрофобизирующее действие на бумажные массы из первичных и вторичных волокнистых полуфабрикатов. Упрочняющее действие этого вещества объясняется образованием водородных связей между отрицательно заряженными атомами кислорода гидроксильных групп целлюлозы и протонами аминогрупп полиамидной смолы. На эффективность упрочнения ЦКМ влияет множество факторов, среди которых особое значение имеет вид волокнистого полуфабриката и степень его помола, а, следовательно, количество присутствующих гидроксильных групп, способных электростатически взаимодействовать с полиамидной смолой. Гидрофобизирующее действие полиамидной смолы «ПроХим DUO» проявляется за счет присутствия в ее макромолекуле гидрофобных участков смоляных кислот, способных придавать целлюлозным и макулатурным волокнам гидрофобные свойства на стадии сушки бумажного или картонного полотна.

Цель работы – исследовать упрочняющее и гидрофобизирующее действие полиамидной смолы «ПроХим DUO» на бумагу, содержащую первичные и вторичные волокнистые полуфабрикаты, отличающиеся степенью помола.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- установлены зависимости влияния полиамидной смолы «ПроХим DUO» на прочность и гидрофобность образцов бумаги из первичных и вторичных волокнистых полуфабрикатов, отличающихся степенью помола;
- изучена эффективность применения полиамидной смолы в целлюлозных и макулатурных суспензиях в зависимости от содержания ее в бумажных массах.

Волокнистые суспензии готовили из целлюлозы сульфатной небеленой хвойной (ЦСНХ, ГОСТ 12765 – 88), целлюлозы сульфатной беленой хвойной (ЦСБХ, ГОСТ 9571 – 89), целлюлозы сульфатной беленой лиственных пород древесины (ЦСБЛ, ГОСТ 14940 – 96) и макулатуры марки МС–5 распуском на дезинтеграторе БМ–3 и лабораторном ролле до степени помола 25, 40 и 70 °ШР, которую определяли на приборе СР–2Т (ГОСТ 14363.4 – 89). Образцы бумаги (элементарные слои картона) массоемкостью 80 г/м<sup>2</sup> изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» («Ernst Naage», Германия) при температуре сушки 100 – 105 °С с последующей их термообработкой при 120 ± 5 °С. Разрушающее усилие в сухом состоянии определяли на горизонтальной разрывной машине «SE062/064» («Lorentzen & Wettre», Швеция). Впитываемость при одностороннем смачивании определяли на аппарате Кобба (ГОСТ 12605 – 97, ISO 535 – 91).

Результаты исследования (рис. 1, 2) свидетельствуют о том, что полиамидная смола «ПроХим DUO», введенная в бумажные массы из ЦСНХ, ЦСБХ и ЦСБЛ со степенью помола 25, 40 и 70 °ШР, оказывает одновременно упрочняющее и гидрофобизирующее действие на изготовленные образцы бумаги (элементарные слои картона). Установлены две особенности влияния полиамидной смолы на прочность и гидрофобность ЦКМ в зависимости от их состава. Первая особенность заключается в способности полиамидной смолы «ПроХим DUO» оказывать упрочняющее действие на образцы бумаги, изготовленные из исследуемых видов волокнистых полуфабрикатов (ЦСНХ, ЦСБХ и ЦСБЛ), независимо от их степени помола. Вторая особенность – поведение полиамидной смолы «ПроХим DUO», присутствующей в бумажных массах, состоит в ее способности оказывать гидрофобизирующее действие на образцы бумаги (ЦСНХ, ЦСБХ и ЦСБЛ). Об этом свидетельствуют следующие достигаемые положительные эффекты.

Введение полиамидной смолы «ПроХим DUO» в целлюлозные массы (степень помола 25 °ШР) в количестве 0,1 % от а. с. в. повышает прочность образцов бумаги из ЦСНХ с 7500 до 8800 м (на 17,3 %), ЦСБХ с 8000 до 9500 м (на 18,7 %) и ЦСБЛ с 4600 до 5500 м (на 19,5 %). При степени помола целлюлозной массы 40 °ШР наблюдается увеличение прочности образцов бумаги: для ЦСНХ разрывная длина повышается с 8500 до 10000 м (на 18,6 %), ЦСБХ – с 9000

до 10500 м (16,6 %) и ЦСБЛ – с 6000 до 7400 м (на 23,3 %). Аналогичная закономерность проявляется и при 70 °ШР. Для образцов бумаги из ЦСНХ прочность возрастает с 9500 до 11400 м (на 20 %), ЦСБХ – с 10000 до 12000 м (на 20,0 %) и ЦСБЛ – с 6500 до 8200 м (26,0 %). Полученные результаты свидетельствуют, что степень помола целлюлозных масс оказывает незначительное влияние на эффективность упрочняющего действия полиамидной смолы за счет наличия раскрытых гидроксильных групп в целлюлозных волокнах.

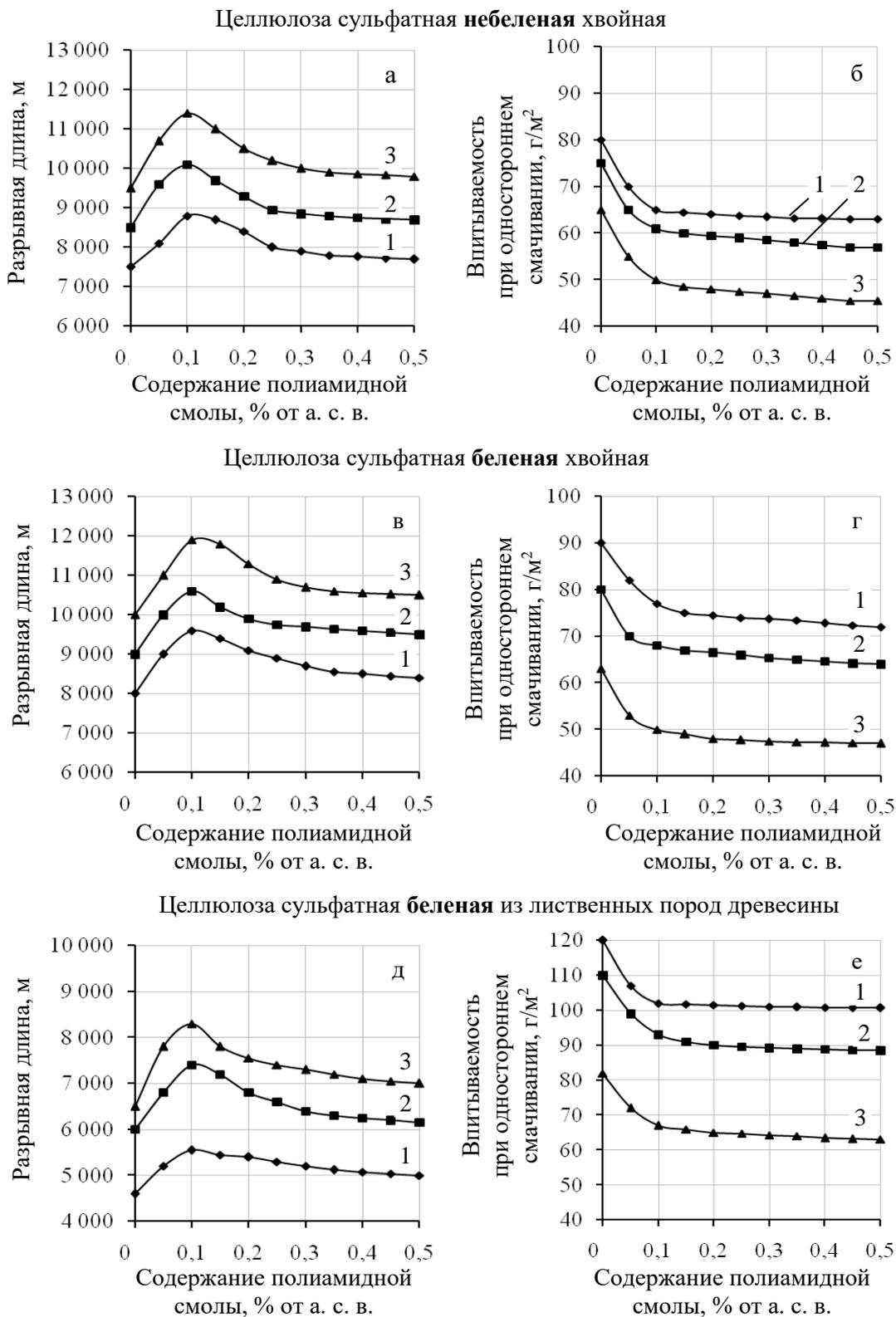


Рисунок 1 – Прочность (а, в, д) и гидрофобность (б, г, е) образцов бумаги из ЦСНХ (а, б), ЦСБХ (в, г), ЦСБЛ (д, е), отличающиеся степенью помола (25 °ШР – кривая 1; 40 °ШР – кривая 2; 70°ШР – кривая 3) и содержащих полиамидную смолу «ПроХим DUO»

При повышении содержания полиамидной смолы «ПроХим DUO» в целлюлозных массах выше 0,1 % от а. с. в. прочность образцов бумаги (элементарных слоев картона) снижается, что, по нашему мнению, вызвано «насыщением» целлюлозной суспензии и накоплением молекул полиамидной смолы между волокнами целлюлозы. Следствием этого является увеличение расстояния между волокнами, ослабление межмолекулярных сил связи и снижение прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) [4].

Повышение прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) сопровождается одновременным увеличением гидрофобности на 14,4–26,0 % (рис. 1, б, г, е), максимальное значение которой наблюдается при содержании полиамидной смолы 0,1 % от а. с. в. При степени помола 25 °ШР впитываемость при одностороннем смачивании при использовании ЦСНХ снижается с 80 до 65 г/м<sup>2</sup> (на 18,7 %), ЦСБХ – с 90 до 77 г/м<sup>2</sup> (на 14,4 %) и ЦСБЛ – с 120 до 102 г/м<sup>2</sup> (на 15,0 %). При степени помола 40 °ШР показатель впитываемости при одностороннем смачивании для ЦСНХ уменьшается с 75 до 61 г/м<sup>2</sup> (на 18,6 %), ЦСБХ – с 80 до 68 г/м<sup>2</sup> (на 15,0 %) и ЦСБЛ – с 110 до 92 г/м<sup>2</sup> (на 16,4 %). Аналогичная закономерность наблюдается для образцов бумаги, полученной из целлюлозных полуфабрикатов при степени помола 70 °ШР. Для ЦСНХ впитываемость понижается с 65 до 50 г/м<sup>2</sup> (на 23,1 %), ЦСБХ – с 63 до 50 г/м<sup>2</sup> (на 26,0 %) и ЦСБЛ – с 82 до 67 г/м<sup>2</sup> (на 18,3 %). Повышение гидрофобности образцов бумаги объясняется удерживанием на волокне за счет водородных связей амидов смоляных кислот канифоли, которые на стадии сушки образуют гидрофобное покрытие на волокнах целлюлозы. Избыточное количество полиамидной смолы в целлюлозных массах (более 0,1 % от а. с. в.) приводит к снижению прочности образцов бумаги за счет накопления их между волокнами и повышения расстояния между ними и в то же время обеспечивает повышение гидрофобности, что подтверждается убывающим характером кривых (рис. 1, б, г, е).

Упрочняющее и гидрофобизирующее действие полиамидной смолы «ПроХим DUO» проявляется и на макулатурной массе (рис. 2), хотя и в меньшей степени по сравнению с целлюлозой, что объясняется частичной блокировкой гидроксильных групп ранее введенными химикатами. С повышением степени помола с 25 до 70 °ШР при содержании полиамидной смолы 0,1 % от а. с. в. прочность образцов бумаги возрастает на 14,3 % - с 3500 до 4000 м (25 °ШР), 15,2 % – с 4600 до 5300 м (40 °ШР) и 20,4 % – с 5400 до 6500 м (70 °ШР). Повышение прочности образцов бумаги с увеличением степени помола объясняется раскрытием гидроксильных групп, способных удерживать полиамидную смолу на макулатурных волокнах.

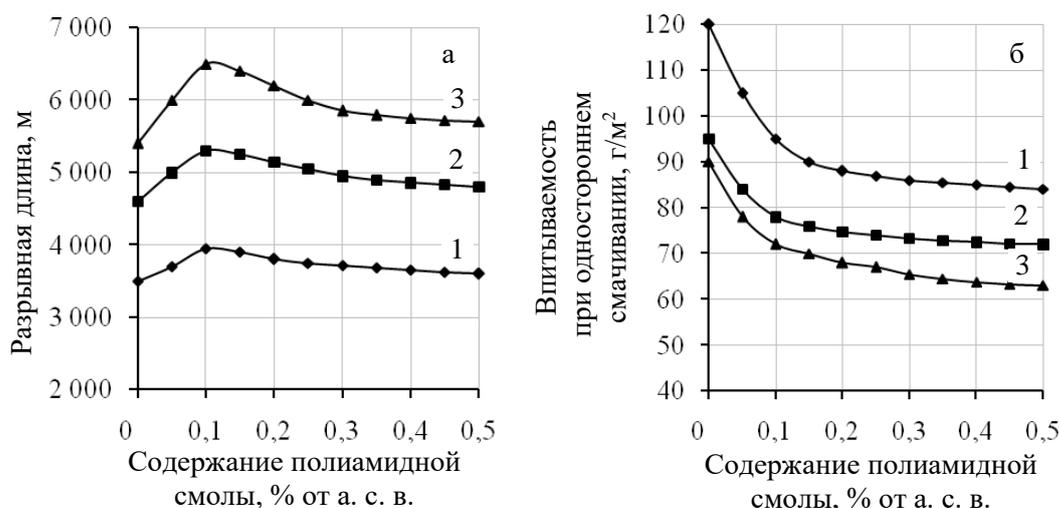


Рисунок 2 – Прочность (а) и гидрофобность (б) образцов бумаги, изготовленных из макулатуры, отличающихся степенью помола (25 °ШР – кривая 1; 40 °ШР – кривая 2; 70 °ШР – кривая 3) и содержанием полиамидной смолы «ПроХим DUO»

Одновременно с повышением прочности наблюдается увеличение гидрофобности на 17,9–20,8 %. Важно отметить, что эффективность гидрофобизации макулатурной массы соизмерима с эффективностью гидрофобизации целлюлозы, что, на наш взгляд, обусловлено размером полимолекулярного слоя полиамидной смолы на поверхности волокон.

Таким образом, введение полиамидной смолы «ПроХим DUO» в целлюлозные и макулатурные массы обеспечивает одновременно повышение прочности и гидрофобности образцов бумаги (элементарных слоев картона). Установлено, что введение полиамидной смолы в количестве 0,1 % от а. с. в. повышает прочность образцов бумаги из целлюлозной массы на 16,6–26,0 %, макулатурной – на 14,3–20,4 %, а гидрофобность – на 14,4–26,0 % и 17,9–20,8 % соответственно. Более низкие показатели прочности и гидрофобности при использовании макулатурной массы обуславливаются частичной блокировкой гидроксильных групп волокон ранее применяемыми химикатами, что, в свою очередь, препятствует образованию водородных связей с молекулами полиамидной смолы.

#### Список литературы

1. Флейшер В. Л., Андрюхова М. В., Черная Н. В., Мисюров О. А. Импортозамещающая технология получения и применения полиамидной смолы с гидрофобизирующим и упрочняющим действием на бумагу и картон // Полимерные материалы и технологии, 2018. Т. 4, № 3. С. 72 – 83.
2. Андрюхова М. В., Флейшер В. Л., Черная Н. В. Новый азотсодержащий полимер с упрочняющим и гидрофобизирующим действием на бумагу и картон // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук, 2019. Т. 55, № 1. С. 99 – 106.
3. Примаков С. Ф. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству: учебное пособие для вузов. М.: Лесная промышленность, 1980. 168 с.
4. Иванов С. Н. Технология бумаги. М.: Лесная промышленность, 2006. 696 с.

### **INFLUENCE OF POLYAMIDE RESIN BASED ON AMIDES RESIN ROSIN ACID ON STRENGTH AND HYDROPHOBICITY OF CELLULOSE-CONTAINING COMPOSITE MATERIALS DEPENDING ON THEIR FIBER COMPOSITION**

V. L. Fleisher

*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: v\_fleisher@list.ru*

In laboratory conditions, the effect of the polyamide resin «ProChem DUO», obtained by equilibrium polycondensation in the melt of aminoamides of resin acids of rosin, diethylenetriamine and adipic acid, on the strength and hydrophobicity of paper samples (elementary cardboard layers) made from primary (cellulose) and secondary (waste paper) was studied fibrous semi-finished products. Found that the introduction of polyamide resin «ProChem DUO» in paper pulp in an amount of 0.1 wt. % of absolutely dry fiber (a. d. f) from primary fibrous semi-finished products contributes to an increase in the strength of paper (elementary layers of cardboard) by 16.6 – 26.0 % with a simultaneous decrease in absorbency with one-sided wetting by 14.4 – 26.0 %. The efficiency of strengthening paper from secondary fibrous semi-finished products (waste paper) depends on the degree of grinding of the fibrous suspension. With an increase in the degree of freeness from 25 to 70°SHR, the strength of the paper increases from 14.4 to 20.4 % in comparison with the samples without resin, which, in our opinion, is due to an increase in the number of free disclosed hydroxyl groups of cellulose fibers capable of holding the polyamide resin for due to the formation of additional hydrogen bonds.

**Keywords:** *polyamide resin «ProChem DUO», cellulose, waste paper, strengthening, hydrophobization, cellulose-containing composite materials*

## References

1. Fleisher V. L., Andryukhova M. V., Chernaya N. V., Misyurov O. A. Importozameshchayushchaya tekhnologiya polucheniya i primeneniya poliamidnoy smoly s gidrofobiziruyushchim i uprochnyayushchim deystviem na bumagu i karton [Import-substituting technology for the production and use of polyamide resin with a hydrophobic and hardening effect on paper and cardboard]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2018, vol. 4, no. 3, pp. 72 – 83. (In Russian).
2. Andryukhova M. V., Fleisher V. L., Chernaya N. V. Novyy azotsoderzhashchiy polimer s uprochnyayushchim i gidrofobiziruyushchim deystviem na bumagu i karton [New nitrogen-containing polymer with a strengthening and hydrophobizing effect on paper and cardboard]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Science Series], 2019, vol. 55, no. 1, pp. 99 – 106. (In Russian).
3. Primakov S. F. *Laboratornyy praktikum po tsellyulozno-bumazhnomu proizvodstvu: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Laboratory workshop on pulp and paper production: textbook for universities]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1980, 168 p. (In Russian).
4. Ivanov S. N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 2006, 696 p. (In Russian).

УДК 37.014.54  
ГРНТИ 81.79.11

## ПРОЕКТ «ЦИФРОВАЯ ЛЕСНАЯ ПЕДАГОГИКА»: ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

К. Итконен<sup>1</sup>, С. В. Терещенко<sup>2</sup>, Е. М. Фрейдкина<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Университет Прикладных наук Юго-Восточной Финляндии (Хатк), Миккели

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург  
E-mail: freidi@gmail.com

Проект «Цифровая лесная педагогика» (DIGIFOR) реализуется в рамках Программы приграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020». В статье рассматриваются результаты работы по проекту, направленные на подготовку высококвалифицированных кадров для лесного комплекса с помощью дистанционных технологий обучения.

*Ключевые слова:* лесной комплекс, подготовка специалистов, цифровизация, повышение квалификации, дистанционное обучение, международное сотрудничество

Изменения, происходящие в обществе, требуют трансформации образования и организации обучения на протяжении всей жизни. Лесной бизнес формулирует новые требования к навыкам работников. Целью высшего образования в лесном секторе является подготовка квалифицированных, мотивированных и инновационных молодых специалистов для работы в организациях, управляющих, исследующих, использующих и защищающих возобновляемые лесные ресурсы. Для реализации данной цели необходимо совершенствование методов обучения студентов. Особые требования предъявляются к системе лесного образования в связи с цифровизацией экономики.

Программа приграничного сотрудничества Юго-Восточной Финляндии и Российской Федерации 2014-2020 финансируется Европейским Союзом, Российской Федерацией и Финляндской Республикой. Одним из приоритетов программы является «Инновационная, обладающая квалифицированными кадрами, и хорошо образованная территория». Проект

KS1027 «Цифровая лесная педагогика» (DIGIFOR) реализуется в рамках этого приоритета. В проекте участвуют четыре высших учебных заведения: Университет прикладных наук Юго-Восточной Финляндии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна и Университет Восточной Финляндии.

Основной целью проекта является повышение квалификации и компетентности будущих работников лесного сектора в Юго-Восточной Финляндии, Санкт-Петербурге и Ленинградской области [1].

В качестве специфических задач проекта были выделены:

- повышение квалификации преподавателей высших учебных заведений лесного сектора (вузов) на территории действия программы для использования цифровых методов электронного обучения в процессе преподавания;
- повышение качества образования студентов лесных вузов для удовлетворения меняющихся потребностей лесного бизнеса;
- укрепление международного сотрудничества между вузами-участниками проекта;
- укрепление сотрудничества между лесным бизнесом и вузами-участниками проекта.

Основной задачей участников проекта является разработка дистанционных образовательных курсов для системы профессионального образования лесного комплекса. Расположение большинства предприятий лесного комплекса вдалеке от традиционных центров профессионального образования делает это направление востребованным. Наши исследования показывают, что проблема закрепления кадров в лесном комплексе чрезвычайно остра. Студенты, направленные на целевое обучение в центральные города РФ, часто не возвращаются в отправившие их организации. С этой целью крупные лесопромышленные корпорации формируют свои системы обучения с целью актуализации профессиональных знаний и навыков. Обучение в корпоративных центрах является необходимым условием развития карьеры специалиста.

Корпоративные системы обучения могут позволить себе только крупные компании, а малый и средний бизнес практически исключается из процесса повышения квалификации своих работников. Вместе с тем, по данным Росстата РФ, в сфере промышленной переработки древесины в 2018 году было зарегистрировано более 19 тыс. малых предприятий, оборот которых составил более 150 млрд. руб. [2, с.73]. Реализация проекта направлена на расширение предложения дистанционных программ обучения и на активизацию процесса повышения квалификации персонала лесного комплекса без отрыва от основной работы, что способствует закреплению персонала на рабочих местах. По мнению участников проекта со стороны бизнеса, именно закрепление кадров является одной из наиболее острых проблем современного лесного комплекса в России и Финляндии.

Для разработки дистанционных учебных курсов преподаватели-участники осваивали современные педагогические технологии (Таксономия Блума, модель SOLO, модель SARM) и инструменты их реализации [3]. В рамках проекта исследователями Университета Восточной Финляндии подготовлена публикация «Навыки 21 века», в доступной форме излагающая педагогические идеи для преподавателей DIGIFOR.

Теоретический материал учебных курсов представлен в виде презентаций и записанных лекций. В основе практического блока изучение и анализ кейсов, интерактивные упражнения, проектная работа. Особый интерес у студентов вызвали виртуальные экскурсии по лесу, болотам и лесопромышленным предприятиям, которые были разработаны в ходе реализации проекта. Проверочный блок включает тесты, расчетные и аналитические задания. При обучении использовались такие онлайн-платформы, как Moodle, Learn, и возможности сервисов Zoom, Teams, WhatsApp, Thinglink.

На основе опросов российских и финских студентов о результатах обучения онлайн можно сделать вывод, что в целом такой метод обучения им понравился и может быть эффективно использован в педагогической практике лесных высших учебных заведений как в Финляндии, так и в России [4]. С точки зрения преподавателей онлайн-обучение имеет как

плюсы, так и минусы. В частности, апробация учебных курсов показала высокую сложность организации командной работы в дистанционном формате. Но в целом все преподаватели в ходе проведенного опроса отметили перспективность использования онлайн-обучения для современных студентов.

Помимо обучения студентов лесных высших учебных заведений, проект также направлен на активизацию сотрудничества с лесным бизнесом. Представители лесных компаний являлись тьюторами разрабатываемых курсов, что позволило приблизить их содержание к потребностям реальных предприятий. В ходе реализации проекта было проведено обучение представителей лесных компаний на основе разработанных онлайн учебных модулей.

На основании данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что реализация проекта осуществляется успешно. Количество разработанных учебных модулей соответствует плану. Численность студентов, которые были обучены в рамках разработанных в проекте учебных модулей, более чем в два раза превысило запланированный показатель. Обращает на себя внимание и эффективное сотрудничество международных команд, практически все учебные материалы являются результатом совместной работы российских и финских преподавателей, а учебные материалы содержат как российские, так и финские примеры из реальной бизнес-практики лесных компаний.

Таблица – Основные результаты реализации проекта приграничного сотрудничества Юго-Восточной Финляндии и Российской Федерации KS1027 «Цифровая лесная педагогика» за период с ноября по 31 декабря 2020 года

№	Показатель	Запланированный уровень	Достигнутый результат
1	Количество разработанных учебных модулей	32	32
2	Количество студентов, участвовавших в апробации разработанных модулей	500	1078
3	Количество модулей, разработанных в сотрудничестве финских и российских преподавателей	-	20
4	Количество зачетных единиц, полученных студентами	1500	1200
5	Количество представителей лесного бизнеса, с которыми осуществлялись контакты	20	29
6	Количество предприятий лесного бизнеса, которые были привлечены в проект	10	20

В целом реализация проекта DIGIFOR позволила достичь следующих результатов:

- повысился уровень подготовки студентов лесных высших учебных заведений, что позволит им в большей степени соответствовать требованиям лесного бизнеса;
- преподаватели могут создавать и использовать инновационные методы электронного обучения в своих учебных курсах;
- расширилось сотрудничество между партнерами, участвующими в проекте;
- сеть вузов и компаний лесного сектора функционирует непрерывно для развития высшего образования в лесном секторе;
- учебные курсы включают виртуальные электронные модули;
- у студентов появилась возможность ускорить обучение, выбрать различные пути обучения и учиться вне зависимости от времени и места.

#### Список литературы

1. Терещенко С. В., Терешкина Т. Р. Подготовка специалистов для лесного сектора с использованием методов цифрового дистанционного обучения // Цифровые технологии в

лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 31-35.

2. Промышленное производство в России. 2019: Стат.сб. / Росстат. М., 2019. 286 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom\\_proiz-vo2019.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo2019.pdf) (дата обращения: 12.11.2021).
3. Beskrovnaya V., Fedorova O., Freidkina E. Digital environment of vocational education in the Russian Federation // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 507 (2020) 012003. URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/507/1/012003/pdf>. (дата обращения: 12.11.2021). DOI:10.1088/1755-1315/507/1/012003.
4. Gromskaya L., Zhuk Yu., Kuznezov E., Katsadze V. Solution of urgent problems of training specialists for the forest industry within the framework of the international project «Digital Forest Pedagogy» // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 507 (2020) 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012005.

## THE DIGITAL FOREST PEDAGOGY PROJECT: RESULTS ACHIEVED AND PROSPECTS

K. Itkonen<sup>1</sup>, S. V. Tereshchenko<sup>2</sup>, E. M. Freidkina<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>*University of Applied Sciences of South-East Finland (Xamk), Mikkeli, Finland*

<sup>2</sup>*St. Petersburg State Forestry University*

*named after S.M. Kirov State Forestry University, St. Petersburg, Russia*

<sup>3</sup>*Higher School of Technology and Energy, SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: freidi@gmail.com*

The Digital Forest Pedagogy (DIGIFOR) project is implemented as part of the Russia-South-East Finland 2014-2020 Cross-Border Cooperation Programme. The article discusses the results of the project's work aimed at training highly qualified personnel for the forestry sector by means of distance learning technologies.

**Keywords:** *the forest sector, specialist training, digitalization, professional development, distance learning, international cooperation*

### References

1. Tereshchenko S. V., Tereshkina T. R. Training specialists for the forestry sector using digital distance learning methods. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference Digital technologies in the forestry sector*, Saint-Petersburg, POLITEKH-PRESS, 2020, pp. 31-35. (In Russian).
2. *Industrial production in Russia. 2019: Statistical Digest*. Rosstat, Moscow, 2019, 286 p. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom\\_proiz-vo2019.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo2019.pdf) (accessed 12.11.2021). (In Russian).
3. Beskrovnaya V., Fedorova O., Freidkina E. Digital environment of vocational education in the Russian Federation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 507 (2020) 012003. DOI:10.1088/1755-1315/507/1/012003.
4. Gromskaya L., Zhuk Yu., Kuznezov E., Katsadze V. Solution of urgent problems of training specialists for the forest industry within the framework of the international project «Digital Forest Pedagogy». *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 507 (2020) 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012005.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ФОРМОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Н. В. Евдокимов\*, Н. П. Мидуков

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: nikoew@rambler.ru*

В работе представлены результаты проведенных научных исследований, направленных на поиск оптимальных режимов получения формованных изделий из древесных отходов. В экспериментальных исследованиях произведена оценка качественного влияния фракционного состава, давления и времени выдержки на плотность и влагопрочность конечного формованного изделия. В результате проведенных исследований установлен оптимальный режим формования изделий. Полученные в работе результаты могут послужить основой как для рекомендаций по оптимизации сбора, хранения, так и для развития направления получения изделий из материалов на основе древесных отходов.

*Ключевые слова:* формованные изделия, давление, древесные отходы, время выдержки, влагопрочность.

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, утвержденному Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 г. № 242, «Опилки натуральной чистой древесины» относятся к V классу опасности и требуют утилизации [1]. Предприятия обязаны утилизировать отходы в течение 11 месяцев со дня их появления [2]. Сбор, хранение и утилизация древесных отходов накладывают определенное обременение на предприятия лесного комплекса. Наиболее эффективным решением данной проблемы является переработка отходов с получением формованных изделий, производство которых ежегодно растет согласно информации ФСГС РФ (Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации) [3].

Целью работы является переработка опилок в формованные изделия, для чего определены основные параметры получения формованных изделий без использования связующих веществ, обладающих необходимой устойчивостью к влаге долгое время. Устанавливается зависимость плотности формованных изделий от фракционного состава, давления и времени прессования; оценка влажности, при которой происходит самопроизвольное разрушение формованных изделий.

Экспериментальные исследования проводились с различными фракциями древесины хвойных пород, преимущественно сосны, растущей на территории Ленинградской области. Размеры частиц древесины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические показатели формованных изделий и фракций

№ фракции	Размер фракции, мм	Геометрические размеры формованных изделий	
		высота h, мм	диаметр d, мм
1	1 - 3,5	9	30,5
2	3,5 - 7,5	9	30,5
3	7,5 - 10	9	30,5

Результатом экспериментальных исследований стали образцы формованных изделий, подготовленные из фракций с различными размерами частиц. Сцепление фракций древесины и изменение плотности обусловлены механическим смятием капиллярно-пористой структуры древесины [4]. Установлено, что при размере частиц от 1 до 10 мм формованные изделия при равных условиях прессования имеют близкую по значению плотность (табл. 2).

Для оценки плотности сыпучих материалов изделий был разработан «Пикнометр», который защищен патентом на полезную модель [5].

Таблица 2 – Плотность полученных формованных изделий

№ фракции	Масса формованных изделий, $m_{пл}$ , г	Объем формованных изделий, $V_{пл}$ , $см^3$	Плотность, $\rho_{пл}$ , $г/см^3$
1	5,22	8,59	0,608
2	5,21	8,59	0,607
3	5,21	8,59	0,606

Плотность формованных изделий во многом определяется давлением прессования (рис. 1). С увеличением давления прессования плотность формованных изделий с различными размерами частиц меняется неоднозначно.

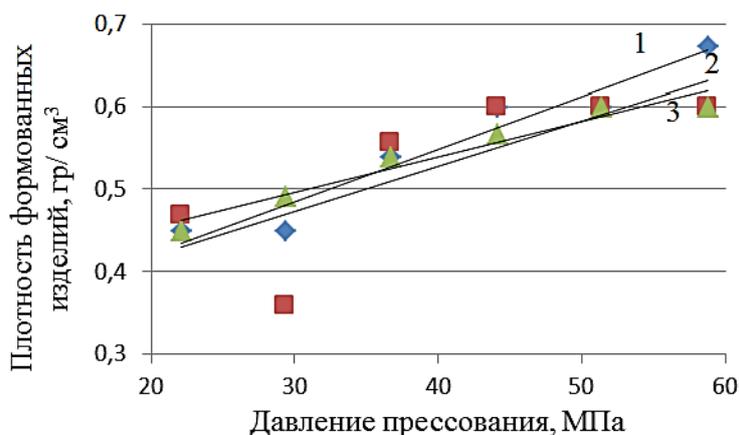


Рисунок 1 – Зависимость плотности формованных изделий от давления прессования: 1 – фракция № 1 с размером частиц древесины около 1 мм; 2 – фракция № 2 (размер частиц древесины 3,5 мм); 3 – фракция № 3 (размер частиц древесины 7,5 мм)

Зависимость содержания влаги от времени представлена на (рис. 2)

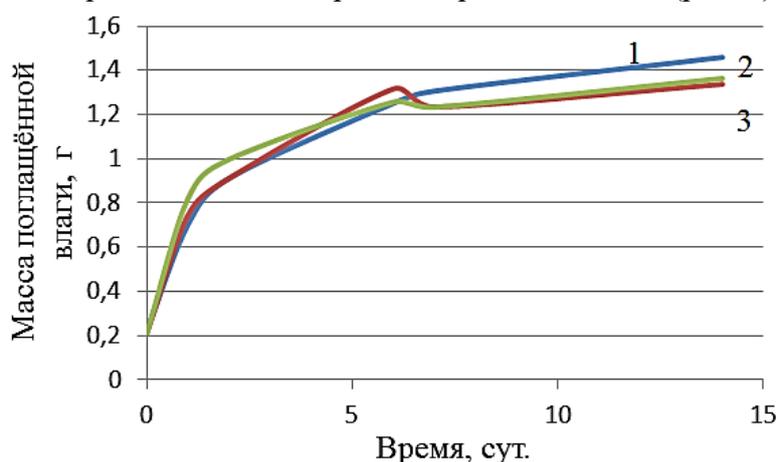


Рисунок 2 – Зависимость плотности формованных изделий от давления прессования: 1 – фракция № 1; 2 – фракция № 2; 3 – фракция № 3

Согласно проведенным экспериментам прочность формованных изделий сохранялась в течение четырнадцати суток. Образцы исследуемого материала выдерживались в условиях насыщенного влагой воздуха. Из рисунка 2 видно, что в исследуемом диапазоне размера частиц (1 - 10 мм) при заданном давлении и времени фракционный состав не оказал существенного влияния на время прессования при насыщенном влажном воздухе. Исследования также показали, что плотность формованных изделий при давлении 40 МПа и времени выдержки 4 мин. практически не меняется. Также установлено, что древесные

формованные изделия в исследуемом диапазоне размеров частиц от 1 до 10 мм полностью разрушаются после четырнадцати суток при влажности окружающей среды, близкой к полному насыщению.

#### Список литературы

1. Федеральный классификационный каталог отходов. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (с изменениями от 29.03.2021 № 149).
2. Федеральный закон от 31.12.2017 № 503-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года / Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2012. 96 с.
4. Аким Э. Л., Роговина С. З., Берлин А. А. Усталостная прочность древесины и релаксационное состояние ее полимерных компонентов // Доклады академии наук. М.: Изд-во РАН, 2020.
5. Патент RU111663U1. МПК G01N 11/00 (2006.01). Пикнометр / Ю. К. Сафонов, Н. В. Евдокимов; Заявлено 03.05.2011; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.

#### **DETERMINATION OF PARAMETERS FOR OBTAINING MOLDED PRODUCTS FROM WOOD WASTE**

N. V. Evdokimov\*, N. P. Midukov

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITE, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: nikoew@rambler.ru*

The paper presents the results of scientific research aimed at finding the optimal modes of obtaining molded products from wood waste. In experimental studies, the qualitative influence of the fractional composition, pressure and holding time on the density and moisture resistance of the final molded article was assessed. As a result of the research carried out, the optimal mode of molding products has been established. The results obtained in this work can serve as the basis for both recommendations for optimizing collection, storage, and for the development of the direction of obtaining products from materials based on wood waste.

**Keywords:** *molded products, pressure, wood waste, holding time, moisture resistance.*

#### **References**

1. *Federal classification catalog of waste.* (In Russian).
2. *Federal Law of December 31, 2017 N 503-FZ "On Amendments to the Federal Law "On Production and Consumption Waste" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation".* (In Russian).
3. *Forecast for the development of the forestry sector of the Russian Federation until 2030.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2012, 96 p. (In Russian).
4. Akim E. L., Rogovina S. Z., Berlin A. A. Fatigue strength of wood and relaxation state of its polymer components. *Reports of the Academy of sciences*, Moscow, Publishing house RAS, 2020. (In Russian).
5. Safonov Yu. K., Evdokimov N. V. *Pyknometer.* Patent RU111663U1, 2011. (In Russian).

## РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДВП ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ

Л. В. Замазий\*, А. А. Леонович

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет*

*им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург*

*E-mail: artistik98@mail.ru*

На базе кафедры технологии древесных и целлюлозных композитных материалов (ТДиЦКМ) университета изготовлены образцы древесных плит из отходов, образующихся при производстве растительного масла, в частности, подсолнечной лузги. Проведены физико-механические испытания образцов, принято решение, что лузга может представлять интерес для плитного производства.

*Ключевые слова: подсолнечная лузга, ДВП, экология, антипирен КМ.*

Сложный процесс получения подсолнечного масла связан с его выделением из семян подсолнечника, выращиваемого в стране на площади в несколько миллионов гектар. Оставшаяся после выделения семян лузга нуждается в эффективной утилизации.

Мы предприняли попытку получить с использованием лузги плитного материала по двум традиционным схемам. Первая схема соответствует технологии древесностружечных плит (ДСП), когда связующее наносится на частицы без дополнительной подготовки и материал прессуется при соответствующей температуре. Вторая схема, когда лузга обрабатывается с выделением волокон, из которых изготавливают материал типа древесноволокнистых плит (ДВП) по мокро-сухому способу.

### *Методическая часть*

Лузгу обрабатывали карбамидоформальдегидной смолой (КФС) с параметрами: концентрация  $C = 50 \%$ ,  $pH = 8.5$ . Формировали образец  $220 \times 220$  мм и прессовали при максимальном давлении  $P = 5$  МПа, при температуре  $T = 180 - 200$  °С.

Из лузги, подверженной обработке 18 %-ным раствором NaOH, в течение двух часов при температуре  $T = 90$  °С, с последующим размолотом на волокна, отливали на сетке и формировали образцы по трем вариантам: без обработки связующим; с обработкой КФС с расходом 25 и антипирена КМ с расходом 15 на 100 масс. ч. лузги, а третий обрабатывали только антипиреном с тем же расходом, что и во втором варианте. Массу формировали и изготавливали образцы по мокро-сухому способу ДВП, прессовали со ступенчатым сбросом давления при максимальном  $P = 5$  МПа и температуре  $T = 200 \pm 5$  °С.

Плотность и прочность полученных образцов определяли по ГОСТ 27935-88, водопоглощение и набухание фиксировали в течение 2–24 часов.

Для информации: относительно безопасности полученных плит они были подвержены огневому испытанию. Испытания проводили на горизонтально расположенных полосках образцов длиной 8 см, ширина 1,5 см. На каждом образце через 1 см была нанесена разметочная шкала для фиксации прохождения пламени вдоль образца. Далее следовало определение начальной массы, после чего они были помещены в горизонтальной плоскости на сетку с размерами ячеек 10 мм. Инициатором возгорания служила спиртовка с высотой пламени  $50 \pm 5$  мм, она оказывала воздействие в течение 30 с, после чего ее убрали.

### *Результаты и обсуждение*

В таблице 1 приведены показатели плит, изготовленных по варианту ДСП.

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств плит из подсолнечной лузги по варианту ДСП

Вариант	Вид и количество модифицирующей добавки, на 100 масс. ч. лузги	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Бизг, МПа	Разбухание по толщине за 120 мин, %	Водопоглощение за 120 мин, %
1	КФС 10	359	0,82	20,00	98,21
2	КФС 20	414	1,56	15,63	66,50
3	КФС 30	450	2,56	18,50	59,56
4	КФС 30 + КМ 10	557	1,18	70,45	108,12

Приведенные в таблице данные значительно отличались от требований, предъявляемых к какому-нибудь виду древесных плит, и не могут представлять практического интереса. Анализируя низкое качество образцов, отметим, что поверхность частиц плохо смачивается КФС. Наружная часть лодочек, естественно, смачивается еще хуже, чем внутренняя, а контакт между частицами происходит преимущественно по наружным поверхностям. Вследствие плохой смачиваемости адгезия олигомера оказывается низкой. Мы увеличили расход связующего до 30 масс. ч. с целью образования полимерной сетки, прочность которой и должна обеспечить повышение прочности плитного материала. Тем не менее даже существенное повышение расхода КФС не привело к желаемому росту прочности.

Введение антипирена КМ, который дополнительно к снижению горючести должен обеспечивать повышение пластичности лузги, не приводило к повышению прочности результата. Одной из причин служит отсутствие диффузии в структуру частичек, а нахождение на поверхности уменьшает поверхность контакта связующего с поверхностью лузги. Таким образом, вместо положительного действия антипирена КМ [1] в данном случае мы наблюдаем его отрицательное влияние на прочность, которая понижается с 2,56 до 1,18 МПа из-за снижения реальной площади склеивания.

Что касается водостойкости плит, то они характеризуются относительно низким разбуханием из-за гидрофобности лузги, но значительным водопоглощением вследствие отсутствия монолитности и большего объема пустот. Об этом свидетельствует низкая плотность материала. Вода свободно заполняет поры.

Относительно четвертого варианта следует отметить, что незначительный пластифицирующий эффект приводит к росту плотности на 20 %, но без роста прочности. Водорастворимый антипирен КМ за период прессования не потерял способность к растворению и химически не провзаимодействовал с лузгой, в результате чего плиты характеризуются пониженной по сравнению с вариантами 1-3 водостойкостью.

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимизацией рецептурных или технологических параметров нельзя получить плиты, отвечающие требованиям стандарта на ДСП. Такие мероприятия, как увеличение расхода связующего до 30 масс. ч. и введение пластификатора, не приводят к заданному результату из-за низких основных показателей, испытывать их на огнезащищенность не было смысла.

Более перспективным представляется выделить из подсолнечной лузги волокно, с тем, чтобы проверить возможность получить плиты, подобные древесноволокнистым достаточной прочности. Такое предположение основывается на увеличении удельной поверхности волокон, по сравнению с исходной лузгой, а соответственно, даже при той энергии межчастичных взаимодействий можно получить рост прочности материала. В этом случае правильнее говорить о межволоконном взаимодействии, как это принято в технологии ДВП. При варке лузги с последующим размолотом в ролле и нейтрализацией сульфатом алюминия активизируется поверхность, что будет, помимо геометрического фактора, способствовать межволоконному взаимодействию.

Для подтверждения изготовлены плиты по 3 вариантам с различным составом из полученного волокна. Результаты физико-механических испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели физико-механических свойств плит, изготовленных из волокна подсолнечной лузги

Вариант	Вид и количество модифицирующей добавки, на 100 масс. ч. лузги	h, мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Бизг, МПа	Приведенная прочность, Б/р	Разбухание по толщине за 120 мин, %	Водопоглощение за 120 мин, %	Разбухание по толщине за 24 часа, %	Водопоглощение за 24 часа, %
1	Без добавки	1,90	790	22,55	0,029	19,8	78,92	22,60	92,59
2	КМ 15	3,15	956	26,88	0,028	8,09	66,61	12,5	71,23
3	КФС 25 + КМ 15	2,10	1014	25,96	0,026	23,73	52,49	25,16	56,10

Первый вид плит был без какой-либо добавки, влажность волокна составляла 81 %. Был сформирован ковер и подвержен горячему прессованию на сетке при температуре  $T = 200 \pm 5$  °С и продолжительностью 10 мин. Предварительная попытка сократить режим до четырех минут привела к низкой прочности образцов, причем за время прессования избыточная влажность не удалялась и прочность не получала развитие.

В варианте 1 сформированный в горячем прессе материал обладал достаточной плотностью и пригодной прочностью. Если сравнивать приведенную прочность, то традиционно для ДВП процессы за время прессования 10 мин включают процессы сушки до 2 % влажности, в которых так называемые водоразрушаемые связи получают развитие. Прессование на сетке способствует удалению избыточной влажности в виде пара.

В варианте 2, когда в механизм плитообразования включается пластификация антипиреном КМ, плотность образцов существенно возрастает, что влечет за собой не только некоторый рост прочности, но и увеличение водостойкости. Последнее связано с тем, что водорастворимый антипирен частично завершил свои превращения.

Дополнительно введенный КФС (вариант 3) увеличивает плотность, но мало влияет на прочность, что подтверждает так называемая приведенная прочность. Одной из причин может являться щелочной характер массы при варке лузги, что обуславливает затруднение поликонденсационного отверждения КФС. Более того, нейтрализация сульфатом алюминия также не способствует поликонденсации КФС, для чего требуется слабокислая среда.

Таким образом, перевод лузги в состояние волокон, включая химическое взаимодействие, открывает возможность к получению материала, приближенного по структуре и свойствам к твердым ДВП.

Представляется целесообразным также оценить горючесть материала, поскольку есть все основания считать, что плиты будут характеризоваться большей пожарной безопасностью по сравнению со стандартными ДВП из-за меньшей горючести самой лузги. Результаты, полученные при огневых испытаниях по каждому варианту плит, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Огневые испытания плит

Вариант	Вид и количество модифицирующей добавки, на 100 масс. ч. лузги	Начальная масса образца, г	Длина прохождения пламени, мм	Продолжительность пламенного горения, с	$\Delta m, \%$
1	Без добавки	1,98	20	87	22,73
2	КМ 15	3,32	0	Отсутствует	3,92
3	КФС 25 + КМ 15	2,43	10	47	5,20

Испытания, проведенные на полосках, в горизонтальном положении показали, что образец из лузги горит крайне вяло, представляет собой нечто среднее между тлением и пламенным горением, не продвигаясь за 20 мм. Сравнивая с поведением образцов стандартных ДВП, отметим, что последние горят устойчивым пламенем, которое активно распространяется на весь образец. Антипирен КМ снижает горючесть практически до нуля в отличие от образцов из лузги без добавок.

Наличие в составе связующего КФС приводит к дальнейшему снижению горючести, что выражается в отсутствии пламенного горения и уменьшении потери масс. Причина может состоять в большей плотности образца, в большей его монолитизации благодаря сшивающему действию карбамидного полимера. Некоторые значения имеет также большая начальная масса образца 2 по сравнению с 1 и 3.

Переход к обработке лузги по технологии начальной варки целлюлозы и выделение из нее волокна открывает возможность с минимальным расходом связующего или без него перейти к получению плит типа ДВП. В этом состоит принципиальное отличие данной работы от ранее выполненных исследований, где для достижения качества использовалось чрезвычайно большое количество связующего [2-3].

Вариант использовать лузгу в качестве топлива недостаточно эффективен [4], поскольку насыпная масса ее низкая и горит она хуже, чем древесина. Из нее предварительно до сжигания следует делать пеллеты, для чего потребуются разработка специальной технологии.

### **Заключение**

1. Утилизировать лузгу, образующуюся при выделении семян подсолнечника, предлагается по двухэтапной технологической схеме. На первом этапе лузгу подвергают щелочной варке и размолу с отливом на сетке. В результате получают волокна для дальнейшего получения ДВП. Тогда на втором этапе по технологии мокро-сухого способа следует изготавливать плитный материал, либо без добавления связующего, либо с добавлением антипирена КМ и карбамидоформальдегидного связующего.
2. Плиты прессуют по ступенчатому графику при максимальном давлении в 5 МПа и температуре  $200 \pm 5$  °С в течение 10 мин, с временной поправкой на толщину сформированного материала. Полученный плитный материал по свойствам аналогичен твердым ДВП. Дополнительно материал характеризуется пониженной горючестью и его можно проверять на соответствие НПБ 244-97.
3. В развитии технологии при дополнительной сушке на первом этапе и влажности волокон 6–8 % возможно изготавливать плитный материал по сухому способу ДВП.

### **Список литературы**

1. Леонович А. А. Новые древесноплитные материалы. СПб.: Химиздат, 2008. 160 с.
2. Патент № 2196045 С2 Российская Федерация, МПК В27N 3/02, С08L 97/02. Способ изготовления плит из подсолнечной лузги: № 2000121318/13: заявл. 08.08.2000: опубл. 10.01.2003 / С. С. Глазов; заявитель Воронежская государственная лесотехническая академия.
3. Озерова Н. В. Плитные строительные материалы из растительных отходов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Озерова Наталья Викторовна, 05.23.05. Пенза, 2000. 23 с.
4. Козлов Е. А. Использование лузги подсолнечника в качестве топлива // Образование, наука, производство: VIII Международный молодежный форум (Белгород, 15-16 октября 2016 года). Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2016. С. 1902-1904.

## EXPANSION OF THE RAW MATERIAL BASE OF FIBERBOARD USING SUNFLOWER HUSK

L. V. Zamazyi\*, A. A. Leonovich

*Saint Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, Russia*  
*E-mail: artistik98@mail.ru*

On the basis of the Department of Technology of Wood and Cellulose Composite Materials (TDiCCM) of the University, samples of wood slabs were made from waste generated during the production of vegetable oil, in particular, sunflower husks. Physical and mechanical tests of the samples were carried out, it was decided that the husk may be of interest for plate production.

**Keywords:** *sunflower husk, fiberboard, ecology, flame retardant KM.*

### References

1. Leonovich A. A. *Novye drevesnoplitnye materialy*. St. Petersburg, Himizdat, 2008. 160 p. (In Russian).
2. Glazov S. S. *Sposob izgotovleniya plit iz podsolnechnoj luzgi*. Patent RF no. 2196045, 2003. (In Russian).
3. Ozerova N. V. *Plitnye stroitel'nye materialy iz rastitel'nyh othodov: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchjonoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk 05.23.05*, Penza, 2000, 23 p. (In Russian).
4. Kozlov E. A. *Ispol'zovanie luzgi podsolnechnika v kachestve topliva. Obrazovanie, nauka, proizvodstvo: VIII Mezhdunarodnyj molodjozhnyj forum*, Belgorod, 2016, pp. 1902–1904. (In Russian).

УДК 338.4

ГРНТИ 06.71.03

## ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ НА ЦЕПИ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. Ю. Ившин\*, А. Н. Назарова

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*  
*E-mail: s.ivshin@mail.ru*

Пандемия коронавируса в сильной мере отразилась на сложившихся тенденциях в цепях поставок целлюлозно-бумажной продукции как на отечественном рынке, так и на международном. Образовавшиеся на этом фоне колебания спроса изменили структуру потребительского рынка. Влияние пандемии на цепи поставок продукции ЦБП отличалось в зависимости от сегментов рынка. Увеличение спроса на определенные виды упаковки было обеспечено за счет роста продаж в сегменте электронной коммерции, продовольственных товаров, а также медицинских изделий. Противоположная ситуация наблюдалась в спросе на газетную бумагу, а также офсетную и бумагу для полиграфии. В целом общий индекс производства бумаги и картона имеет положительную динамику. Этому способствовало перепрофилирование многих производств на актуальную, востребованную продукцию ЦБП, а также реструктуризация рынков и ориентация на экспорт.

**Ключевые слова:** *цепи поставок продукции ЦБП, целлюлозно-бумажная продукция, тенденции рынка ЦБП, цепи поставок продукции целлюлозно-бумажной промышленности.*

Пандемия COVID-19 усилила сложившиеся тренды изменения цепей поставок целлюлозно-бумажной продукции. Так, переход работы на дистанционный режим сократил потребление бумаги, а перевод магазинов в онлайн увеличили спрос на упаковку. Для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) 2020 г. был годом

переосмысления основных направлений развития отрасли. Снижение внутреннего спроса на многие виды продукции ЦБП усилило диверсификацию продуктовых линеек. Предприятия отрасли были вынуждены переориентироваться на новые рынки и внедрять подходящие логистические схемы.

В предшествующий 2019 г. коронавирусной пандемии индекс производства бумаги и бумажных изделий составил 103,6 % по отношению к 2018 г., который был зафиксирован на отметке в 112,6 % в сравнении с предыдущим периодом. На протяжении 7 лет объемы варки целлюлозы древесной росли, однако в 2019 г. произошел спад в размере 3,8 % [6].

Таблица – Производство продукции ЦБП за 2017 – 2020 гг.

Продукция	Ед. измерения	Объем производства по годам				Изменение 2018 к 2017 гг., %	Изменение 2019 к 2018 гг., %	Изменение 2020 к 2019 гг., %
		2017	2018	2019	2020			
Целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов	тыс. тонн	8320	8578	8250	8765	3,1	-3,8	6,2
Бумага и картон	тыс. тонн	8710	9058	9131	9537	4,0	0,8	4,4
в том числе:								
бумага газетная в рулонах или листах	тыс. тонн	1438	1527	1516	1314	6,2	-0,7	-13,3
бумага офсетная	тыс. тонн	442	452	436	419	2,3	-3,5	-3,9
картон тарный (крафт-лайнер) небеленый, немелованный	тыс. тонн	1788	1865	1 644	1954	4,3	-11,8	18,9
Бланки из бумаги или картона, млн штук	млн штук	2106	1895	1 949	1781	-10,0	2,8	-8,6
Обои бумажные	млн усл. кусков	136,9	136,7	152,0	169,0	-0,1	11,2	11,2
Полотенца СГИ	млн штук	1462	1813	1839	1698	24,0	1,4	-7,7
Картон гофрированный	млн м <sup>2</sup>	2724	2752	2931	3153	1,0	6,5	7,6
Ящики из негофрированного картона	млн м <sup>2</sup>	679	734	795	807	8,0	8,4	1,5

Из таблицы видно, что в 2019 г. производственные показатели продукции ЦБП в целом имеют положительную динамику за исключением отдельных колеблющихся позиций. Выпуск бумаги и картона увеличился на 0,8 против 4 % в 2018 г. Темпы производства офсетной и газетной бумаги в 2019 г. также снизились на 3,5 и 0,7 % соответственно. Годом ранее выпуск офсетной бумаги был увеличен на 2,3 %, а газетной поднялся на 6,2 %.

До пандемии сложился положительный тренд в производстве такой товарной группы, как «Полотенца санитарно-гигиенические и тампоны из бумажной массы, бумаги, целлюлозной ваты и полотна из целлюлозных волокон», объемы выпуска которой увеличились на 1,4 % в 2019 г., а в предшествующем году произошел значительный скачок в размере 24 % по отношению к 2017 г. [2].

Также производство обоев в 2019 г. набрало уверенный рост, который составил 11,2 %. По оценке BusinesStat, выпуск обоев за последние 5 лет значительно увеличился. Так, к 2020 г. данный показатель вырос с 136,7 млн до 152,0 млн условных кусков, что составляет 11,2 %. Такой прогресс также связан с импортозамещением. Падение рубля в 2014 г. сократило доступность импортных обоев, а также напряженность в российско-украинских отношениях привела к ограничению поставок из Украины, производители которой являлись основными импортерами на рынке обоев в России. Помимо этого, весомая доля пришлась на экспорт обоев в нашу страну, который увеличился более чем в 2 раза, прибавив 35,3 млн условных кусков с 2015 по 2019 год. Это также связано с курсом конвертации рубля, позволившему повысить спрос на отечественные обои на рынках в большинстве стран СНГ [3].

Повышенный спрос на тароупаковку задает положительную динамику производственных показателей в секторе упаковки из картона и гофрокартона как на внешнем рынке, так и на внутреннем. Увеличившийся спрос на гофрокартон обусловлен его низкой стоимостью, высокой прочностью, привлекательным видом закрытой гофры, удобством доставки и легкостью сборки. Повышенный спрос той продукции просматривается на оптовых и розничных рынках. Выпуск тарного немелованного картона в 2018 г. был увеличен на 4,3 %, однако в 2019 г. данный показатель был снижен на 11,8 %, что в натуральном выражении составило 1865 и 1644 тыс. тонн соответственно.

Противоположная ситуация в 2019 г. наблюдается в сегменте складных ящиков из негофрированного картона, объем выпуска которого составил 795 млн кв. м, что ниже прошлогоднего уровня на 8,4 %. Годы ранее данный показатель возрастал на 5 и 8 % в 2017 и 2018 гг. соответственно.

Начавшаяся пандемия в 2020 г. усилила основные тенденции в выпуске продукции ЦБП и внесла корректировки в структуры цепей поставок этой продукции. Большинство предприятий отрасли, несмотря на сложившиеся сложности, увеличивали объемы производства и экспорта продукции.

Так, в целом в 2020 г. основные показатели в целлюлозно-бумажной отрасли сохранили положительную динамику. Производственные показатели древесной целлюлозы и целлюлозы из прочих волокнистых материалов в 2020 г. выросли на 6,2 % по отношению к предыдущему году. Выпуск бумаги и картона за этот отрезок времени поднялся на 4,4 %. По отдельным категориям производство продукции в ЦБП разнится.

В наиболее сложное положение попали предприятия, специализирующиеся на выпуске газетной бумаги. Критическое падение спроса, вызванное пандемией в 2020 г., сократило выпуск газетной бумаги на 13,3 % и составило 1,3 млн т. Также отдельные геополитические аспекты отразились на перераспределении товарных потоков этой продукции. На рынке Индии, являющимся основным для экспорта российской газетной бумаги, на протяжении последних двух лет складывалось затруднительное положение, обусловленное вводом ввозной таможенной пошлины на газетную бумагу из ряда стран, в том числе из России, а также по результатам антидемпингового расследования дополнительных пошлин для российских предприятий. В связи с этим вектор материального потока этой продукции сменил направления на рынки Латинской Америки, Африки и Азии. Однако среднемесячный экспорт сократился на 30–40 тыс. т. На многих предприятиях произошла смена профиля выпуска продукции на более востребованную, например, упаковочную бумагу.

Также из-за перехода рекламы в онлайн-медиа выпуск офсетной бумаги в 2020 г. сократился на 3,9 % и составил 419 тыс. т. По причине внедрения цифрового документооборота и удаленного формата работы, связанного с принятием мер по предотвращению распространения коронавирусной инфекции, произошло снижение потребления офисной бумаги. Закрытие большинства торговых комплексов, ограничения работы предприятий сегмента HoReCa – ресторанов, кафе, баров и отелей повлияли на

производство санитарно-гигиенических изделий, которое сократилось на 7,7 %. Из-за дистанционного обучения объемы выпуска школьных тетрадей снизились на 7,8 % [5].

Противоположную ситуацию можно наблюдать в производстве упаковки, спрос на которую остается растущим. В первую очередь это связано с развитием электронной коммерции и трендов, направленных на «зеленую экономику». Безусловно, переход работы магазинов в онлайн-пространство повысило спрос на тароупаковку, а замена пластиковой упаковки на более экологичную увеличило производство бумажной упаковки. Так в 2020 г. выпуск крафт-лайнера увеличился на 18,9 %, что составило порядка 2 млн т, при этом из-за снижения средней плотности уменьшился граммаж изделий, и в перерасчете на метры квадратные этот показатель вырос на 21,8 %, что составляет 12,9 млрд кв. м.

Производство тест-лайнера выросло на 15,8 %, достигнув отметки в 946 тыс. т, что в переводе в квадратные метры составило 6,45 млрд, подняв данный показатель на 23,8 %. Производство гофробумаги также увеличилось на 10,6 %, составив практически 2 млн т в натуральном выражении. При этом объемы производства полуцеллюлозного флютинга сократились на 5,1 %, достигнув отметки в 359 тыс. т, а макулатурного – увеличились на 14,8 %, составив 1628 тыс. т. Также производство гофрокартона в 2020 г. прибавило к допандемийному уровню 7,6 %, образовав 3153 кв. м. Стоит отметить, что гофрокартон в рулонах и листах имеет относительно малый удельный вес готовой продукции, что отражается на повышенных логистических затратах [4].

Из-за введенных мер по профилактике COVID-19, приостановивших ряд предприятий в нашей стране, выпуск обоев в 2020 г. сильно колебался. Так, в первой половине года произошло сильное сокращение по отношению к аналогичному периоду прошлого года, но в целом в данном сегменте объемы производства смогли выровняться и увеличиться на 11,2 %, до 169 млн условных кусков. В перспективе на ближайшие 3 года ожидается возвращение производства обоев на докризисный уровень. Так выпуск обоев и обойных покрытий на конец 2024 г. должен будет обеспечить рост объемов в данном сегменте на 15,4 % по отношению к допандемийному 2019 г., составив 175,4 млн условных кусков. Значительное влияние на рост этого показателя может оказать полный запрет на импорт обоев из Украины [3].

В целом в 2021 г. сложившиеся тенденции в производстве продукции ЦБП продолжают сохраняться. В первом полугодии 2021 г. по отношению к аналогичному периоду в 2020 года можно наблюдать незначительное сокращение выпуска древесной целлюлозы на 0,1 %, что составило 4,4 млн т.

Индекс производства бумаги и бумажных изделий за первое полугодие 2021 г. составил 109,6 % в сравнении с предшествующим годом.

Объем производства бумаги и картона сохранил положительную динамику и увеличился на 5,9 % по отношению к аналогичному периоду 2020 г. В первую очередь рост обеспечен за счет увеличения выпуска крафт-лайнера и гофроупаковки. В анализируемом периоде значительно выросли объемы выпуска ящиков из гофрокартона.

Также по итогам первого полугодия 2021 г. наблюдается увеличение объемов производства продукции в сегменте бумажных обоев, который продолжает увеличиваться третий год подряд. В рассматриваемом периоде было выпущено 92,1 млн условных кусков бумажных обоев, составив темп роста данного показателя в размере 50,4 % относительно того же периода в предшествующем году.

Несмотря на положительную динамику в производстве продукции ЦБП, можно с уверенностью сказать, что пандемия оказала значительное влияние на цепи поставок целлюлозно-бумажной продукции, внося корректировки в глобальные цепи поставок, вызвав колебания спроса и изменив структуру потребительского рынка. В зависимости от сегмента рынка отличалось и влияние пандемии. Основной рост спроса на отдельные виды упаковки обеспечен преобладанием популяризации онлайн-торговли. Драйверами роста в сегменте упаковки стали продовольственные товары, отдельные виды продукции в направлении e-commerce и медицинские изделия. Но при этом можно наблюдать снижение спроса на такие

виды упаковки, как индустриальной, например, упаковка в автомобильной промышленности или мешки для стройматериалов. Тем не менее значительный спад выпуска продукции ЦБП приходится на газетную бумагу, бумагу для полиграфии и офсета. При этом общий индекс производства бумаги и картона остался положительным. Львиная доля, приходящаяся на тарный картон, была усилена предприятиями, которые смогли перепрофилироваться и выпускать наиболее востребованную продукцию ЦБП.

Сложная ситуация на рынке вторсырья, вызванная пандемией, также оказала влияние на цепи поставок продукции ЦБП из вторсырья. Из-за понижения деятельности различных компаний, по причине ограничительных мер, снизилось и образование макулатуры. Также меры, направленные на профилактику распространения COVID-19, коснулись и предприятий, которые занимаются сбором, сортировкой и транспортировкой макулатуры, из-за чего такие предприятия были вынуждены приостанавливать свою деятельность. В результате этого на рынке вторсырья образовался дефицит, который привел к возрастанию цен в этом сегменте, что, в свою очередь, привело к увеличению спроса на чистоцеллюлозные продукты.

Международные цепи поставок продукции ЦБП поддерживались девальвацией рубля. В первую очередь рост экспорта целлюлозы, бумаги и картона был обеспечен конкурентоспособной ценой, что также подтолкнуло развитие цепей поставок целлюлозно-бумажной продукции на международные рынки.

Увеличение индекса производства продукции ЦБП обеспечено за счет реструктуризации самого выпуска этой продукции. Ориентация производств на изменившийся спрос в условиях пандемии изменила и структуры цепей поставок продукции ЦБП. Увеличение мощностей по отдельным видам продукции возможно лишь благодаря концентрации на основном виде деятельности. Резкое вливание инвестиций в обеспечение выпуска востребованной продукции может осуществляться за счет передачи непрофильных процессов третьей стороне, к таким на предприятиях ЦБП в первую очередь относятся транспортировка и складирование готовой продукции [1]. Изменение в составе участников логистической цепи продукции ЦБП актуализирует тренд увеличения количества логистических посредников. В том числе к актуальным моментам относятся быстроменяющийся спрос на продукцию ЦБП в условиях пандемии, а также связанные с ней геополитические факторы.

#### Список литературы

1. Ившин С. Ю., Терешкина Т. Р. Тенденции в использовании логистического аутсорсинга в цепях поставок целлюлозно-бумажной продукции // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. № 3 (221). С. 84-95.
2. Волкова А. В. Рынок тарного картона [Электронный ресурс]. URL: <https://dcenter.hse.ru/otrasli> (дата обращения: 09.09.2021).
3. ГК «РосБизнесКонсалтинг» [Электронный ресурс]. URL: <https://rbc.ru/> (дата обращения: 09.09.2021).
4. Российская Ассоциация организаций и предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (РАО «Бумпром») [Электронный ресурс]. URL: <https://bumprom.ru/analytics/statistika-i-analitika-tsbp/> (дата обращения: 09.09.2021).
5. ЛесОнлайн [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lesonline.ru/analytic/> (дата обращения: 09.09.2021).
6. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/115141> (дата обращения: 09.09.2021).

## THE IMPACT OF THE PANDEMIC ON THE SUPPLY CHAIN OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY

S. Yu. Ivshin\*, A. N. Nazarova

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: s.ivshin@mail.ru*

The coronavirus pandemic has greatly influenced the existing tendencies in the pulp and paper production supply chains both on the domestic and international markets. The resulting fluctuations in demand have changed the structure of the consumer market. The impact of the pandemic on the supply chains of pulp and paper products differed depending on the market segments. The increase in demand for certain types of packaging was due to increased sales in the segment of e-commerce, food products, as well as medical products. The opposite situation was observed for newsprint, as well as offset and printing paper. Overall, the overall index of paper and paperboard production had a positive trend. This was facilitated by the retooling of many production facilities for relevant, in-demand pulp and paper products, as well as market restructuring and export orientation.

**Keywords:** *pulp and paper products supply chains, pulp and paper products, pulp and paper market trends, pulp and paper products supply chains.*

### References

1. Ivshin S. Yu., Tereshkina T. R. Tendentsii v ispol'zovanii logisticheskogo outsorsinga v tsepyakh postavok tsellyulozno-bumazhnoy produktsii. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 2015, vol. 221, no. 3, pp. 84–95. (In Russian).
2. Volkova A. V. *Rynok tarnogo kartona*. URL: <https://dcenter.hse.ru/otrasli> (accessed 09.09.2021). (In Russian).
3. *GK «RosBiznesKonsalting»*. URL: <https://rbc.ru/> (accessed 09.09.2021). (In Russian).
4. *Rossiyskaya Assotsiatsiya organizatsiy i predpriyatiy tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti (RAO «Bumprom»)*. URL: <https://bumprom.ru/analytics/statistika-i-analitika-tsbp/> (accessed 09.09.2021). (In Russian).
5. *LesOnline*. URL: <https://www.lesonline.ru/analytic/> (accessed 09.09.2021). (In Russian).
6. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki*. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/115141> (accessed 09.09.2021). (In Russian).

УДК 676.166

ГРНТИ 66.45.31

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ РАЗМОЛА НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Е. В. Каплев, Л. В. Юртаева\*, Д. Ю. Васильева, Ю. Д. Алашкевич

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск*

*E-mail: 2052727@mail.ru*

Ключевым процессом обработки растительных волокон является операция размола. Целью размола является придание необходимых механических свойств готовому продукту. В статье рассмотрены ножевой и безножевой способы размола, гидродинамика движения волокнистой суспензии в рабочих органах дисковой мельницы и экспериментальной безножевой размалывающей установки типа «струя–преграда». Рассмотрен способ получения порошковой целлюлозы с использованием предварительного размола.

*Ключевые слова:* размол, безножевая установка типа «струя–преграда», дисковая мельница, порошковая целлюлоза, степень полимеризации.

Целлюлозно-бумажная промышленность является одной из крупнейших отраслей лесного хозяйства, которая объединяет технологические процессы получения целлюлозы, бумаги, картона и бумажно-картонных изделий. Сегодня мировая целлюлозно-бумажная промышленность выпускает более 600 видов бумаги различного назначения. Изготовление такого многочисленного производства бумаги и картона ставит перед исследователями и производителями задачу – получение бумаги с различными качественными и количественными характеристиками. А включение порошковой целлюлозы в состав бумажной композиции будет способствовать не только повышению бумагообразующих свойств и физико-механических характеристик готовых отливок [1], но и окажет дополнительное армирующее действие на готовые бумажные материалы, что особенно важно для упаковочных видов бумаг [2]. А межмолекулярное взаимодействие полимерных компонентов за счет сближения волокон при уплотнении материала и направленное ориентирование макромолекул повысит печатные свойства бумаги, что позволит наносить более качественный рисунок.

Бумагой и картоном называют материалы, изготовленные преимущественно из специально обработанных растительных волокон, связанных между собой силами поверхностного сцепления в листовую форму. Под качеством бумаги понимают бумагообразующие свойства волокнистой суспензии (межволоконные силы связи, длина волокна, внешняя удельная поверхность) и физико-механические характеристики готовой продукции (разрывная длина, сопротивление продавливанию, раздирание, число двойных перегибов), отвечающие требованиям современного производства. Несомненно, все процессы бумажного производства оказывают существенное влияние на свойства готовой бумаги. Однако важнейшим технологическим процессом при получении бумажно-картонных изделий является операция размола.

При размоле растительных волокон в водной среде происходит как чисто механический процесс изменения размеров и формы волокон, так и коллоидно-химический процесс, называемый гидратацией волокон. Гидратация при размоле проявляется в набухании гидрофильных растительных волокон, что в конечном итоге увеличивает способность волокон связываться между собой с образованием прочной структуры листа.

В зависимости от характера воздействия на волокно размалывающее оборудование можно условно разделить на две большие группы: ножевые машины и машины, использующие безножевые способы обработки.

Независимо от типа ножевого размалывающего аппарата принцип размола волокна один и тот же. Он заключается в том, что волокнистая суспензия непрерывным потоком поступает к ножам рабочего органа аппарата, состоящего из неподвижно закрепленных ножей и вращающихся ножей, расположенных на барабане, конусе или диске. Проходя между ножами ротора и статора, зазор между которыми можно регулировать, волокна подвергаются режущему действию кромок ножей и укорачиваются или расщепляются в продольном направлении, раздавливаются торцовыми поверхностями ножей, расчесываются и фибриллируются.

Для получения бумаги максимальной прочности не следует интенсивно размалывать волокнистый материал. Необходимо воздействовать на волокно так, чтобы освободились содержащиеся в его наружных слоях гемицеллюлозы, частично или полностью разрушался наружный слой вторичной стенки и сохранялся неразрушенным средний слой. Подобная обработка без рубки волокон достигается при размоле волокнистых материалов в машинах, использующих безножевые способы воздействия. При этом волокна получают развитую сеть межволоконных связей и подвергаются значительно меньшему укорочению и разрушению, чем в ножевых машинах. Отливаемое полотно бумаги имеет более высокие физико-механические показатели.

Анализ литературных данных показал, что исследования в области влияния способов размола волокнистой массы на процесс получения порошковой целлюлозы практически отсутствуют.

В связи с этим в СибГУ им. М. Ф. Решетнева на кафедре машин и аппаратов промышленных технологий ведутся исследования в области размола волокнистых материалов как ножевым, так и безножевым способами размола.

Как уже было сказано выше, в процессе размола в лабораторной дисковой мельнице происходит как механическое, так и гидродинамическое воздействие на волокно. Механические воздействия на волокна в процессе размола проявляются в рубке волокон, их раздавливании, расчесывании с отделением пучков фибрилл и образованием на поверхности волокон своеобразного ворса из отдельных фибрилл (внешняя фибрилляция).

Гидродинамические воздействия выражаются, прежде всего, в ударах волокнистой суспензии о размалывающие органы и стенки размалывающего аппарата. Эти гидродинамические удары дополняют механические воздействия на волокна. Одновременно при этом имеет место трение волокон друг о друга в зоне размола и пульсации гидродинамического давления в узком зазоре между ножами ротора и статора при их набегании и сходе в процессе вращения ротора.

В своей работе Ю. Д. Алашкевич [3] доказал, что в ножевых размольных машинах величина зазора между диском ротора и статора оказывает влияние на характер размола волокнистой массы. С повышением удельного давления продолжительность размола сокращается, расход энергии уменьшается, волокна укорачиваются, механическая прочность бумаги снижается. Поэтому размол волокнистых материалов необходимо вести с оптимальным удельным давлением.

Безножевая размольная установка типа «струя–преграда» включает в себя два способа размола, имеется возможность регулировать степень воздействия как ножевого, так и безножевого способа, тем самым обеспечивая необходимое качество обработки волокна [4]. Существует два способа исключения влияния ножевой гарнитуры на установку для выделения безножевого способа размола. Для этого ротор ножевой гарнитуры установки оставляют неподвижным, а измельчение массы осуществляют безножевым способом с неподвижной преградой. Для того чтобы проводить безножевой размол с подвижной преградой, устанавливается максимальный зазор между ножами ротора и статора, таким образом ножевая часть мельницы не влияет на интенсивность размола.

Следует отметить, что размол волокнистой массы в безножевой установке типа «струя–преграда», происходит не только за счет удара, но и за счет эффекта кавитации [5], который заключается в образовании разрывов сплошности в некоторых участках потока движущейся капельной жидкости. Разрывы происходят в тех частях потока, где возникает значительное локальное падение давления в результате перераспределения давления, вызванного движением жидкости. Для размола волокнистой массы этот эффект является позитивным, от которого зависит степень обработки волокна.

Цель исследования заключалась в сравнительном анализе влияния ножевого (лабораторная дисковая мельница) и безножевого (установка типа «струя–преграда») способов размола на процесс получения порошковой целлюлозы.

В задачи исследования входило:

- обработка волокнистой массы механическим способом с использованием ножевого и безножевого способов размола;
- обработка волокнистой массы химическим способом;
- определение степени полимеризации порошковой целлюлозы в зависимости от степени помола;
- сравнение морфологических свойств порошковой целлюлозы, размолотой ножевым и безножевым способом размола, при разной степени помола.

В качестве сырья использовались образцы беленой сульфатной хвойной целлюлозы (БСХЦ) (полуфабрикат РОП ОАО «Группа Илим», г. Братск). Обработку исходного сырья осуществляли механическим и химическим способами. Механический способ включал в себя размол на ножевой и безножевой установках, концентрацией волокнистой массы 1 % от 15 до 75 °ШР.

Размол волокнистой суспензии ножевым способом проводили на дисковой мельнице (рис. 1). В таблице представлена техническая характеристика данной мельницы.

Таблица 1 – Технические характеристики дисковой мельницы

Габаритные размеры дисковой мельницы, м	0,95x0,6x0,8;
Межножевой зазор, мм	0 ÷ 6
Число оборотов вала ротора, об/мин	0 ÷ 2000
Материал ножевой гарнитуры	Сталь 40ХН
Номинальная мощность двигателя, кВт	22
Число оборотов выходного вала двигателя, об/мин	750

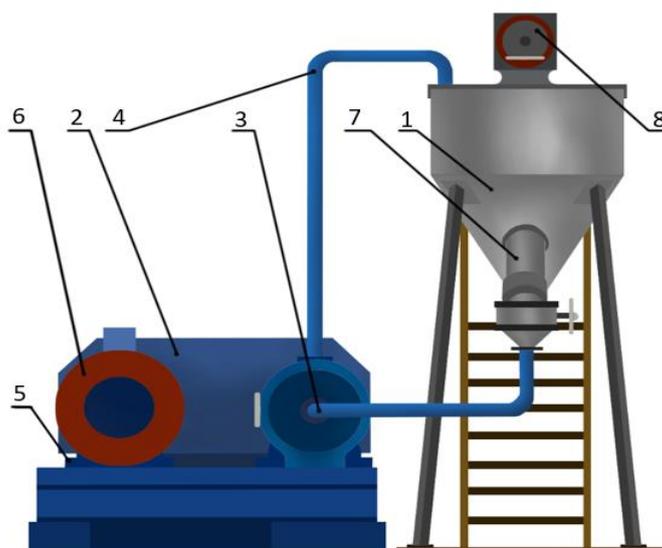


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки ножевого размла:  
1 – гидоразбиватель; 2 – ременная передача; 3 – труба нагнетательная;  
4 – труба циркуляционная; 5 – крепление; 6, 7, 8 – электродвигатель

Конструктивные и технологические характеристики используемых в эксперименте рисунков гарнитур с прямолинейной и с криволинейной формой ножей, разработанных группой ученых кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, представлены на рисунке 2 [6].



Рисунок 2 – Схема и характеристика ножевых размалывающих гарнитур:  
слева – гарнитура традиционная восьмисекторная с прямолинейной формой ножей с углом 45°; справа – гарнитура с криволинейными ножами серповидной формы

Размол волокнистой суспензии безножевым способом проводили на безножевой размольной установке типа «струя-преграда» (рис. 3).

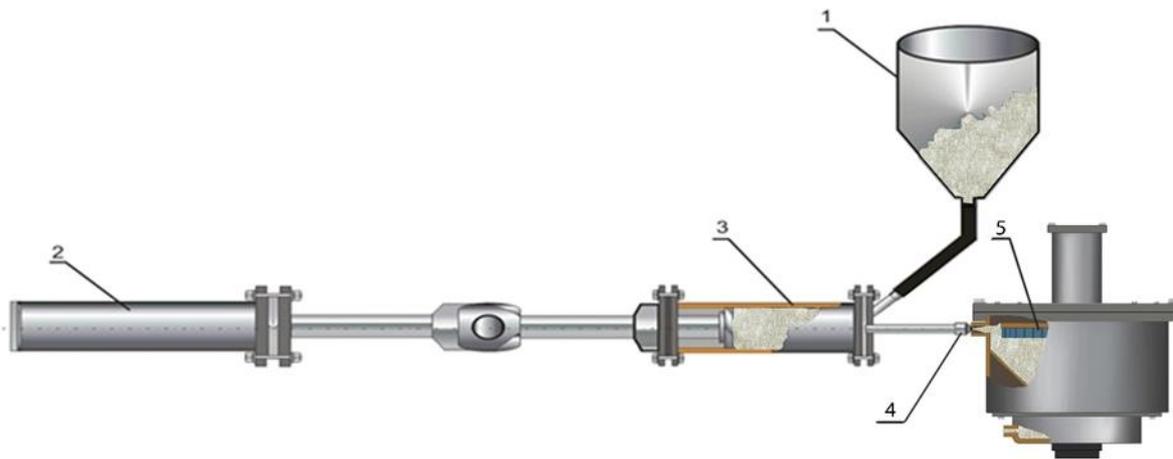


Рисунок 3 – Безножевая размольная установка типа «струя–преграда»:  
1 – емкость; 2 – приводной цилиндр; 3 – рабочий цилиндр; 4 – насадка; 5 – подвижная преграда

После размола образцы хвойной целлюлозы подвергались гидролизу с использованием 2,5 N соляной кислоты с целью деструкции волокнистых форм целлюлозы. Затем полученную целлюлозу подвергали размолу до порошкообразного состояния.

Для определения характеристической вязкости и степени полимеризации порошковой целлюлозы применяли железовиннонатриевый комплекс (ЖВНК), представляющий собой комплекс железа с тартратом натрия в растворе гидроксида натрия [7].

На графиках (рис. 4) представлены морфологические свойства волокнистой суспензии и порошковой целлюлозы при разных степенях помола после размола на ножевой и безножевой установках.

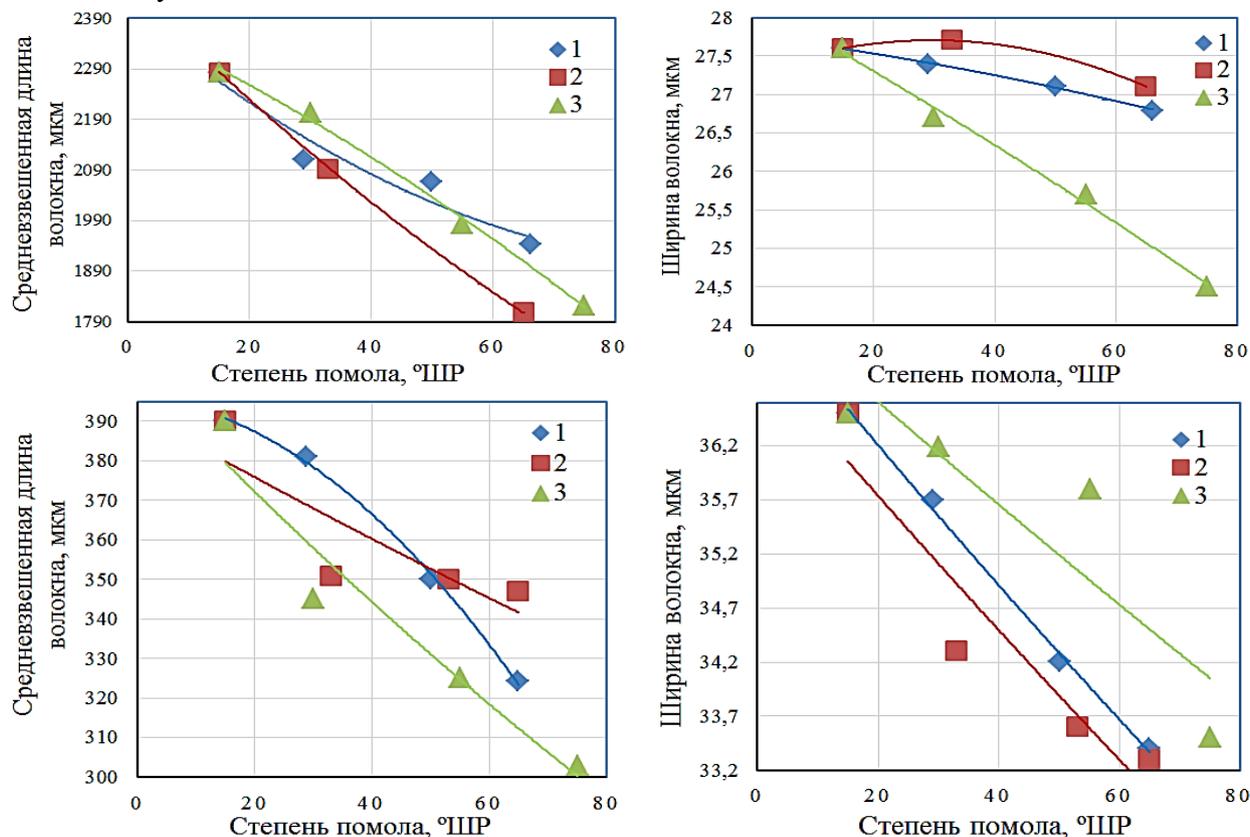


Рисунок 4 – Зависимость морфологических свойств от степени помола:  
сверху – до гидролиза, снизу – после гидролиза; 1 – гарнитура традиционная восьмисекторная с прямолинейной формой ножей с углом 45°, 2 – гарнитура с криволинейными ножами серповидной формы, 3 – безножевая размалывающая установка типа «струя–преграда»

Как видно из графиков, качественные характеристики, независимо от способа размола, практически не отличаются друг от друга. На наш взгляд, это объясняется тем, что в процессе размола внутри клеточной стенки, независимо от способа обработки, произошло разрушение межмолекулярных связей с образованием зон смещения структурных элементов в волокнах. Что же касается количественных характеристик, то они значительно отличаются друг от друга в зависимости от степени помола. Так, например, в процессе гидролиза средневзвешенная длина порошковой целлюлозы при обработке ножевым способом уменьшилась на 13,38 %, а при предварительном размоле на безножевой установке типа «струя–преграда» – на 22,31 %. Т.е. кислота проникла в появившиеся микротрещины, вступила во взаимодействие со свободными гидроксильными группами целлюлозного комплекса после размола на безножевой установке наиболее интенсивнее. Это еще раз подтверждает, что при безножевом способе размола волокна получают более разветвленную сеть межволоконных связей, наиболее пластичны и фибриллированы. В результате расклинивающее действие кислоты внутри волокна приводит к более интенсивному расщеплению его на отдельные фрагменты в процессе гидролиза.

### Выводы

1. На основании проведенного исследования показана возможность использования предварительного как ножевого, так и безножевого способов размола волокнистых материалов при получении порошковой целлюлозы.
2. Было выявлено, что после безножевого способа размола средневзвешенная длина волокон уменьшается намного интенсивнее, чем после ножевого способа.

### Список литературы

1. Осовская И. И. Комплексное использование древесины: природные и химические волокна: учебное пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2015. 96 с.
2. Зырянов Д. Е., Каплев Е. В., Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д. Влияние процесса размола волокнистой массы на процесс получения порошковой целлюлозы: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых "Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности". СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. С. 231–235.
3. Алашкевич Ю. Д., Мицкевич Ф. И. Влияние параметров ножевых размалывающих машин на качество помола волокнистых полуфабрикатов // Перспективы развития химической промышленности в Красноярском крае: Тезисы докладов краевой науч. конф. Красноярск, 1982. С. 54–56.
4. Кутовая Л. В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «струя–преграда»: дис... канд. техн. наук. Красноярск, 1998. 150 с.
5. Канавеллис Р. Струйный удар и кавитационное разрушение // Теоретические основы инженерных расчетов. 1968. Т. 90, № 3. С. 39–98.
6. Шуркина В. И., Юртаева Л. В., Марченко Р. А., Федорова О. Н., Алашкевич Ю. Д. Исследование свойств волокнистой массы при использовании гарнитуры с изогнутой формой ножей // Решетневские чтения: материалы XXI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (Красноярск, 02-11 ноября 2017 г.). Ч. 2. Красноярск: Изд-во СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2017, С. 169–171.
7. Оболенская А. В., Щеголев В. П., Аким Г. Л. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 412 с.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF GRINDING METHODS ON THE PROCESS OF OBTAINING POWDERED CELLULOSE

E. V. Kaplyov, L. V. Yurtaeva\*, D. Yu. Vasilyeva, Yu. D. Alashkevich

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

*E-mail: 2052727@mail.ru*

The key process of processing plant fibers is the grinding operation. The purpose of grinding is to impart the necessary mechanical properties to the finished product. The article discusses knife and knife-free grinding methods, the hydrodynamics of the movement of a fibrous suspension in the working bodies of a disc mill and an experimental knife-free grinding plant of the "jet-barrier" type. A method for obtaining powdered cellulose using pre-grinding is considered.

**Keywords:** *grinding, knife-free installation of the «jet-barrier» type, disc mill, powdered cellulose, degree of polymerization.*

### References

1. Osovskaya I. I. *Complex use of wood: natural and chemical fibers*: textbook. St. Petersburg, SPbGTURP, 2015, 96 p. (In Russian).
2. Zyryanov D. E., Kaplev E. V., Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D. Influence of the process of grinding of fibrous mass on the process of obtaining powdered cellulose. *Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference of students and young scientists "Modern trends in the development of chemical technology, industrial ecology and technosphere safety"*, St. Petersburg, HSTE SPbSUITD, 2021, pp. 231–235. (In Russian).
3. Alashkevich Yu. D., Mickiewicz F. I. Influence of parameters of knife grinding machines on the quality of grinding of fibrous semi-finished products. *Thisis of regional scientific conf. Prospects for the development of the chemical industry in Krasnoyarsk Krai*, Krasnoyarsk, 1982, pp. 54-56. (In Russian).
4. Kutova L. V. *Complex parameter processing fibrous suspensions a blade during intralask implementation method to install type of "jet-obstacle"*: Diss. Ph. D., Krasnoyarsk, 1998, 150 p. (In Russian).
5. Kanavellis R. Jet impact and cavitation destruction. *Theoretical foundations of engineering calculations*, 1968, vol. 90, no. 3, pp. 39–98. (In Russian).
6. Shurkina V. I., Yurtayeva L. V., Marchenko R. A., Fedorova O. N., Alashkevich Yu. D. Investigation of the properties of fibrous mass when using a headset with a curved shape of knives. *Reshetnev readings: proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference dedicated to memory of General designer of rocket-space systems academician M. F. Reshetnev*, Krasnoyarsk, 2017, Part 2, pp. 169–171. (In Russian).
7. Obolenskaya A. V., Shchegolev V. P., Akim G. L. etc. *Practical work in chemistry of wood and cellulose*. Moscow, Lesn. prom-t, 1985, 412 p. (In Russian).

## **ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ БУФЕРНЫХ СВОЙСТВ И КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ (ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ) ОТРАБОТАННЫХ СУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ (ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ)**

Д. М. Нонин\*, О. В. Федорова, А. А. Таразанов, Л. Г. Махотина, Э. Л. Аким

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: nonindan@mail.ru*

Сульфитный способ варки целлюлозы является одним из распространенных методов производства целлюлозы в мире. Данный способ варки заключается в обработке древесины при повышенной температуре и давлении варочным раствором, содержащим диоксид серы и соли сернистой кислоты. Важным параметром, обладающим большой значимостью над химией сульфитной варки, является активная кислотность среды (водородный показатель). Водородный показатель характеризует сульфирование лигнина – один из основных процессов варки. Активная кислотность среды определяет условия варки, а также качество получаемых продуктов из отработанных варочных щелоков. Основными побочными продуктами являются лигносульфонаты. Данный побочный продукт сульфитной варки нашел в мире настолько широкое применение, что современные направления биорефайнинга древесины и лигнина рассматривают как одно из направлений сульфирования сульфатного лигнина.

*Ключевые слова: ЦБП, сульфитный процесс, целлюлоза, лигносульфонаты, биорефайнинг*

В настоящее время происходят существенные изменения в структуре требования к продукции целлюлозно-бумажной промышленности. Но в большинстве промышленно-развитых стран запасы ели и пихты значительно сокращаются и преобладающими становятся ресурсы сосны и лиственной древесины. Разрабатываются новые методы сульфитной варки. Наиболее преимущественным методом является нейтрально-сульфитный, основными особенностями которого оказываются интенсификация процесса сульфитной варки, повышенный выход и качество показателей вырабатываемой целлюлозы при снижении себестоимости, увеличенная мощность производства, а также более расширяется диапазон перерабатываемых пород древесины.

Известно, что лигносульфонаты представляют собой сложное соединение производных фенилпропановых единиц лигнина, с эфирными, ацетальными и углерод-углеродными связями, являясь, таким образом, модифицированным лигнином. Качественный и количественный состав лигносульфонатов, получаемых при проведении процесса делигнификации древесины, зависит от протекания основных химических процессов при различных способах варки, от свойств компонентов древесины, с которыми реагируют варочные растворы, а также от состава варочных растворов и условий варки [1,3]. В свою очередь на качество полученных лигносульфонатов влияет не только исходное сырье, но и кислотность варочного раствора.

Задачей нашего исследования было изучение возможности применения потенциометрического титрования как метода оценки буферных свойств и кислотности среды (водородного показателя) отработанных сульфитных щелоков. Объектами исследования являлся отработанный щелок после сульфитной варки целлюлозы в промышленных условиях – ЦБК № 1 и ЦБК № 2, а также в лабораторных условиях по режимам, моделирующим варку на этих ЦБК.

Кислотность и буферность конечных растворов может служить дополнительным показателем конца варки. Кривые потенциометрического титрования позволяют определить остаточную кислотность анализируемых растворов, данные представлены в таблице.

Таблица – Остаточная кислотность щелоков после варки целлюлозы

Щелок после варки	Остаточная кислотность, г/дм <sup>3</sup>
Варка лабораторная № 1 по режиму ЦБК № 1	1,123
Варка лабораторная № 2 по режиму ЦБК № 1	1,215
Варка лабораторная № 3 по режиму ЦБК № 1	1,316
ЦБК № 1	1,123
ЦБК № 2	1,927
Варка лабораторная по режиму ЦБК № 2	2,145

Для потенциометрического титрования отбирали пробу объемом 20 мл отработанного сульфитного щелока. К отобранному объему добавляют дистиллированную воду также объемом 20 мл. Измерительным прибором является стандартный стеклянный электрод для лабораторных исследований с рН-метром.

На рисунках 1 – 6 изображены графики потенциометрического титрования отработанных сульфитных щелоков ЦБК № 1 и ЦБК № 2 и щелоков, полученных в лаборатории ВШТЭ СПбГУПТД. Полученные кривые характеризуются двумя скачками (что показывает их способность к проявлению буферных свойств) и удерживается на уровне, при котором варка проходит без сильного разрушения целлюлозы и нежелательных превращений лигнина. Буферные свойства растворов позволяют в течение варки поддерживать активную кислотность на уровне, исключающем возможность разрушения целлюлозы, уменьшается интенсивность гидролиза полисахаридов. Таким образом, кривые потенциометрического титрования позволяют определить не только остаточную кислотность среды (водородный показатель) отработанных сульфитных щелоков (лигносульфонатов), но и буферную емкость этих систем.



Рисунок 1 – Потенциометрическое титрование гидроксидами натрия лабораторного щелока после варки № 1 по режиму ЦБК № 1



Рисунок 2 – Потенциометрическое титрование гидроксидами натрия лабораторного щелока после варки № 2 по режиму ЦБК № 1



Рисунок 3 – Потенциометрическое титрование гидроксидом натрия лабораторного щелока после варки № 3 по режиму ЦБК № 1



Рисунок 4 – Потенциометрическое титрование гидроксидом натрия щелока после варки ЦБК № 1



Рисунок 5 – Потенциометрическое титрование гидроксидом натрия щелока после варки ЦБК № 2



Рисунок 6 – Потенциометрическое титрование гидроксидом натрия лабораторного щелока после варки по режиму ЦБК № 2

### Список литературы

1. Непенин Н. Н., Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы. Производство сульфатной целлюлозы: В 3 т. Т. 2. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 597 с.
2. Forest Products Annual Market Review. 2020-2021. Geneva Timber and Forest Study Paper. United Nations. Geneva, 2021. ISBN 978-92-1-117279-9. 88 p.
3. Чудаков М. И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесная промышленность, 1983. 200 с.
4. Wertz J.-L., Deleu M., Coppée S., Richel A. Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries // CRC Press. Taylor & Francis Group, 2018. 308 p.
5. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda (SIRA) 2030 of the FTP. The European Technology Platform (ETP) for the FTP. 2019. 50 p.

### **POTENTIOMETRIC TITRATION AS A METHOD FOR EVALUATING THE BUFFER PROPERTIES AND ACIDITY OF THE MEDIUM (PH VALUE) OF SPENT SULPHITE LIQUORS (LIGNOSULPHONATES)**

D. M. Nonin\*, O. V. Fedorova, A. A. Tarazanov, L. G. Makhotina, E. L. Akim  
*Higher School of Technology and Energy SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*  
*E-mail: nonindan@mail.ru*

The sulfite pulp cooking method is one of the most common pulp production methods in the world. This cooking method consists in processing wood with a cooking solution containing sulfur dioxide and sulfurous acid salts at elevated temperature and pressure. An important parameter of great importance over the chemistry of sulfite cooking is the active acidity of the medium (hydrogen index). The hydrogen index characterizes the sulfonation of lignin – one of the main cooking processes. The active acidity of the medium determines the cooking conditions, as well as the quality of the products obtained from spent cooking liquor. The main by-products are lignosulfonates. This by-product of sulfate cooking has found such wide application in the world that modern directions of biorefining of wood and lignin are considered as one of the directions of sulfonation of sulfate lignin.

**Keywords:** CBP, sulfite process, cellulose, lignosulfonates, biorefining

### **References**

1. Nepenin, N. N., Nepenin, Yu. N. *Cellulose Technology. Production of sulfate pulp*: In 3 vol. Moscow, Lesn. prom-st, 1990, Vol. 2, 597 p. (In Russian).
2. *Forest Products Annual Market Review. 2020-2021. Geneva Timber and Forest Study Paper.* United Nations, Geneva, 2021. 88 p. ISBN 978-92-1-117279-9.

3. Chudakov M. I. *Industrial use of lignin*. Moscow, Timber industry, 1983, 200 p. (In Russian).
4. Wertz J.-L., Deleu M., Coppée S., Richel A. *Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018, 308 p.
5. *Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda (SIRA) 2030 of the FTP*. The European Technology Platform (ETP) for the FTP, 2019, 50 p.

УДК 676.032.13; 676.022.6  
ГРНТИ 66.45.31

## **ПЛАНТАЦИОННАЯ ДРЕВЕСИНА ЕЛИ И ЕЕ ПРИГОДНОСТЬ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

О. В. Петруничев\*, Н. А. Мочалова, О. П. Ковалева

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург  
E-mail: obulb@yandex.ru*

Актуальность темы обусловлена проблемой обеспечения целлюлозно-бумажных предприятий древесным сырьем. Технология плантационного выращивания древесины для целевого использования в целлюлозно-бумажном производстве была разработана в Лесотехнической академии в 80-х годах прошлого века, были произведены посадки модельных деревьев.

Объект исследований – образцы плантационных насаждений ели обыкновенной (лат. *Picea abies*). Цель исследований – пригодность плантационной древесины ели к использованию в производстве целлюлозы. Результаты исследования свойств плантационной еловой древесины и качество целлюлозы, полученной из нее сульфатным способом, показали перспективность для дальнейших исследований.

*Ключевые слова: древесина ели, плантационное выращивание, целлюлоза.*

Развитие плантаций ускоренного роста приводит к принципиальному изменению на мировых рынках лесной и целлюлозно-бумажной продукции. За рубежом искусственное выращивание древесины разделяют на четыре группы: лесные культуры (tree plantations); сельскохозяйственные фермы с выращиванием древесины (tree farms); сельскохозяйственные лесные плантации (agro forestry); промышленные древесные плантации (industrial tree plantations, ИТР). В России промышленные древесные плантации пока отсутствуют [1, 2].

Особенности промышленных древесных (лесосырьевых) плантаций:

- закладываются на вырубках, гарях и других свободных площадях лесного фонда;
- для посадок используются элитный семенной материал и саженцы с закрытой корневой системой.

Цель посадок – выращивание быстрорастущих пород с целевым назначением: для предприятий химической переработки древесины; оборот рубки древесины составляет 5–25 лет в зависимости от породы, скорости ее роста и целевого использования [3].

Для создания промышленных плантаций используются быстрорастущие породы: лиственные – эвкалипт, тополь, акация; хвойные – сосна радиальная (клон NZ-55), скрученная и карибская. Средний общий прирост древесины на плантациях составляет 15–30 м<sup>3</sup>/га в год в зависимости от породы, климата, почвы, применяемых технологий посадки и ухода. Для сравнения: среднегодовой прирост в лесах России составляет 1,2 м<sup>3</sup>/га, а в скандинавских лесах – 4–6 м<sup>3</sup>/га.

В 1981 году в европейской части страны были развернуты работы по созданию постоянной лесосырьевой базы на основе плантационного способа воспроизводства древесины сосны и ели. Задачей этих работ было достижение объемов закладки плантаций

на уровне 35 тыс. га в год, оборотов рубки 45–50 лет с запасом 300–350 м<sup>3</sup>/га, суммарного объема ежегодных поставок древесины с плантаций не менее 20 млн м<sup>3</sup> в год.

К выполнению поставленной задачи были привлечены научно-исследовательские институты ЛенНИИЛХ, БелНИИЛХ, УкрНИИЛХ, научно-производственное объединение «Силава» (Латвия). Общее научное руководство было возложено на проф. И. В. Шутова (ЛенНИИЛХ). Был выполнен значительный объем научных исследований по созданию лесных плантаций сосны и ели и изучен отечественный и зарубежный опыт выращивания высокопродуктивных культур этих пород с широким охватом факторов, влияющих на скорость роста и формирование древесины.

Основные результаты научно-исследовательских работ и рекомендации по плантационному выращиванию сосны и ели были опубликованы в монографии проф. И. В. Шутова «Плантационное лесоводство» (2007 г.). Исследования показали, что экономически целесообразный возраст рубки на высокопродуктивных плантациях – более 50 лет, т.к. именно к этому возрасту запас древесины на плантациях составит 300–350 м<sup>3</sup>/га. В то же время мировой опыт показывает, что на лесосырьевых плантациях быстрорастущих пород за этот срок выращивают 1200–2000 м<sup>3</sup>/га с двумя – четырьмя оборотами рубки в зависимости от выбора породы и целевого назначения [3].

В лаборатории кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов были проведены сульфатные варки плантационной древесины ели (табл.). Варке подвергали щепу, приготовленную ручным способом, размеры щепы: длина 25 мм, ширина 20–25 мм; толщина 1,8–2,0 мм. Для варки использовался раствор белого щелока (NaOH + Na<sub>2</sub>S). Гидромуль варки 5; расход активной щелочи на варку 16–20 % от массы а.с. древесины в ед. Na<sub>2</sub>O.

Плотность древесины, определенная измерениями объема и массы образцов [3], составила в среднем 330 кг/м<sup>3</sup>, влажность древесины – 11 %.

Варку проводили в автоклавах вместимостью 0,4 дм<sup>3</sup>. Подъем температуры до конечной 170 °С осуществляли в течение 120 мин. Варку на конечной температуре продолжали 150–170 мин для поиска оптимальной степени делигнификации согласно расчету Н-фактора. По окончании варки полученную целлюлозу подвергали промывке и сортированию в лабораторной ссече, затем анализировали.

Таблица – Результаты варки плантационной древесины ели

Наименование показателя	Образец древесины								
	3			5			6		
Расход а.щ. на варку, % к массе а.с. древесины	20	18	16	20	18	16	20	18	16
Выход целлюлозы, %	40,5	42,0	46,7	40,3	41,0	42,2	41,5	42,6	47,3
В том числе непровар, %	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0,9
Степень делигнификации, ед. Каппа	8	22	22	7	29	20	8	25	21

При получении целлюлозы для производства бумаги желательно сохранение гемицеллюлоз, при этом содержание остаточного лигнина может достигать 3–5 %. Выход сульфатной целлюлозы из древесины ели, предназначенной для производства бумаги и картона, обычно составляет 42–46 %. Как видно из рисунков 1 и 2, предварительные варки показали, что для делигнификации плантационной древесины ели требуется меньший расход активной щелочи для достижения высокого выхода целлюлозы при степени делигнификации 20–22 ед. Каппа.

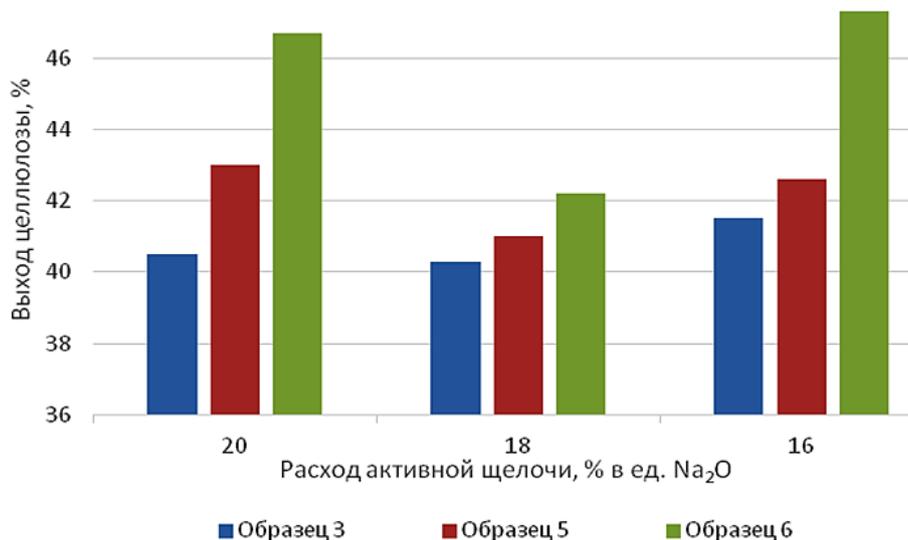


Рисунок 1 – Зависимость общего выхода целлюлозы от расхода активной щелочи

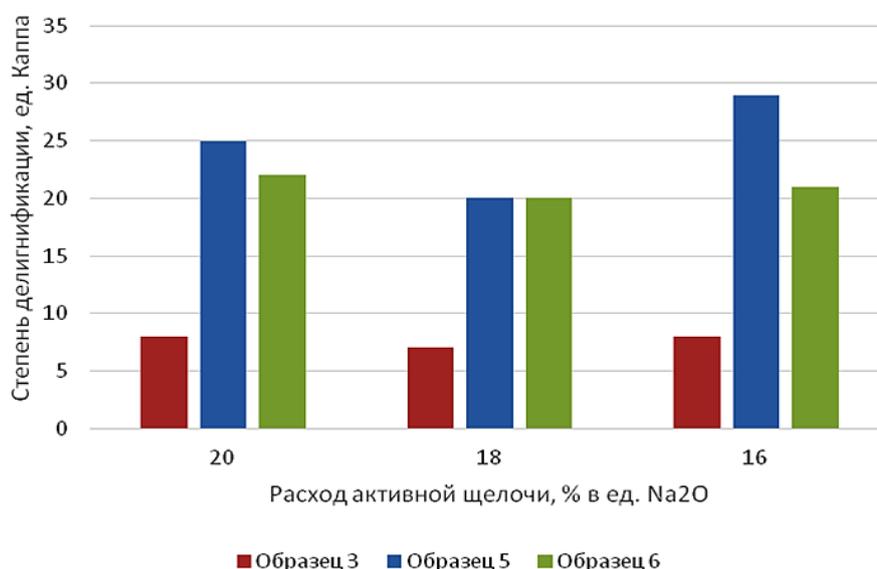


Рисунок 2 – Зависимость степени делигнификации целлюлозы от расхода активной щелочи

Поскольку с увеличением степени провара (снижением содержания остаточного лигнина) снижается выход целлюлозы за счет растворения лигнина, гемицеллюлоз и частично самой целлюлозы, для дальнейших исследований и подтверждения предварительных результатов необходимо предусмотреть снижение расхода активной щелочи на варку до 15 % и сокращение продолжительности варки на 20–30 мин.

### Выводы

Пробные сульфатные варки прошли без затруднений и показали принципиальную возможность применения плантационной древесины ели для производства целлюлозы.

### Список литературы

1. Крылов В. Н., Ковалева О. П., Смирнов А. П. Промышленные лесосырьевые плантации – будущее лесной промышленности России // ЛесПромИнформ. 2015. № 2. С. 76 – 78.
2. Шутов И. В., Маслаков Е. Л., Маркова И. А. и др. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

3. Данилов Д. А., Степаненко С. М. Структура и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 204. С. 35 – 46.
4. Brown C. The global outlook for future wood supply from forest plantations. Global Forest Products Outlook Study. Working Paper 2000.

### **INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF PLANTATION SPRUCE WOOD FOR THE PRODUCTION OF CELLULOSE**

O. V. Petrunichev\*, N. A. Mochalova, O. P. Kovaleva  
*Saint Petersburg forest University, Saint Petersburg, Russia*  
*E-mail: obulb@yandex.ru*

The relevance of the topic is due to the problem of providing pulp and paper enterprises with wood raw materials. The technology of plantation cultivation of wood for targeted use in pulp and paper production was developed at the Forestry Academy in the 80s of the last century, model trees were planted.

The object of research is samples of plantation plantings of common spruce (Latin *Picea abies*). The purpose of the research is the suitability of plantation spruce wood for use in the production of cellulose. The results of the study of the properties of plantation spruce wood and the quality of cellulose obtained from it by the sulfate method have shown promise for further research.

**Keywords:** *spruce wood, plantation cultivation, cellulose*

#### **References**

1. Krylov V. N., Kovaleva O. P., Smirnov A. P. Industrial timber plantations – the future of the Russian forest industry. *LesPromInform*, 2015, no. 2, pp. 76 – 78. (In Russian).
2. Shutov I. V., Maslakov E. L., Markova I. A. et al. *Forest plantations (accelerated cultivation of spruce and pine)*. Moscow, Lesn. prom-st, 1984, 248 p. (In Russian).
3. Danilov D. A., Stepanenko S.M. Structure and density of spruce and pine wood in plantation crops of the Leningrad region. *News of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2014, Issue 204, pp. 35 – 46. (In Russian).
4. Brown C. The global outlook for future wood supply from forest plantations. *Global Forest Products Outlook Study. Working Papers 2000*.

УДК 661.728.66.1  
ГРНТИ 66.45

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Д. А. Прохоров  
*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*  
*E-mail: daniel.prokhorov@gmail.com*

Целлюлозно-бумажная промышленность является одной из самых капиталоемких и неразрывно связана с рядом сложных технологических, экономических, экологических и социальных аспектов. Мировое производство бумаги и картона постоянно увеличивается и согласно последним аналитическим обзорам, несмотря на краткосрочное снижение в 2020 году, вызванное пандемией коронавируса, потребление бумажно-картонной продукции продолжит расти и достигнет, по разным оценкам, 482–572 млн тонн к 2030 году.

Основными драйверами роста являются увеличение населения Земли, сопровождающееся ростом его благосостояния, рост мировой экономики, развитие

интернета и онлайн-торговли, а также усиление тенденций по сокращению использования пластика.

Растущий спрос на бумагу и картон наносит разрушающее воздействие на окружающую среду. В связи с этим важное значение приобретают вопросы рационального использования энергоресурсов, сокращение выбросов углекислого газа, а также использование недревесных ресурсов и вторичного сырья для бумажного производства.

Все это способствует переменам в конъюнктуре бизнеса во всем мире. Основными тенденциями являются увеличение среднедушевого потребления бумажной продукции, рост производства упаковочных и санитарно-гигиенических видов бумаг, увеличение процента уровня сбора и переработки макулатуры от объема образования, оптимизация энергопотребления, а также применение недревесных ресурсов в бумажном производстве.

*Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, производство бумаги, потребление бумаги, конъюнктура рынка, структура волокна, недревесные ресурсы.*

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) является одной из самых капиталоемких и неразрывно связана с рядом сложных технологических, экономических, экологических и социальных аспектов. Мировое производство бумаги и картона постоянно увеличивается, достигнув в 2018 г. уровня 422 млн т [1, 2, 5].

Пандемия коронавируса COVID-19 внесла коррективы в развитие мировой экономики, что повлекло нарушение цепочек поставок вследствие торговых ограничений, а также изменение конъюнктуры рынка. Несмотря на частичную компенсацию падения спроса в сегменте графических бумаг, ростом в сегменте упаковочных и санитарно-гигиенических видов бумаг, мировое производство бумажной продукции в 2020 году снизилось на 5 %.

Согласно последним аналитическим обзорам, средний рост потребления картонно-бумажной продукции до 2025 г. составит 1,1–1,3 % в год, в зависимости от сорта бумаг, при этом производство возрастет до 449 млн т, с увеличением до 482 млн т к 2030 г. [1, 5]. Согласно другим источникам [3], мировое потребление увеличится до 572 млн т к 2030 г.

По современным прогнозам, наиболее интенсивный рост производства и потребления будет продолжаться в регионах с большими запасами дешевого древесного сырья, низких трудозатрат, а также обеспеченных топливными ресурсами. Прежде всего, это Азиатско-тихоокеанский регион (в основном Китай), Южная Америка, Восточная Европа, включая Россию. Данные прогнозы основаны на следующих ключевых факторах:

- увеличение населения Земли от 7,7 (2020 г.) до 9,7 млрд человек (2050 г.), сопровождающееся ростом его благосостояния;
- рост мировой экономики в среднем на 3,2–3,5 % в реальном выражении;
- развитие интернета и онлайн-торговли способствует переменам в конъюнктуре бизнеса во всем мире, что стимулирует повышение спроса на упаковочные виды бумаг;
- уменьшение производства отдельных видов бумажной продукции в условиях возрастающей конкуренции с электронными средствами массовой информации;
- рост спроса на специализированные виды бумаг и картона (медицинская бумага; гибкая упаковка; декоративная бумага; жиростойкая бумага и т.д.), обусловленный технико-технологическим прогрессом и применением новых технологий обработки и пропитки бумажного полотна, позволяет найти им техническое применение в широком спектре отраслей (суммарный объем производства спецбумаг составляет порядка 24 млн тонн) [1];
- усиление тенденций по сокращению использования пластика открывает большие возможности для бумажной продукции в качестве биоразлагаемой альтернативы. В ряде государств уже внедрены соответствующие инициативы и законопроекты. Так, Европарламент в 2018 году одобрил запрет одноразовых изделий из пластика, имеющих альтернативу (одноразовая посуда и столовые приборы) [2, 4].

В настоящее время происходит перенос производственных мощностей из развитых стран в развивающиеся, обусловленный созданием новых современных предприятий в Азии, Восточной Европе и Латинской Америке, на долю которых приходится 82,4, 10,7 и 6,9 %, соответственно, от общего увеличения производства в течение 2005 – 2020 гг. [1]. Исследования крупнейших мировых агентств [10] показывают, что слабая национальная валюта, а также наличие большого количества лесосырьевой базы являются предпосылкой для строительства новых целлюлозно-бумажных предприятий. Подтверждение – строительство в ближайшие 5 лет новых крупных предприятий в России, Бразилии, Уругвае и Чили.

Все это позволяет говорить о происходящем в настоящее время развитии мирового рынка целлюлозно-бумажной продукции в условиях высочайшей конкуренции с изменением глобальных тенденций, которые определяли его развитие в течение предыдущих десятилетий [5, 8, 9, 10]. Одним из главных изменений в структуре рынка за последние годы является смена лидеров (рис. 1): на ведущие позиции в мировом производстве бумаги и картона, опередив США, в 2009 г. вышел Китай [1, 5, 10]. Доля КНР в совокупном объеме мирового производства бумаги и картона выросла за период с 2009 по 2019 г. с 23 до 26 %. В тот же период увеличилась доля ряда развивающихся стран – Бразилии, Индии, в то время как удельный вес России практически не изменился и находится на уровне 2 %. [1, 5].

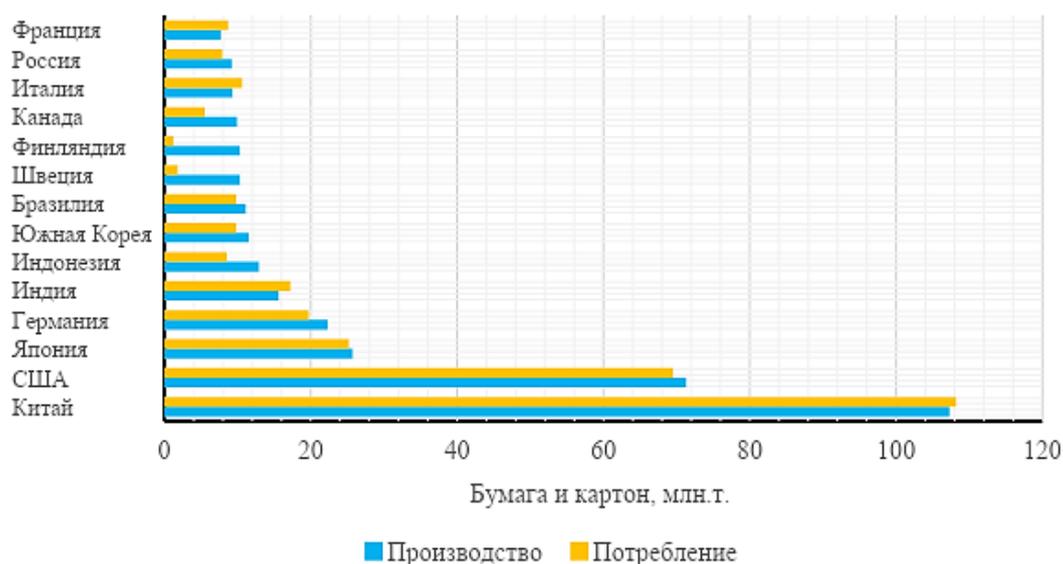


Рисунок 1 – Структура производства и потребления бумаги и картона ведущими странами в 2019 году

Крупнейшими производителями бумаги в мире на данный момент являются Китай, США и Япония, занимая более 50 % от общего объема производства. При этом ведущими странами-импортерами являются США и Германия (10,3 и 8,3 % соответственно), ведущими странами-экспортерами – Китай и Германия (12,9 и 12,2 % соответственно) [8, 9].

Структура изменения спроса, а также прогнозируемые темпы роста потребления картонно-бумажной продукции представлена на рисунке 2. Более половины производства приходится на упаковочные виды бумаг, примерно одну треть занимает производство графических видов бумаг. Наиболее быстрыми темпами в мире будет расти потребление санитарно-гигиенических видов бумаг (3,2 %), тарного картона (2,3 %), картона и бумаги для упаковки (1,6 %) и оберточной бумаги (1,5 %) [1, 3, 5]. В сегменте писчепечатной бумаги к 2030 году ожидается сокращение спроса на 14,7 млн тонн в год вследствие повсеместного перехода на цифровые технологии [2].

За последний год введено в эксплуатацию несколько крупных БДМ. В регионе ЕМЕА это, например, БДМ-2 Söke в Турции (упаковочные виды бумаг – производительность 1,1 млн тонн в год), БДМ-3 Sandersdorf в Германии (упаковочные виды бумаг – 750 тыс. тонн

в год). В 2022 году планируется ввод в эксплуатацию КДМ-1 в Усть-Илимске (упаковочные виды бумага, крафтлайнер – 600 тыс. тонн в год).

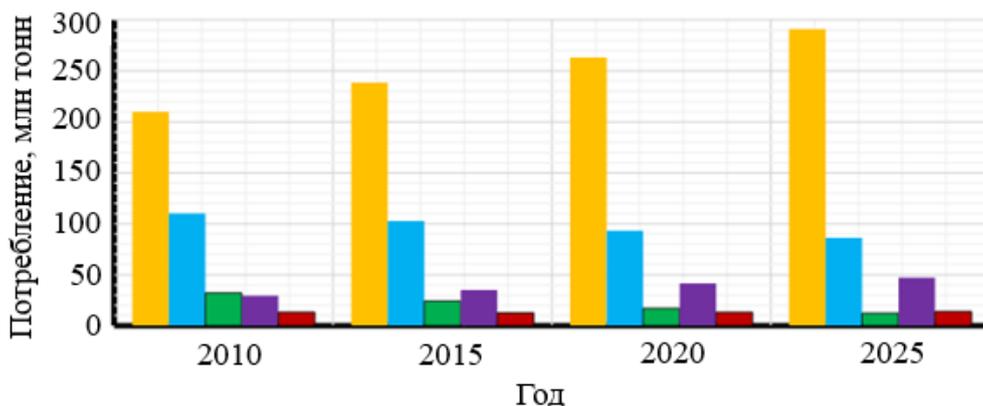


Рисунок 2 – Динамика потребления основных видов бумаги и картона, прогнозируемые темпы роста и их доля в мировом потреблении: (слева-направо) упаковочные виды бумага и картон; писчепечатные виды бумага; газетная бумага; тисью; прочие виды бумага

Крупнейшими производителями бумаги и картона в мире (рис. 3), согласно последним данным [5], являются International Paper (США) и Nine Dragons Paper Holding (Китай). Также в 10 крупнейших производителей входят WestRock (США), Oji Holdings (Япония), DS Smith (Великобритания), UPM (Финляндия), Stora Enso (Финляндия), Smurfit Kappa Group (Ирландия), Nippon Paper Industries (Япония), Lee&Man Paper Manufacturing (Китай).

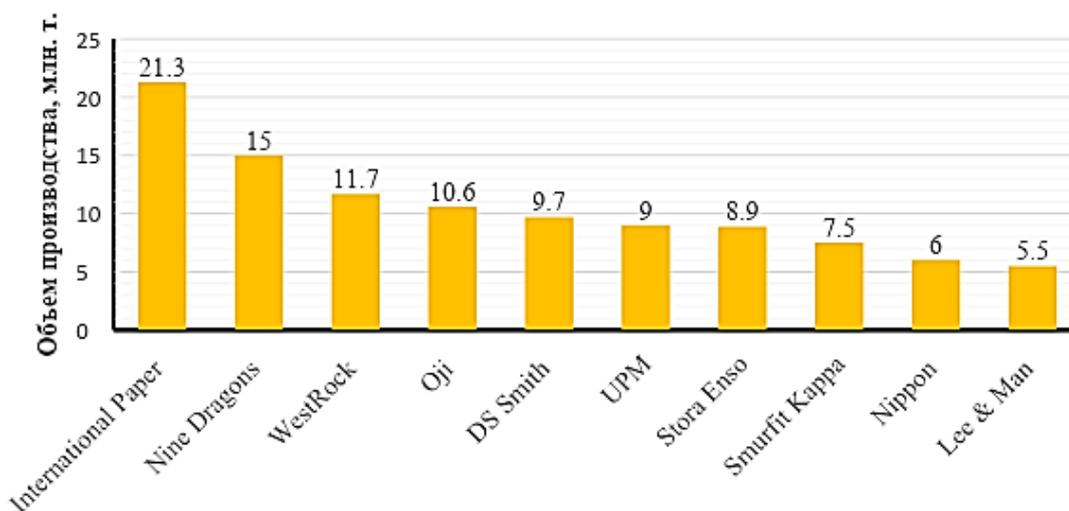


Рисунок 3 – Крупнейшие производители бумаги и картона в мире (2018)

Несмотря на лидерство Китая по суммарным объемам производства и потребления бумажной продукции, важным и также требующим рассмотрения является показатель среднедушевого потребления (рис. 4).

Изучение показателей потребления на душу населения [7] позволяет более полно раскрыть текущий общий уровень развития стран в целом и ЦБП, в частности. Так, средний показатель потребления бумаги в мире составляет 55 кг/человека в год. При этом потребление в Северной Америке находится на уровне в 215 кг/человека в год, тогда как в Африке – на уровне 7 кг/человека в год. Среднедушевое потребление в Китае находится примерно на одном уровне со странами Восточной Европы и составляет 77 кг/человека в год. Потребление в странах Западной Европы почти вдвое больше и составляет 147 кг/человека в год.

Данные последних статистических исследований показывают, что больше всего бумаги потребляют жители Люксембурга (277 кг/человека в год), Германии (251 кг/человека в год) и Австрии (249 кг/человека в год).

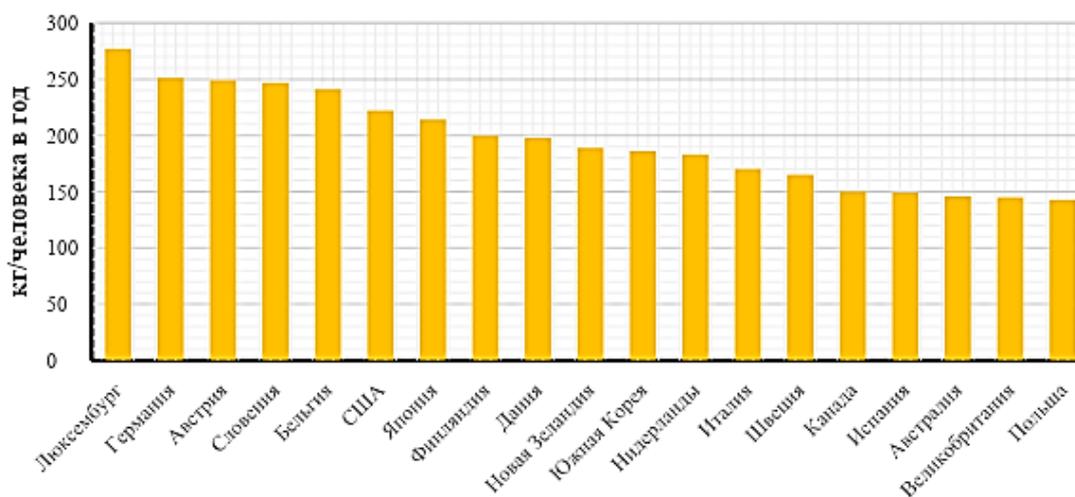


Рисунок 4 – Страны с наибольшим потреблением бумаги на душу населения

Мировое производство волокнистых полуфабрикатов в 2017 году составило 438,5 млн т, из которых доля целлюлозы составила 33 %, древесной массы 8 %, макулатуры 57 %. Одновременно с увеличением объема выпускаемой продукции происходит изменение удельного веса волокнистых полуфабрикатов (рис. 5). Основные изменения за последние 10 лет связаны с ростом доли продукции, произведенной из макулатурного сырья. Относительно низкое снижение доли целлюлозы в будущем обусловлено строительством новых целлюлозных заводов, использующих в качестве сырья эвкалипт и тропические породы древесины. Потребление древесной массы практически не изменится [1, 5].

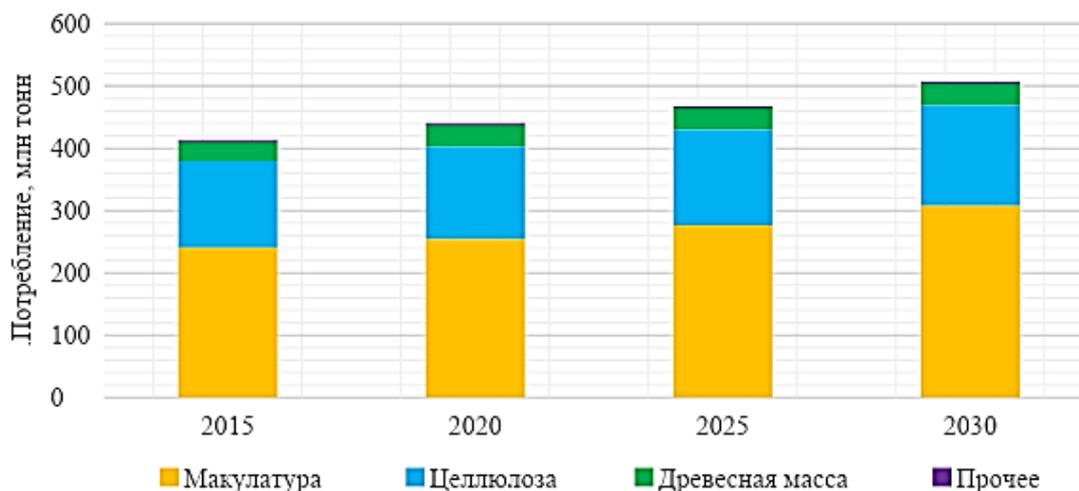


Рисунок 5 – Существующая и прогнозируемая структура потребления волокна

Треть мирового производства целлюлозы направляется на экспорт. Крупнейший импортер целлюлозы – Китай (12 млн тонн), другие страны импортируют менее 3 млн тонн ежегодно каждая. Крупнейшими экспортерами на 2016 год с годовыми объемами от 7 до 11 млн тонн являются Бразилия, Канада и Соединенные Штаты Америки. Лидерами экспорта также являются Чили, Индонезия, Швеция и Финляндия – от 3 до 4,5 млн тонн.

Растущий спрос на бумагу и картон наносит разрушающее воздействие на окружающую среду. В связи с этим важное значение приобретают вопросы рационального использования энергоресурсов, сокращение выбросов углекислого газа, а также использование недревесных ресурсов и вторичного сырья для бумажного производства [6].

Развитые страны широко применяют макулатурное сырье в целлюлозно-бумажной промышленности. Например, уровень сбора и переработки макулатуры в Европе достигает 70–80 % от объема образования, при этом уровень захоронения макулатуры в европейском регионе является крайне низким – до 5 %. Европейскому рынку присуща высокая оборачиваемость макулатуры – 5–6 циклов переработки вторичного сырья. За последние 10 лет доля макулатурного картона в Европе выросла на 10 % и достигла 75 % [2, 3, 4].

В настоящее время также уделяется внимание исследованию возможности применения недревесных ресурсов в бумажном производстве, таких, как, например, лузга подсолнечника или кукурузная шелуха. В ближайшее время для получения так называемой «зеленой марки» (green label) бумажным комбинатам Европы необходимо будет включать определенный процент недревесных ресурсов в качестве используемого волокна. Некоторые бумажные фабрики Германии уже делают первые шаги в этом направлении. Однако возможность применения того или иного вида волокна во многом определяется его доступностью и экономической целесообразностью использования.

#### Список литературы

1. World Paper and Board Forecast. RISI, 2021. 234 p.
2. Key Statistics 2020. European Pulp and Paper Industry. CEPI statistics, 2021. 32 p.
3. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Москва: Правительство Российской Федерации, 2018. 102 с.
4. A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Strategy. European Commission. Brussel, 2018. 107 p.
5. Garside M. Paper Industry – Statistics & Facts. 2019. URL: <https://www.statista.com/topics/1701/paper-industry/> (дата обращения: 09.11.2021).
6. Energy Roadmap 2050. European Commission, 2011. 114 p.
7. Largest per capita paper consuming countries worldwide. Statista, 2018. URL: <https://www.statista.com/statistics/962605/largest-per-capita-paper-consuming-countries-worldwide/#statisticContainer> (дата обращения: 10.11.2021).
8. Workman Daniel. Paper Imports by country. 2020. URL: <http://www.worldstopexports.com/paper-imports-by-country/> (дата обращения: 10.11.2021).
9. Workman Daniel. Paper Exports by Country. 2020. URL: <http://www.worldstopexports.com/paper-exports-by-country/> (дата обращения: 10.11.2021).
10. Fisher Rod. Five Predictions for Global Pulp and Paper Industries in 2020 (and Beyond). 2020. URL: <https://www.forest2market.com/blog/global-pulp-and-paper-industries-2020-predictions> (дата обращения: 10.11.2021).

### **GENERAL CHARACTERISTIC AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE WORLD PULP AND PAPER INDUSTRY**

D. A. Prokhorov

*Higher School of Technology and Energy of Saint Petersburg State University of Industrial  
Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: daniel.prokhorov@gmail.com*

The pulp and paper industry is one of the most capital intensive and inextricably linked to a number of complex technological, economic, environmental and social aspects. World production of paper and paperboard is constantly increasing and based on the latest analytical reviews, despite a short-term decline in 2020, caused by the coronavirus pandemic, will continue to grow by 2030.

The main drivers of growth are the increase in the world's population, accompanied by an increase in their well-being, the growth of the world economy, the development of the Internet and online commerce, as well as the strengthening of trends to reduce the use of plastic.

The growing demand for paper and paperboard is having a devastating impact on the environment. In this regard, the issues of rational use of energy resources, reduction of carbon dioxide emissions, as well as the use of non-wood resources and secondary raw materials for paper production are becoming important. All this contributes to changes in the business environment around the world. The main trends are an increase in the average per capita consumption of paper products, an increase in the production of packaging and sanitary-hygienic types of paper, an increase in the percentage of recycled paper, energy optimization and non-wood resources in paper production.

**Keywords:** *pulp and paper industry, paper production, paper consumption, market condition, fiber content, non-wood fibers.*

### References

1. *World Paper and Board Forecast*. RISI, 2021, 234 p.
2. *Key Statistics 2020. European Pulp and Paper Industry*. CEPI statistics, 2021, 32 p.
3. *Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030*. Government of the Russian Federation, Moscow, 2018, 102 p. (In Russian).
4. *A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Strategy*. European Commission, 2018, Brussel, 107 p.
5. Garside M. *Paper Industry – Statistics & Facts*, 2019. URL: <https://www.statista.com/topics/1701/paper-industry/> (accessed 09.11.2021).
6. *Energy Roadmap 2050*. European Commission, 2011, 114 p.
7. *Largest per capita paper consuming countries worldwide*. Statista, 2018. URL: <https://www.statista.com/statistics/962605/largest-per-capita-paper-consuming-countries-worldwide/#statisticContainer> (accessed 10.11.2021).
8. Workman Daniel. *Paper Imports by country*. 2020. URL: <http://www.worldstopexports.com/paper-imports-by-country/> (accessed 10.11.2021).
9. Workman Daniel. *Paper Exports by Country*. 2020. URL: <http://www.worldstopexports.com/paper-exports-by-country/> (accessed 10.11.2021).
10. Rod Fisher. *Five Predictions for Global Pulp and Paper Industries in 2020 (and Beyond)*. 2020. URL: <https://www.forest2market.com/blog/global-pulp-and-paper-industries-2020-predictions> (accessed 10.11.2021).

УДК 676.2

ГРНТИ 66.35.43

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ БУМАГИ И БИОПОЛИМЕРОВ

С. К. Смульская\*, В. Н. Сунайт, Л. Г. Махотина, М. Ф. Галиханов, С. И. Басырова

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: ssmulskaya@gmail.com*

В настоящее время проблемы экологии актуальны, как никогда, в том числе и для упаковочной отрасли. Далеко не все материалы, используемые в упаковке, можно считать нейтральными по отношению к окружающей среде и человеку. Поэтому последнее десятилетие идет активный поиск альтернативных сырьевых ресурсов, технологий производства и способов утилизации для упаковки. При этом необходимо отметить, что с каждым годом постепенно растет дефицит нефти и газа, из которых производят многие синтетические полимеры.

Одним из таких «альтернативных» материалов являются биополимеры, которые разделяют на биоосновные (bio-based) и биоразлагаемые (biodegradable). Если первые предполагают получение мономера из природного сырья, например, этилена, а затем полимеризацию мономера в полиэтилен, то для вторых ключевой аспект – это возможность

быстрого разложения пластика в естественной среде в течение короткого времени. Производство биополимеров увеличивается с каждым годом и продолжает расти. Сферы их применения довольно обширны.

На сегодняшний день наиболее распространенными биополимерами в упаковочной отрасли являются биоразлагаемые полилактид и крахмал, получаемые на основе растительного сырья, и полибутиратадипинтерефталат, полибутилсукцинат, полигидроксibuтират и другие полигидроксиалконаты, получаемые на основе нефтяного сырья.

Также растет интерес к многослойной упаковке на основе бумаги, в которой для нанесения барьерных покрытий используются биоразлагаемые полимеры.

В данной работе исследовали физико-механические и поверхностные свойства образцов мешочной бумаги с покрытиями из биоразлагаемых полимеров.

*Ключевые слова:* упаковочная отрасль, полимеры, биополимеры, многослойная упаковка, мешочная бумага, физико-механические поверхностные свойства.

Образцы мешочной бумаги с покрытием были получены в Казанском национальном исследовательском технологическом университете.

При получении образцов использовали:

- крафтовую бумагу (производитель «Brauberg»);
- смесь полимеров полибутиратадипинтерефталата и полилактида (PBAT/PLA) марки «CO-PLAS Bio 1002», производитель «Eurotek»;
- поликапролактон (Полиморфус, ГОСТ 22234-76);
- альгинат натрия (производитель «Русхим»);
- гуаровая камедь (производитель «Русхим»).

Покрытия на бумагу-основу наносили на спин-коутере (методом центрифугирования) из расчета на 10 см бумаги 10 мл 1 % раствора полимера, после чего для некоторых образцов проводилась обработка коронным разрядом. Покрытие PBAT/PLA наносили на бумагу методом спекания в сушильном шкафу.

Испытания на физико-механические и поверхностные свойства проводили по стандартным методикам в Высшей школе технологии и энергетики СПбГУПТД. Результаты исследований представлены на рисунках в виде диаграмм.

Наименьшая воздухопроницаемость наблюдается у образца с покрытием PBAT/PLA (рис. 1).

Как известно, воздухопроницаемость зависит от структуры, толщины и массы нанесенного покрытия. Из всех исследованных образцов покрытие PBAT/PLA имеет самую большую массу (33,5 г/м<sup>2</sup>), и при этом оно незначительно увеличивает толщину крафт-бумаги в сравнении с другими, что говорит о глубоком проникании расплава смеси полимеров в капиллярно-пористую структуру бумаги.

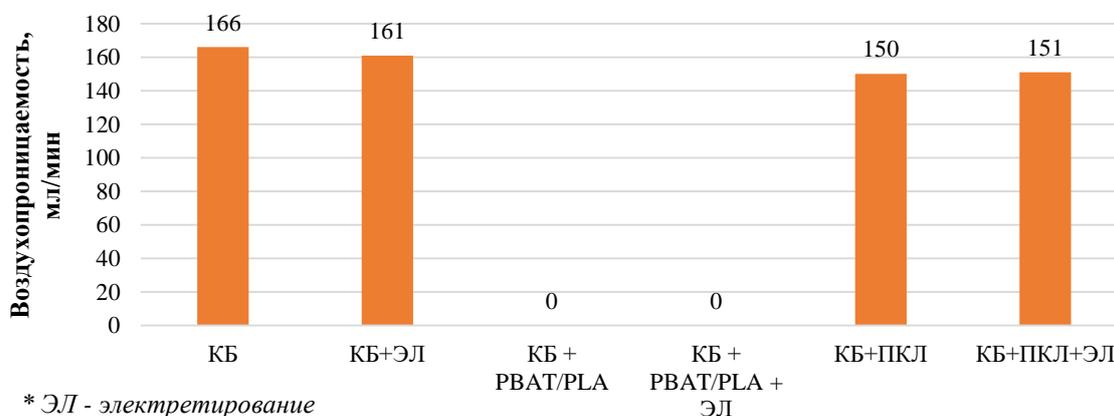


Рисунок 1 – Воздухопроницаемость образцов бумаги с покрытием

На диаграмме (рис. 2) мы видим, что крафт-бумага имеет шероховатость 751 мл/мин. При нанесении покрытия РВАТ/РLА шероховатость падает до 263 мл/мин (то есть на 65 %). Такое резкое снижение шероховатости в случае покрытия РВАТ/РLА также связано с массой покрытия (для РВАТ/РLА это 33,5 г на м<sup>2</sup>) и с методом его нанесения – спеканием бумаги с уже готовой промышленной пленкой. В случае покрытия ПКЛ воздухопроницаемость и шероховатость снижаются не так значительно.

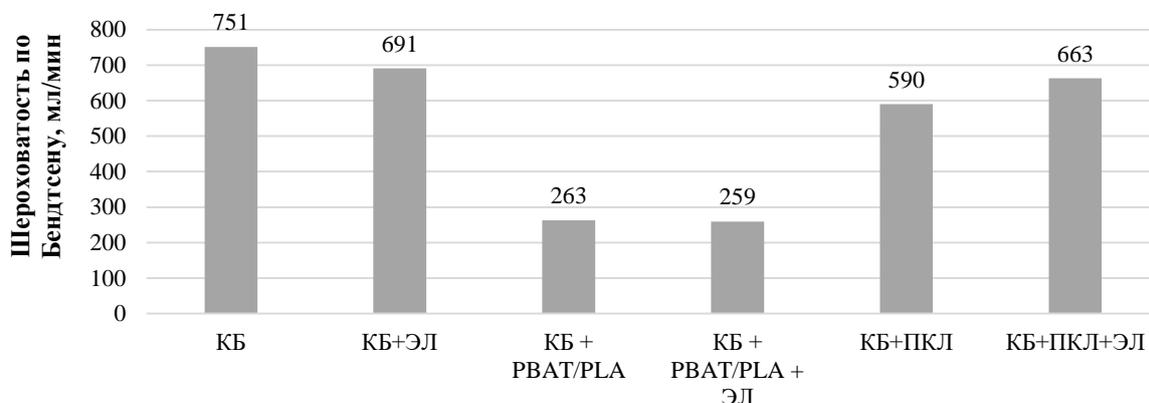


Рисунок 2 – Шероховатость образцов бумаги с покрытием

Далее представлены результаты испытаний разрывной длины и индекса сопротивления разрыву образцов (рис. 3).

Максимальное снижение разрывной длины и индекс сопротивления разрыву наблюдается у крафт-бумаги с покрытием РВАТ/РLА – разрывная длина на 35 % и индекс сопротивления разрыву на 36 %.

Эти показатели для бумаги зависят от сил связи между волокнами. При нанесении расплава полимера межволоконные связи нарушаются, с чем, вероятно, и связано уменьшение разрывной длины и индекс сопротивления разрыву.

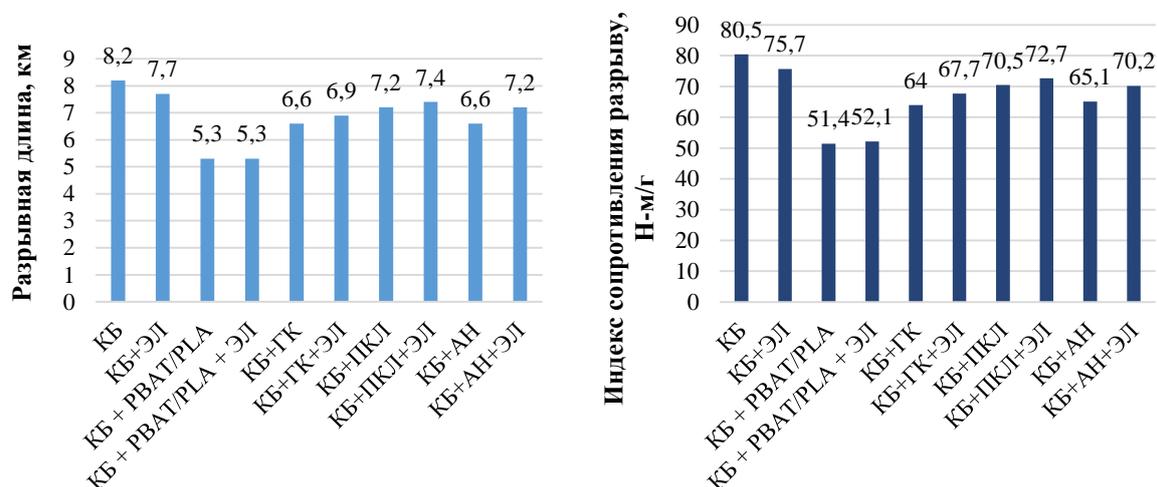


Рисунок 3 – Разрывная длина и индекс сопротивления разрыву образцов бумаги с покрытием

Крафт-бумага имеет граммаж 77 г/м<sup>2</sup>, а сопротивление продавливанию – 249 кПа. В результате нанесения покрытия как РВАТ/РLА, так и ПКЛ увеличивается масса и толщина бумаги, что влечет за собой увеличение сопротивления продавливанию на 18 и 8 % (рис. 4).

По результатам исследования модуля эластичности видно, что самыми жесткими оказались образцы бумаги с покрытием РВАТ/РLА (рис. 4). По своим свойствам РВАТ обладает хорошей пластичностью и гибкостью. А РLА имеет высокую степень стереорегулярности, что обеспечивает возможность достижения степени кристалличности до

80 % и выше. В результате данное покрытие становится жестким и менее эластичным. Во всех остальных случаях эластичность уменьшается: ГК – 10 %, ПКЛ – 21 %, АН – 25 %.

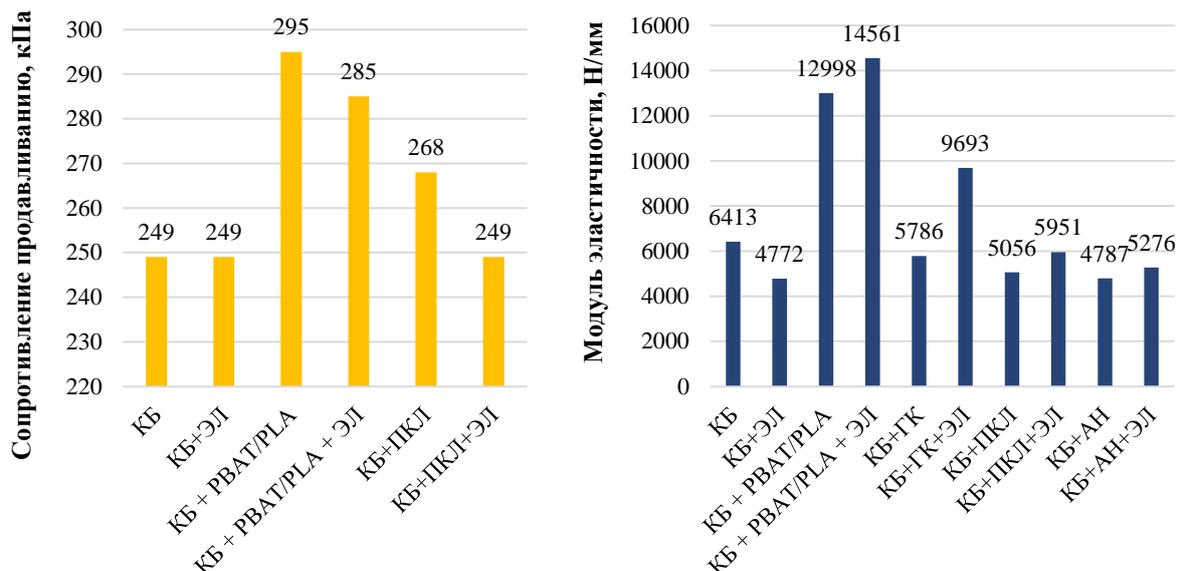


Рисунок 4 – Сопrotивление продавливанию и модуль эластичности ( $E^*$ ) образцов бумаги с покрытием

Исследование сопротивления раздиранию образцов (рис. 5) показало, что максимальное увеличение этого показателя происходит при нанесении покрытия РВАТ/PLA – 27 %. В случае покрытий ПКЛ и АН сопротивление раздиранию также незначительно увеличивается – 1 и 4 % соответственно.

При испытании бумаги с покрытием работа раздирания затрачивается не только на преодоление сил связи между волокнами и сил трения при их выдергивании, но и на преодоление сил связи между макромолекулами полимера и волокнами, за счет чего повышается сопротивление раздиранию мешочной бумаги.

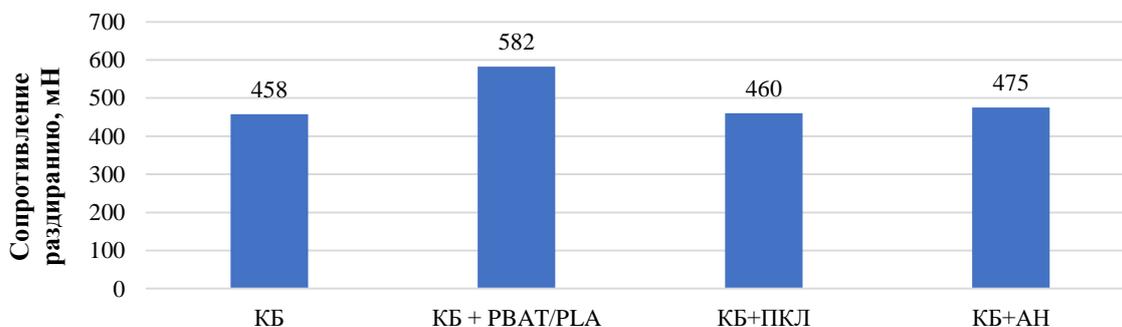


Рисунок 5 – Сопrotивление раздиранию образцов бумаги с покрытием

Испытания впитываемости при одностороннем смачивании по Кобб<sub>60</sub> (рис. 6) показали, что образцы с покрытием РВАТ/PLA не впитывают воду (Кобб<sub>60</sub> равен 0). Также наблюдается значительное уменьшение впитываемости у образцов бумаги с покрытием ПКЛ. Известно, что по своим свойствам данный полимер устойчив к воде [1]. По результатам исследования впитывающая способность этих образцов составляет порядка 14 %, то есть снижается на 4 %.

В свою очередь, образцы с покрытием АН, ГК имеют высокую впитывающую способность, так как данные полимеры относятся к классу водорастворимых полисахаридов – они хорошо набухают в воде и могут долго удерживать влагу [2].

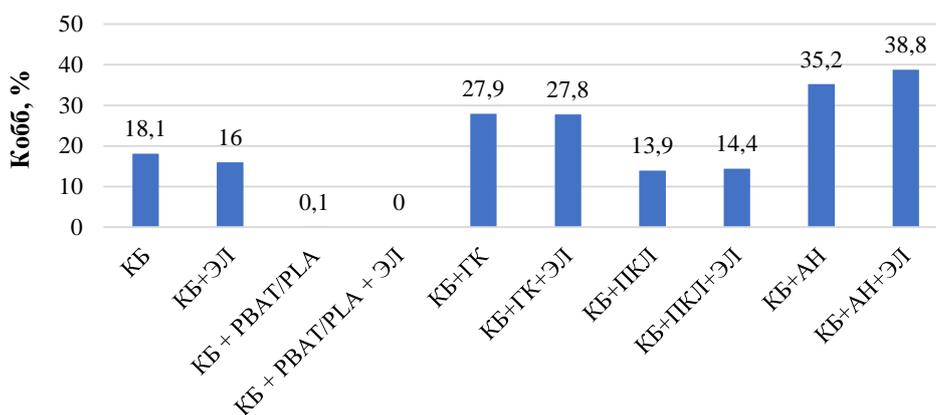


Рисунок 6 – Впитываемость при одностороннем смачивании образцов бумаги с покрытием (метод Кобб<sub>60</sub>)

### Выводы

1. По результатам проделанной работы установлено, что нанесение полимерных покрытий даже незначительной массы (1–3 г/м<sup>2</sup>) способствует изменению физико-механических и поверхностных свойств бумаги.
2. Все покрытия делают бумагу более гладкой и уменьшают воздухопроницаемость.
3. Разрывная длина и индекс сопротивления разрыву при нанесении всех покрытий снижается на 35 и 36 % соответственно.
4. Покрытия ПКЛ, АН, ГК придают мешочной бумаге эластичность, покрытие РВАТ/PLA – жесткость.
5. Покрытие РВАТ/PLA увеличивает сопротивление продавливанию бумаги на 18 %, ПКЛ – на 8 %.
6. Покрытие РВАТ/PLA повышает сопротивление раздиранию на 27 %, покрытия ПКЛ и АН незначительно увеличивают этот показатель – на 1 и 4 % соответственно.
7. Покрытия на основе РВАТ/PLA и ПКЛ снижают поверхностную впитываемость бумаги.
8. Покрытия РВАТ/PLA, ПКЛ подойдут в качестве барьерных при производстве мешочной бумаги для пищевой индивидуальной упаковки товаров (фантики конфет, шоколада, хлебобулочные изделия, чипсы), в качестве упаковки для товаров на развес (орехи, сухофрукты).
9. Для того чтобы использовать ГК, АН в качестве барьерных покрытий, потребуются дополнительные модификации, например, гидрофобизирование.

### Список литературы

1. Бычук М. А. Получение и свойства полимерных пленок на основе поли-3-гидроксibuтирата и поли-ε-капролактона: дис... канд. техн. наук: 05.21.03 / Мария Александровна Бычук. Москва, 2016. 169 с.
2. Юсова А. А., Гусев И. В., Липатова И. М. Свойства гидрогелей на основе смесей альгината натрия с другими полисахаридами природного происхождения // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 59-66.

### RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON PAPER AND BIOPOLYMERS

S. K. Smulskaya\*, V. N. Sunayt, L. G. Makhotina, M. F. Galikhanov, S. I. Basyrova  
*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*  
*E-mail: ssmulskaya@gmail.com*

Nowadays, environmental problems are more relevant than ever, including for the packaging industry. Not all materials used in packaging can be considered neutral in relation to the

environment and humans. Therefore, over the past decade, there has been an active search for alternative raw materials, production technologies and methods of disposal of packaging. At the same time, it should be noted that every year the deficit of oil and gas, from which many synthetic polymers are produced, is gradually growing.

One of these "alternative" materials are biopolymers, which are divided into bio-based and biodegradable. The first involve obtaining a monomer from natural raw materials, for example, ethylene, and then polymerizing the monomer into polyethylene, but for the second, the key aspect is the possibility of rapid decomposition of plastic in a natural environment within a short time. The production of biopolymers increases every year and continues to grow. The spheres of their application are quite extensive.

Today, the most common biopolymers in the packaging industry are biodegradable plant-based polylactide and starch, and polybutyrate adipinterephthalate, polybutyl succinate, polyhydroxybutyrate and other petroleum-based polyhydroxyalconates.

There is also growing interest in paper-based multilayer packaging, in which biopolymer-based coatings will be used instead of synthetic coatings.

In this work, we investigated the physicochemical and surface properties of sack paper samples coated with biodegradable polymers.

**Keywords:** *packaging industry, polymers, biopolymers, multilayer packaging, sack paper, physical and mechanical surface properties.*

### References

1. Bychuk M. A. *Obtaining and properties of polymer films based on poly-3-hydroxybutyrate and poly-ε-caprolactone*: dis. Cand. tech. Sciences 05.21.03. Moscow, 2016, 169 p. (In Russian).
2. Yusova A. A., Gusev I. V., Lipatova I. M. Properties of hydrogels based on mixtures of sodium alginate with other polysaccharides of natural origin. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2014, no. 4, pp. 59–66. (In Russian).

УДК 676.262.014

ГРНТИ 66.45.33

### РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ГИДРОФОБНОСТИ И ПРОЧНОСТИ БУМАГИ И ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ МЕЛОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. В. Черная, Т. В. Чернышева, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс\*, С. В. Карпова, О. А. Мисюров  
*Белорусский государственный технологический университет, Минск*  
*E-mail: uss@belstu.by*

Статья посвящена дальнейшему развитию двух направлений в области теории и технологии клееных (первое направление) и мелованных (второе направление) видов бумаги и картона. Установлено, что одновременное улучшение гидрофобности (на 25–31 %) и прочности (в 1,2–1,5 раза) бумаги достигается за счет замены традиционного процесса канифольной проклейки в режиме гомокоагуляции на более эффективный режим гетероадагуляции благодаря снижению размеров проклеивающих комплексов (от 4500–6000 до 190–200 нм) и повышению их электрокинетического потенциала (от –20...+20 до +35...+50 мВ). Дополнительное использование слабоосновного катионного полиэлектролита (полиамидполиаминэпихлоргидриновой смолы) способствует получению коагулятов, способных пептизироваться в присутствии электролита. Последующее мелование бумаги способствует повышению ее печатных свойств (белизны на 1–2 %, гладкости на 4–8 % и стойкости поверхности к выщипыванию на 12–20 %) за счет использования 3,2 мас. ч. нового синтетического «связующего» (модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера) вместо 4,7 мас. ч. комплекса природных соединений (модифицированного крахмала, натрийкарбоксиметилцеллюлозы и казеинового клея).

*Ключевые слова: коагуляты, пептизированные частицы, гомокоагуляция, гетероадагуляция, меловальная паста, связующие, адгезионные взаимодействия.*

Современная тенденция развития целлюлозно-бумажного производства характеризуется необходимостью улучшения качества бумаги и повышения ее конкурентоспособности. Важную роль в технологии клееных видов бумаги играют химические вещества [1–3], используемые для гидрофобизации, упрочнения и флокуляции, а в технологии мелования [4] – соединения, оказывающее «связующее» действие на пигменты в меловальных пастах.

В технологии клееных видов бумаги нерешенной научной проблемой является проблема смещения процесса канифольной проклейки из традиционного режима гомокоагуляции (существующая технология) в более эффективный режим гетероадагуляции (предлагаемая технология). К перспективным способам решения этой проблемы относится, по нашему мнению [5], способ, основанный на повышении дисперсности и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов, а также на обеспечении равномерности их распределения монослоем и прочности фиксации на волокнах благодаря улучшению электростатических взаимодействий с отрицательно заряженными активными центрами волокон. Последующая термообработка клееных видов бумаги сопровождается образованием на поверхности волокон гидрофобного слоя. Повышению гидрофобности бумаги и максимальному сохранению (или увеличению) ее первоначальной прочности способствует формирование на поверхности волокон равномерного однородного тонкого гидрофобного слоя [6]. Такой слой можно получить путем повышения дисперсности и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов, роль которых выполняют мелкодисперсные положительно заряженные пептизированные частицы.

В технологии мелования бумаги нерешенной проблемой является проблема повышения адгезионных взаимодействий между частицами пигментов, присутствующих в нанесенном мелованном покрытии, и поверхностью бумаги-основы, содержащей в своей структуре проклеивающие комплексы. Одним из способов решения этой проблемы является замена в меловальной пасте комплекса природных соединений на одно разработанное нами синтетическое (модифицированный карбамидормальдегидный олигомер) [7, 8].

Цель исследования – разработка способов одновременного улучшения качества клееной и мелованной бумаги на основе изучения эффективности процессов гомокоагуляции, гетероадагуляции и мелования.

Исследования проводили в два этапа.

*На первом этапе* изучали эффективность процессов гомокоагуляции и гетероадагуляции. Для этого изготавливали и испытывали клееные образцы бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ), полученные из первичных (целлюлоза) и вторичных (макулатура) волокнистых полуфабрикатов. Волокнистые суспензии имели концентрацию 1 % и степень помола  $40^\circ \text{ШР}$ . В отобранные пробы суспензий вводили химические вещества: 5 %-ную высокосмоляную канифольную эмульсию в количестве 3 % от абсолютно сухого волокна, что составляло 1 ч.; 0,001 %-ный раствор слабоосновного катионного полиэлектролита и 0,1 %-ный раствор электролита. Способ применения двух последних соединений и их содержание в проклеенной волокнистой суспензии зависело от режимов проклейки (гомокоагуляции и гетероадагуляции). Клееные образцы бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ) изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten». Их качество характеризовали гидрофобностью и прочностью путем определения впитываемости при одностороннем смачивании (ГОСТ 12606-82Е) и разрывной длины (ГОСТ 13525.1-79) соответственно.

*На втором этапе* изучали эффективность процесса мелования образцов бумаги, проклеенных в режимах гомокоагуляции (существующая технология) и гетероадагуляции (предлагаемая технология). Меловальные пасты наносили на поверхность бумаги в количестве  $10 \text{ г/м}^2$  с использованием моделирующей установки. Печатные свойства мелованных образцов бумаги характеризовали такими показателями, как белизна

(ISO 2470-19), гладкость (ISO 8791-4-1992) и стойкость поверхности к выщипыванию (ISO 3783-1980). Дополнительно для них определяли массовую (ISO 536-1995) и толщину (ISO 534-2005).

### Результаты и их обсуждение

*Первый этап.* Содержание полиэлектролита и электролита в волокнистых суспензиях (целлюлозных и макулатурных) изменяли в зависимости от способа их применения и вида получаемых проклеивающих комплексов:

- по существующей технологии (режим гомокоагуляции): канифольная эмульсия (1,00 ч.) – электролит (3,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,05 ч.); проклеивающие комплексы представляли собой крупнодисперсные коагуляты, имеющие размер  $4500 \leq d_k \leq 6000$  нм и электрокинетический потенциал в диапазоне  $-20 \leq \xi_k = +20$  мВ;
- по предлагаемой технологии (режим гетероадагуляции): канифольная эмульсия (1,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,01 ч.) – электролит (0,80 ч.); проклеивающие комплексы представляли собой мелкодисперсные (средний диаметр  $190 \leq d_n \leq 200$  нм) положительно заряженные (электрокинетический потенциал  $\xi_n = +50$  мВ) пептизированные частицы.

Получено, что в исходной канифольной эмульсии присутствовали частицы дисперсной фазы, имеющие средний диаметр  $d_0 = 190$  нм и отрицательный электрокинетический потенциал ( $\xi_0$ ), который составлял  $-25$  мВ. Установлено, что размер пептизированных частиц ( $d_n$ ) максимально приближается к размеру частиц дисперсной фазы исходной эмульсии ( $d_0$ ), т. е. выполняется условие  $d_n \approx d_0$ . Пептизированные и исходные частицы отличаются электрокинетическим потенциалом. При этом положительно заряженные пептизированные частицы ( $\xi_n = +50$  мВ), в отличие от исходных ( $\xi_0 = -25$  мВ), способны к электростатическому взаимодействию с отрицательно заряженными активными центрами волокон. Особенностью процессов проклейки по существующей и предлагаемой технологиям является принципиальное отличие размеров и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов. Это оказывает существенное влияние на качество бумаги (рис. 1), характеризующее гидрофобностью и прочностью. Установлено, что гидрофобность образцов бумаги (рис. 1, а), изготовленных из целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий, существенно зависит от режимов проклейки. Присутствие в проклеенной суспензии коагулятов, когда процесс проклейки протекает в режиме гомокоагуляции (1 и 3) (существующая технология), приводит к тому, что впитываемость при одностороннем смачивании достигает 24 и 29 г/м<sup>2</sup> при использовании целлюлозных (1) и макулатурных (3) суспензий соответственно.

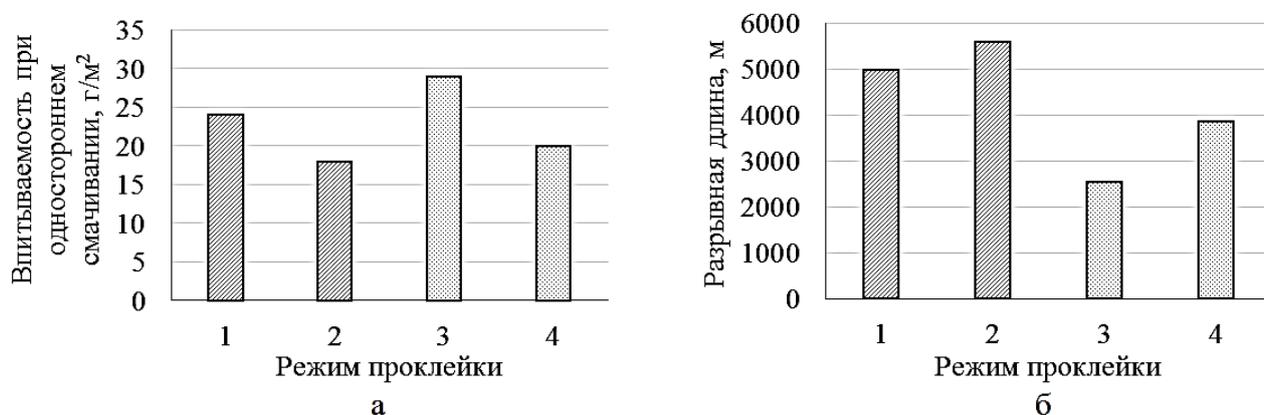


Рисунок 1 – Впитываемость при одностороннем смачивании (а) и разрывная длина (б) образцов бумаги в зависимости от режимов проклейки целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий: 1 и 3 – режим гомокоагуляции; 2 и 4 – режим гетероадагуляции

Смещение процесса проклейки из существующего режима гомокоагуляции (1 и 3) в предлагаемый режим гетероадагуляции (2 и 4) позволяет уменьшить этот показатель до 18 и

20 г/м<sup>2</sup> для целлюлозных (2) и макулатурных (4) суспензий, соответственно, что свидетельствует о повышении гидрофобности образцов бумаги на 25 и 31 % соответственно.

Улучшение гидрофобности образцов бумаги можно объяснить тем, что пептизированные частицы (предлагаемая технология) в отличие от коагулятов (существующая технология) равномерно распределяются монослоем и прочно фиксируются на поверхности волокон. Поэтому эффективность процесса проклейки в режиме гетероадагуляции повышается на 25–31 % по сравнению с режимом гомокоагуляции. В связи с этим предлагается изменить последовательность введения в волокнистые суспензии химических веществ (катионного полиэлектролита и электролита) и обеспечить соотношение канифольная эмульсия : катионный полиэлектролит : электролит = 1,00 : 0,01 : 0,80, в то время как по существующей технологии выполняется условие канифольная эмульсия : электролит : катионный полиэлектролит = 1,00 : 3,00 : 0,05.

Установлено, что прочность образцов бумаги (рис. 1, б) зависит от вида используемых волокнистых полуфабрикатов и от режимов проклейки полученных из них волокнистых суспензий. Получено, что проклеенные целлюлозные суспензии (1 и 2) позволяют повысить прочность образцов бумаги по сравнению с макулатурными (3 и 4) от 2550–3850 до 4980–5600 м, то есть в 1,5–2,0 раза. При этом смещение процесса проклейки из режима гомокоагуляции (1 и 3) в режим гетероадагуляции (2 и 4) позволяет не только сохранить первоначальную прочность бумаги (без проклейки), но и улучшить ее на 12–50 %. Об этом свидетельствует увеличение разрывной длины образцов бумаги от 4980 до 5600 м (в 1,2 раза), полученных из целлюлозных суспензий (1 и 2), и от 2550 до 3850 м (в 1,5 раза), изготовленных из макулатурных суспензий (3 и 4). Одной из основных причин достигнутого положительного эффекта является сближение волокон на расстояние, при котором формируются межволоконные связи, благодаря которым бумага приобретает необходимую прочность. Поэтому можно считать, что коагуляты (существующая технология) препятствуют сближению волокон и формированию межволоконных связей в структуре бумаги, а пептизированные частицы (предлагаемая технология), наоборот, способствуют связеобразованию и, следовательно, повышению прочности бумаги.

Результаты исследования (рис. 1, б) свидетельствуют о практической возможности не только компенсации потери первоначальной прочности образцов клееной бумаги и дополнительного ее повышения в 1,2–1,5 раза за счет управления процессом проклейки не только в целлюлозных, но и в макулатурных суспензиях путем смещения существующего режима гомокоагуляции в предлагаемый режим гетероадагуляции. При этом исчезает необходимость специального применения упрочняющих веществ, что упрощает технологию получения клееных видов бумаги и способствует снижению их себестоимости. Полученные данные не противоречат, а наоборот, дополняют общепринятую теорию упрочнения бумаги.

Следовательно, улучшению гидрофобности (на 25–31 %), прочности (в 1,2–1,5 раза) образцов бумаги способствует снижение размеров проклеивающих комплексов от 4500–6000 до 190–200 нм и повышение их электрокинетического потенциала от –20...+20 до +50 мВ.

*Второй этап.* Рецепт исследуемой меловальной пасты отличалась от стандартной [4] видом и количеством присутствующих «связующих». В качестве последних использовали синтезированный нами модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер (3,2 мас. ч.) [7] (предлагаемая технология) вместо традиционного комплекса природных соединений (4,7 мас. ч.) [4], включающего окисленный крахмал (2,0 мас. ч.), натрийкарбоксиметилцеллюлозу (0,7 мас. ч.) и казеиновый клей (2,0 мас. ч.). Приготовленную меловальную пасту наносили на образцы бумаги, изготовленные из целлюлозной и макулатурной суспензий и проклеенные в режимах гомокоагуляции (существующая технология) и гетероадагуляции (предлагаемая технология). Получено, что образцы мелованной бумаги имели одинаковую толщину и массовую плотность. При этом они обладали сопоставимыми печатными свойствами: белизна превышала 86 % (норма – не менее 85 %) и гладкость находилась в пределах 260–270 с (норма – не менее 250 с). Однако

они существенно отличались по такому основному печатному свойству, как стойкость поверхности к выщипыванию (рис. 2).

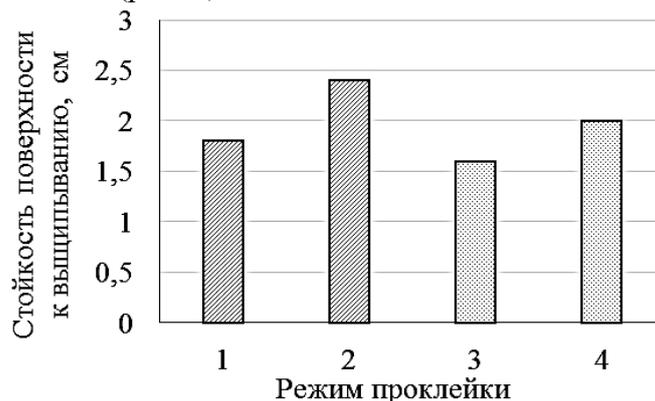


Рисунок 2 – Стойкость поверхности к выщипыванию мелованных образцов бумаги в зависимости от режимов проклейки целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий: 1 и 3 – режим гомокоагуляции; 2 и 4 – режим гетероадагуляции

Сопоставительный анализ данных, представленных на рисунке 2, свидетельствует о преимуществах мелованных образцов бумаги, проклеенных в режиме гетероадагуляции (2 и 4), по сравнению с образцами, проклеенными в режиме гомокоагуляции (1 и 3). Установлено, что стойкость поверхности к выщипыванию увеличивается от 1,8 до 2,4 см для целлюлозных образцов (1 и 2) и от 1,6 до 2,0 см для макулатурных образцов (3 и 4). Обнаруженные положительные эффекты повышаются в 1,25–1,33 раза при смещении процесса проклейки волокнистых суспензий из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции.

Улучшению стойкости поверхности к выщипыванию мелованных образцов бумаги способствовали, во-первых, изменение структуры бумаги-основы и, во-вторых, использование в меловальной пасте нового синтетического «связующего» вместо комплекса природных соединений. Одной из основных причин повышения этого показателя является присутствие в новом соединении амидных и аминных групп, участвующих в когезионных взаимодействиях с частицами пигментов и усиливающих адгезионное взаимодействие между ними и поверхностью бумаги-основы. Следовательно, присутствие в меловальной пасте синтетического «связующего» не ухудшает свойства мелованных образцов бумаги, а, наоборот, улучшает их белизну на 1–2 %, гладкость на 4–8 % и стойкость поверхности к выщипыванию на 12–20 %.

### Выводы

1. Улучшению гидрофобности (на 25–31 %) и прочности (в 1,2–1,5 раза) бумаги способствует смещение процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции (существующая технология) в более эффективный режим гетероадагуляции (предлагаемая технология) за счет снижения размеров проклеивающих комплексов (от 4500–6000 до 190–200 нм) и повышения их электрокинетического потенциала (от –20...+20 до +50 мВ). Новые проклеивающие комплексы в виде мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц в отличие от коагулятов равномерно распределяются монослоем и прочно фиксируются на волокнах (целлюлозных и макулатурных). Присутствующий слабоосновной катионный полиэлектролит участвует не только в процессе флокуляции, но и в процессе образования коагулятов, способных пептизироваться.
2. Разработанный способ пептизации и получения пептизированных частиц основан на протекании двух последовательных процессов: 1) получение коагулятов, способных пептизироваться; для этого в волокнистую суспензию, содержащую канифольную эмульсию (1,00 ч.), дозируют слабоосновной катионный полиэлектролит (0,01 ч.); процесс коагуляции протекает не во второй области (существующая технология, когда расход

электролита составляет 3,00 ч.), а в обнаруженной нами первой области; 2) пептизация коагулятов происходит в присутствии электролита (0,80 ч.).

3. Повышению печатных свойств мелованных образцов бумаги (белизны на 1–2 %, гладкости на 4–8 % и стойкости поверхности к выщипыванию на 12–20 %) способствуют изменения не только структуры бумаги-основы, но и рецептуры меловальной пасты (вместо комплекса природных «связующих» применяют одно синтетическое соединение – модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер).

#### Список литературы

1. Хованский В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2013. 151 с.
2. Остапенко А. А. и др. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 187–190.
3. Мишурина О. А., Ершова О. А. Способы гидрофобизации и упрочнения композиционных целлюлозных материалов из вторичного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10. С. 363–366.
4. Бондарев А. И. Производство бумаги и картона с покрытием. М.: Лесная промышленность, 1985. 192 с.
5. Черная Н. В. Концептуальное развитие теории и технологии проклейки бумаги и картона гидродисперсиями модифицированной канифоли в режиме гетероадагуляции пептизированных частиц // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1. № 1. С. 76–90.
6. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydro-dispersions of modified rosin in mode of hetero-adagulation of peptized particles // PNRPU. Appliedecology. Urbandevelopment, 2017. no. 2. Pp. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
7. Патент РБ 23441. МПК D 21H 17/50, C 08 G 12/12, C 08 G 12/40. Способ получения упрочняющей добавки для изготовления бумаги / В. Л. Флейшер, Н. В. Черная, Е. П. Шишаков, Т. В. Чернышева; патентообладатель: БГТУ. Заявлено 22.12.2018.; опубл. 30.08.2020.
8. Карпова С. В., Черная Н. В. Изучение свойств мелованной бумаги при замене природного связующего на новое синтетическое // Химия и химическая технология переработки растительного сырья: материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., (Минск, 10–12 октября 2018 г.). Минск: БГТУ, 2018. С. 187–191.

#### **DEVELOPMENT OF IMPROVING HYDROPHOBICITY AND STRENGTH OF PAPER AND PRINTING PROPERTIES OF COATED PRODUCTS**

N. V. Chernaya, T. V. Chernysheva, Zh. S. Shashok, E. P. Uss\*, S. V. Karpova, O. A. Misyurov  
*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*  
*E-mail: uss@belstu.by*

The article is devoted to the further development of two directions in the field of theory and technology of glued (first direction) and coated (second direction) types of paper and cardboard. It was found that simultaneous improvement of paper hydrophobicity (by 25–31 %) and strength (by 1.2–1.5 times) is achieved by replacing the traditional rosin sizing process in the homocoagulation mode with a more efficient heteroadagulation mode due to a decrease in the size of the sizing complexes (from 4500–6000 to 190–200 nm) and an increase in their electrokinetic potential (from –20 ... + 20 to + 35 ... + 50 mV). The additional use of a weakly basic cationic polyelectrolyte (polyamide-polyamine-epichlorohydrin resin) promotes the production of coagulates capable of peptizing in the presence of an electrolyte. Subsequent coating of the paper helps to increase its printing properties of paper (whiteness by 1–2 %, smoothness by 4–8 % and surface resistance to

plucking by 12–20 %) due to the use of 3.2 parts by weight including a new synthetic "binder" (modified urea-formaldehyde oligomer) instead of 4.7 parts by weight including a complex of natural compounds (modified starch, sodium carboxymethyl cellulose and casein glue).

**Keywords:** coagulates, pregelatinized particles, homocoagulation, heteroadagulation, coating paste, binders, adhesive interactions.

### References

1. Khovanskiy V. V., Dubovyy V. K., Keyzer P. M. *Primeneniye khimicheskikh vspomogatel'nykh veshchestv v proizvodstve bumagi i kartona* [The use of chemical excipients in the production of paper and cardboard]. Sankt-Peterburg, SPbGTURP Publ., 2013, 151 p. (In Russian).
2. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovyy V. K., Koverninskiy I. N. Povysheniye kachestva bumagi iz makulatury khimicheskimi funktsional'nymi veshchestvami [Improving the quality of paper from waste paper by chemical functional substances]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2012, no. 1, pp. 187–190. (In Russian).
3. Mishurina O. A., Yershova O. A. Sposoby gidrofobizatsii i uprochneniya kompozitsionnykh tsellyuloznykh materialov iz vtorichnogo syr'ya [Methods of hydrophobization and hardening of composite cellulose materials from secondary raw materials]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 10, pp. 363–366. (In Russian).
4. Bondarev A. I. *Proizvodstvo bumagi i kartona s pokrytiyem* [Manufacture of coated paper and board]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985, 192 p. (In Russian).
5. Chernaya N. V. Kontseptual'noye razvitiye teorii i tekhnologii prokleyki bumagi i kartona gidrodispersii modifitsirovannoy kanifoli v rezhime geteroadagulyatsii peptizirovannykh chastits [Conceptual development of the theory and technology of gluing paper and cardboard of hydrodispersion of modified rosin in the mode of heteroadagulation of peptized particles]. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2015, vol. 1, no. 1, pp. 76–90. (In Russian).
6. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydrodispersions of modified rosin in mode of heteroadagulation of peptized particles. *PNRPU. Appliedecology. Urbandevelopment*, 2017, no. 2, pp. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
7. Fleisher V. L., Chernaya N. V., Shishakov E. P., Chernysheva T. V. *Sposob polucheniya uprochnyayushchey dobavki dlya izgotovleniya bumagi* [Method of obtaining a hardening additive for paper making]. Patent RB no. 23441, 2018. (In Russian).
8. Karpova S. V., Chernaya N. V. Izucheniye svoystv melovannoy bumagi pri zamene prirodnoogo svyazuyushchego na novoye sinteticheskoye [Studying the Properties of Coated Paper when Replacing a Natural Binder with a New Synthetic]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya pererabotki rastitel'nogo syr'ya: materialy dokladov Mezhdunar. nauchnotekhn. konf.* [Chemistry and Chemical Technology of Plant Raw Material Processing: Proc. Int. Science and Technology Conf.]. Minsk, BSTU Publ., 2018, pp. 187–191. (In Russian).

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАКЛОННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО КОНДЕНСАТОРА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Л. В. Романова, О. А. Шанова\*

*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: oshanova@gmail.com*

В работе рассмотрены методы снижения ресурсоемкости на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности, предложены мероприятия по утилизации низкопотенциального тепла, произведена оценка затрат при планировании природоохранных мероприятий.

*Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, природоохранные мероприятия, вторичные энергетические ресурсы, поверхностный конденсатор.*

Создание новых перспективных «экологически безопасных» процессов является одной из важнейших задач при осуществлении антропогенной деятельности. При этом особый интерес представляет интеграция ресурсо- и энергосберегающих процессов, которые способствуют не только осуществлению производственных процессов в рамках наилучших доступных технологий, но и предотвращают загрязнение воздушной среды, что особенно актуально при наличии на территории предприятий источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ) различных категорий [1].

Воздействие ИЗАВ может быть оценено по следующим признакам: тип системы, из которой выбрасываются маркерные загрязнители, перечень, класс опасности, концентрации и свойства загрязняющих веществ, высота источников выделения выбросов, температура газовой смеси, поступающей из источников в атмосферу, режим работы во времени. По высоте источники выбросов подразделяются на высокие, высота которых в 3,5 раза больше высоты близлежащих зданий, и низкие, высота которых меньше высоты циркуляционной зоны, возникающей над зданием. По режиму работы источников во времени выбросы могут быть постоянными с равномерным валовым выбросом, периодическими и залповыми. Кроме того, особое внимание следует уделять прогнозу и оценке сценариев распространения загрязняющих веществ при совместном воздействии таких ситуаций, как неблагоприятные метеорологические условия, вероятность возникновения залповых выбросов, изменение технологических режимов производства продукции [2].

Для решения этой проблемы предлагается использовать принципиально новый агрегат – наклонный поверхностный конденсатор, позволяющий совмещать в одном аппарате несколько технологических операций [3, 4]. При внедрении данного аппарата существенно снижается объем технологических выбросов, что способствует сокращению потерь сырьевых компонентов и созданию энергосберегающих процессов.

Утилизация низкопотенциального тепла (НПТ) является важной эколого-экономической задачей, поскольку его выход составляет около половины от суммарного выхода всех видов вторичных энергоресурсов (ВЭР) [5–7]. Кроме того, утилизация НПТ, как и всех тепловых ВЭР промышленности, способствует охране атмосферного воздуха от теплового и химического загрязнения. Можно добиться и снижения ресурсоемкости продукции, используя для очистки выбросов бесконтактный метод (поверхностный конденсатор). Но не все низкопотенциальное тепло выгодно утилизировать, так как затраты на разработку и внедрение таких схем могут превосходить выгоды от этого внедрения [8, 9].

Проблема утилизации ВЭР решается, в том числе и с помощью выбора наиболее оптимальных параметров оборудования, например, по критерию материалоемкости. Неизбежно встает вопрос выбора целевой функции. С точки зрения потребителя оправданным будет выбор в качестве целевой функции суммарных дисконтированных затрат

на приобретение и эксплуатацию теплообменного аппарата за время заданного срока службы [8, 9]. При таком подходе учитываются как массогабаритные характеристики, так и стоимости изготовления и электрической энергии, затрачиваемой на обеспечение движения теплоносителей по тракту теплообменника.

Минимизируемые дисконтированные затраты можно представить в виде целевой функции средств  $S$  (1):

$$S = \left( \frac{V_1 \Delta P_1}{\eta_1} + \frac{V_2 \Delta P_2}{\eta_2} \right) \cdot \frac{C_{\text{эл.эн.}}}{1000} + C_K \text{ (руб.)}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{эл.эн}}$  – стоимость электроэнергии с учетом дисконтирования, руб.;

$C_K$  – капитальные затраты с учетом дисконтирования, руб.;

$V_1, V_2$  – объемные расходы горячего и холодного теплоносителя, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta P_1, \Delta P_2$  – потери напора по горячему и холодному тракту теплоносителя соответственно, Н/м<sup>2</sup>;

$\eta_1, \eta_2$  – КПД насоса, перемещающего теплоносители по горячему и холодному тракту соответственно.

Учитывая, что бесконтактные устройства могут быть использованы как для утилизации НПТ, так и для возврата в производство химических компонентов, то в целевую функцию необходимо включить прибыль, получаемую в результате этих процессов. Так же необходимо включить в функцию предотвращенный экологический ущерб, который выражается в уменьшении суммы отчислений на устранение негативных последствий загрязнения атмосферы выбросами. Таким образом, формула (1) приобретает вид (2):

$$S = \left( \frac{V_1 \Delta P_1}{\eta_1} + \frac{V_2 \Delta P_2}{\eta_2} \right) \cdot \frac{C_{\text{эл.эн.}}}{1000} + C_K - \Pi_T - \Pi_P - \text{Э}_П \text{ (руб.)}, \quad (2)$$

где  $\Pi_T$  – прибыль от утилизации тепла, руб.;

$\Pi_P$  – прибыль в результате возврата сырья в технологический цикл, руб.;

$\text{Э}_П$  – предотвращенный экологический ущерб, руб.

Величину прибыли в результате возврата сырья в технологический цикл можно определить по (3):

$$\Pi_P = \text{Ц} \cdot \text{T} \cdot \eta \cdot \left( \frac{C \cdot G}{1000} \right), \quad (3)$$

где  $\text{Ц}$  – стоимость ресурса, руб./кг;

$\text{T}$  – время работы установки, ч;

$\eta$  – эффективность очистки (рекуперации);

$C$  – содержание компонента (ресурса) в парогазовых выбросах, г/м<sup>3</sup>;

$G$  – расход парогазовой смеси, м<sup>3</sup>/ч.

При оценке снижения ресурсоемкости производства, благодаря применению поверхностного конденсатора, необходимо учитывать, что выбросы – это потери сырьевых ресурсов технологического цикла, поэтому уменьшение ресурсоемкости производства, наряду со снижением его энергоемкости, сегодня является актуальной задачей в свете роста цен на сырье и изменения логистических цепочек. Современные технологии очистки позволяют не только снизить концентрацию вредных веществ в выбросах до уровня допустимого воздействия на окружающую среду, но и вернуть в производство ценные сырьевые компоненты. Например, при эксплуатации растворителя плава содорегенерационного котлоагрегата (РП СРК) потери тепла с выбросами для одного РП

СРК при эксплуатации единицы оборудования могут достигать до 100 т пара/ч, потери химикатов 15–20 кг/ч (в ед. Na<sub>2</sub>O).

При данном виде целевой функции имеется также возможность учета стоимости занимаемых им полезных площадей. Они могут быть рассчитаны через габаритные размеры аппарата и площадь, занимаемую им на плане помещения, с учетом проходов для его обслуживания. Данный фактор (занимаемая площадь – загроможденность помещения) будет иметь влияние на эксплуатационные расходы (ремонт, обслуживание), на стоимость монтажных работ, а также должен учитываться при оценке условий труда. Его учет может производиться через поправочный коэффициент  $k$ , используемый в методических рекомендациях ( $k = 1,35$  в рассматриваемом случае) [10].

Следует заметить, что при выборе поверхностных теплообменников-утилизаторов, служащих для очистки выбросов и рекуперации теплоты, основным параметром является эффективность очистки, следовательно, все остальные параметры, в том числе и объемный расход теплоносителя, подбираются таким образом, чтобы обеспечить оптимальную эффективность очистки, т.е. экономически оправданную величину.

Таким образом, в свете необходимости интенсивного промышленного роста остро встает вопрос внедрения в производства интегрированных технологий и аппаратов, сочетающих ресурсо- и энергосберегающую направленность с оптимальными экологическими и экономическими характеристиками. Данное решение является наиболее обоснованным как с точки зрения предотвращения загрязнения воздушной среды, так и с точки зрения использования ее ресурсно-энергетического потенциала.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 58577-2019. Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими субъектами и методы определения этих нормативов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168569> (дата обращения: 01.11.2021).
2. Приказ Минприроды России № 352 от 07.08.2018 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки». URL: <https://docs.cntd.ru/document/542630875> (дата обращения: 01.11.2021).
3. Романова Л. В., Братцева А. В., Иванов И. В. Конденсация парогазовой смеси на наклонном пакете охлаждаемых труб // Испарение, конденсация. Двухфазные течения: сб. тр. 4-й Рос. нац. конф. по теплообмену. М.: МЭИ, 2006. Т. 5. С. 169 – 171.
4. Братцева А. В. Романова Л. В. Методы расчета газоочистного конденсатора для очистки выбросов из растворителя плава содорегенерационного котлоагрегата сульфатцеллюлозного производства // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. Теплообмен при фазовых превращениях: сб. тр. 14-й школы-семинара мол. уч. и спец. под рук. акад. РАН А. И. Леонтьева. М.: МЭИ, 2007. Т. 1. С. 384 – 386.
5. ГОСТ 31188-2003. Энергосбережение. Ресурсы энергетические вторичные. Методика определения показателей выхода и использования. Минск: Госстандарт РБ, 2005. 33 с.
6. ГОСТ Р 56743-2015. Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127498> (дата обращения: 01.11.2021).
7. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание: В 2 кн. Книга 2. М.: Теплотехник, 2005. 768 с.
8. Маховикова Г. А. Оценка экономической эффективности инвестиционных проектов с учетом экологического фактора: монография. СПб: СПбГУЭФ. 2010. 180 с.

9. Братцева А. В., Романова Л. В., Романов А. В., Мантрова Е. А. Эколого-экономическое моделирование газоочистного конденсатора // Глобализация, новая экономика и окружающая среда. Проблемы общества и бизнеса на пути к устойчивому развитию: сб. тр. 7-й межд. конф. РОЭЭ. СПб: СПбГУ, 2005. С. 58 – 60.
10. Приказ Минстроя России № 519/пр от 04.09.2019 «Об утверждении Методических рекомендаций по применению федеральных единичных расценок на строительные, специальные строительные, ремонтно-строительные, монтаж оборудования и пусконаладочные работы». URL: <https://docs.cntd.ru/document/563469380> (дата обращения: 01.11.2021).

## THE USE OF AN INCLINED SURFACE CONDENSER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION PROCESSES

L. V. Romanova, O. A. Shanova\*

E-mail: [oshanova@gmail.com](mailto:oshanova@gmail.com)

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*

Methods of reducing resource intensity at pulp and paper industry enterprises are considered, measures for the utilization of low-potential heat are proposed, an assessment of the costs in the planning of environmental measures has been made.

**Keywords:** *pulp and paper industry, environmental measures, secondary energy resources, surface condenser.*

### References

1. GOST R 58577-2019. Regulation for establishment of permissible limits of pollutant emissions by economic entities being projected and in operation and methods of determination of the limits. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168569> (accessed 01.11.2021). (In Russian).
2. Prikaz Minprirody Rossii № 352 ot 07.08.2018 «Ob utverzhdenii Porjadka provedeniya inventarizacii stacionarnyh istochnikov i vybrosov zagryaznjajushhijh veshhestv v atmosferynyj vozduh, korrekcirovki ee dannyh, dokumentirovaniya i hraneniya dannyh, poluchennyh v rezul'tate provedeniya takih inventarizacii i korrekcirovki» URL: <https://docs.cntd.ru/document/542630875> (accessed 01.11.2021). (In Russian).
3. Romanova L. V., Bratceva A. V., Ivanov I. V. Kondensacija parogazovoj smesi na naklonnom pakete ohlazhdaemyh trub. *Isparenie, kondensacija. Dvuhfaznye techenija, sb. tr. 4-j Ros. nac. konf. po teploobmenu*. Moscow, MPEI, 2006, Vol. 5, pp. 169 – 171. (In Russian).
4. Bratceva A. V. Romanova L. V. Metody rascheta gazoочистного конденсатора dlja ochistki vybrosov iz rastvoritelja plava sodoregeneracionnogo kotloagregata sul'fatcelljuloznogo proizvodstva. *Problemy gazodinamiki i teplomassoobmena v jenergeticheskijh ustanovkah. Teploobmen pri fazovyh prevrashhenijah, sb. tr. 14-j shkoly-seminara mol. uch. i spec. pod ruk. akad. RAN A. I. Leont'eva*. M., MPEI, 2007, Vol. 1, pp. 384 – 386. (In Russian).
5. GOST 31188-2003. Energy conservation. Secondary energy resources. Methodic for determination yield and utilization indices. Minsk, Gosstandart RB, 2005, 33 p. (In Russian).
6. GOST R 56743-2015. Measurement and verification of energy efficiency. General provisions for the determination of energy savings. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127498> (accessed 01.11.2021) (In Russian).
7. *Hrestomatija jenergosberezhenija: spravocnoe izdanie: In 2 books. Book 2*. Moscow, Teplotehnik, 2005, 768 p. (In Russian).
8. Mahovikova G. A. *Ocenka jekonomicheskijh jeffektivnosti investicionnyh proektov s uchetom jekologicheskogo faktora: monografija*. St. Petersburg, SPbSUEF, 2010, 180 p. (In Russian).
9. Bratceva A. V., Romanova L. V., Romanov A. V., Mantrova E. A. Jekologo-jekonomicheskoe modelirovanie gazoочистного конденсатора. *Globalizacija, novaja jekonomika i*

*okruzhajushhaja sreda. Problemy obshhestva i biznesa na puti k ustojchivomu razvitiyu. sb. tr. 7-j mezhd. konf. ROEE. St. Petersburg, SPbSU, 2005, pp. 58 – 60. (In Russian).*

10. *Prikaz Ministroja Rossii ot 04.09.2019 №519/pr «Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendacij po primeneniju federal'nyh edinichnyh rascenok na stroitel'nye, special'nye stroitel'nye, remontno-stroitel'nye, montazh oborudovanija i puskonaladochnye raboty».* URL: <https://docs.cntd.ru/document/563469380> (accessed 01.11.2021). (In Russian).

УДК 676.15  
ГРНТИ 66.45.29

## **ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСИНОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОНА И БУМАГИ**

О. В. Рыбников<sup>1</sup>, Э. Л. Аким<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Светогорский ЦБК, Светогорск*

<sup>2</sup>*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

*E-mail: akim-ed@mail.ru*

В работе рассмотрен опыт Светогорского ЦБК по получению БХТММ из древесины осины: экологические и технологические аспекты. Рассматриваются особенности заготовки, сортировки и хранения осинового баланса с целью получения оптимальных свойств готовой продукции при снижении потребления энергии и химикатов, а также система очистки стоков. Разработан и предложен комплекс мер для решения имеющихся сложностей, связанных с особенностями сырья. Приводится также опыт Бразилии и Китая по плантационному выращиванию и использованию древесины.

*Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, Светогорский ЦБК, БХТММ, осина, тополь, КЩО, бумага, картон, НДТ.*

Интегрированные целлюлозно-бумажные комбинаты в России, построенные по технологии от щепы до напорного ящика БДМ, позволяют достигать минимальной себестоимости и эффективно управлять качеством готовой продукции [1-4]. В этом отношении Светогорский ЦБК – не только сложный интегрированный ЦБК, но и предприятие, все годы своего существования осуществлявшее и экспериментальные функции. Так, впервые в нашей стране на нем была проведена в промышленных масштабах кислородно-щелочная обработка целлюлозы (КЩО), являющаяся основой бесхлорной отбеливания целлюлозы во всем мире [5]. Производство бумаги для слоистых пластиков и картона для жидких пищевых продуктов впервые в стране было освоено именно здесь, эти виды продукции выпускались как инновационные продукты в промышленных масштабах [6-7]. Здесь впервые было осуществлено применение при производстве высококачественных видов бумаги полуфабрикатов высокого выхода, в частности, беленой химико-термомеханической массы (БХТММ), обеспечившее использование малоценных и сорных пород древесины для производства высокотехнологичных, инновационных видов продукции с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, на ЦБК была реально проведена интеграция и мирового, и отечественного опыта разработки и реализации самых современных технологий, и продолжения взаимодействия с отечественными университетами для научного и кадрового обеспечения решения технологических и экологических проблем.

Для производства одной тонны БХТММ требуется около 2,5–2,8 м<sup>3</sup> древесины, тогда как для производства одной тонны целлюлозы – 4–5 м<sup>3</sup> [1-3]. Сырьем для БХТММ служит осина («тополь дрожащий») – не востребованная на период освоения технологии порода древесины, не позволяющая эффективно вести лесопользование. Осина – одна из

доминирующих пород на Северо-Западе России; она является быстрорастущей, но недолговечной породой. В благоприятных условиях средний запас древесины на гектар леса может достигать 650 кубометров [1]. В смешанных лесах осина рассматривается не только как неликвидная древесина, но и как сорная лесная порода, замедляющая рост высокоценных хвойных пород. В то же время сегодня в мире тополь (осина) рассматривается как очень перспективная порода, плантации которого позволили Китаю резко расширить производство лесной продукции (фанеры, бумаги) [4, 8-10].

Экологическое значение использования осины для Северо-Западного региона РФ заключается также в том, что это позволяет экономить большое количество древесины других пород. Однако производство БХТММ является с экологической точки зрения и наиболее сложным, так как при 85 %-ом выходе продукции в стоки попадает 15 % от массы древесины, а использование традиционной системы регенерации сульфатного процесса не целесообразно [5].

Спецификой Светогорского ЦБК является наличие производства ХТММ, при производстве которой в стоки переходят низкомолекулярные фрагменты продуктов механо-деструкции природного лигнина, являющегося нетоксичной частью природного карбонового цикла, но определяемого при используемых методах анализа стоков как «лигнин», через «лигносульфоновые кислоты». Учитывая, что в зависимости от вида продукции, выпускаемой на производстве ХТММ, существенно меняется вклад данного производства при определении общего показателя ХПК, а при производстве так называемых «тяжелых марок» – беленой ХТММ из осины с выходом 85 % – доля в общих стоках ЦБК стоков производства этой продукции намного выше, чем при производстве «легких» марок – хвойной небеленой ХТММ с выходом 93 %, ассортимент выпускаемой продукции также становится определяющим фактором.

С пуском завода БХТММ предприятию пришлось, в сотрудничестве с кафедрой Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ, решать ряд технологических проблем, связанных с заготовкой, сортировкой и хранением осинового баланса, оптимизацией технологического процесса для получения оптимальных свойств готовой продукции, потребления энергии и химикатов и с очисткой стоков, с компенсацией влияния гнили на ХПК в стоках [5].

Основная проблема – качество осиновых лесов Северо-Западного региона РФ, которые представляют собой перестойные леса с большим содержанием гнили. Отсутствие достаточной инфраструктуры заготовки леса, дорог, терминалов, увеличение стоимости доставки, сезонность лесозаготовок, когда основная масса заготавливается в зимний период, приводило к тому, что в первую очередь заготавливались и вывозились на терминалы более ценные породы, пиловочник, березовый кряж, а осина оставлялась «на потом». Как следствие, осиновый баланс, срубленный зимой, мог попасть в переработку к середине – концу лета, еще более пораженный гнилью и грибами, что еще более усугубляло ситуацию.

Продукты гниения «закисляли» древесину и приводили к созданию «ацетатной буферной системы», что снижало выход, вызывало перерасход химикатов на пропитку и отбелку и увеличение нагрузки на очистные сооружения.

Проведя совместно с ВШТЭ научно-исследовательские работы и оценив негативный экономический эффект, был разработан комплекс мер, позволивший успешно решать проблему [5]:

1. Были разработаны различные спецификации для осины, используемой в смеси с березой для производства сульфатной лиственной целлюлозы, и для БХТММ. Стандарт предусматривал более жесткие нормы по гнили при использовании осины для БХТММ, нормирование срока между рубкой и использованием в летний период

времени и в межсезонье. При этом применялись стимулирующие меры для заготовителей, что, естественно, влияло на стоимость заготовки, но, в конечном итоге, давало позитивный экономический эффект [11, 12].

2. Учитывая, что вторичная гниль развивается в осиновом балансе при хранении в летний период, были созданы зимние склады хранения осины под «шубой» – под слоем опилок и снега, с тем расчетом, чтобы к концу лета, до начала зимнего периода заготовки, завод мог использовать баланс отличного качества, влажный и без гнили. Был наработан положительный опыт создания зимних складов от 30 до 50 тыс. м<sup>3</sup>, что полностью оправдывалось с экономической точки зрения.
3. Была организована сортировка осинового баланса на приемном столе производства щепы БХТММ и перевод брака на использование в системе производства крафт-целлюлозы. Нужно отметить, что переработка осинового баланса, поражённого гнилью, в крафт-системе не вызвала больших проблем, т.к. большая часть гнили отсортировывалась во время подачи щепы пневмотранспортом и шла на сжигание в корьевой котел. Из той части щепы с гнилью, которая все-таки попадала на варку, гниль уходила в виде растворённых органических веществ в черный щелок и систему регенерации, не оказывая негативного влияния на станцию биологической очистки стоков.
4. Была разработана система визитажа балансов и выпилования пораженных гнилью сегментов только для сульфатной варки [13].
5. Было проведено усовершенствование работы систем физико-химической и биологической очистки стоков БХТММ – решение проблемы отложения оксалатов в теплообменных аппаратах и снижения температуры стоков, осуществлено применение активного ила для коагуляции и обезвоживания осадка, создание буферного бассейна для эквализации стоков, применение коагулянтов для управления уровнями осветленной воды во вторичных отстойниках, изменение схемы подачи конденсатов с выпарных станций на аэрацию и многое другое. Важно отметить, что станция биологической очистки сегодня работает с эффективностью, близкой к 100 %.

В результате всех выполненных работ в настоящее время и предприятие, и наука имеют значительный накопленный опыт в практическом использовании осины на Светогорском ЦБК для производства полуфабрикатов высокого выхода, в частности, химико-термомеханической массы (ХТММ) и беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) и её использования в инновационных, высокотехнологичных видах готовой продукции – офисной бумаги А3-А4 для копировальных машин и принтеров и картона для упаковки жидких продуктов.

Учитывая, что предприятие по воздействию на окружающую среду находится в списке 300 крупнейших и готовится к получению комплексного экологического разрешения и поэтапному переходу к НДТ для ЦБП, ведется большая работа по моделированию процесса очистки стоков и перспективным инвестициям. Изучается опыт концентрации и сжигания стоков БХТММ в системе регенерации производства крафт-целлюлозы, обработка стока кислородом, объединение систем аэрации стоков и многое другое.

Следует особо отметить, что осиновая БХТММ за счет наличия в массе жестких, неразорванных волокон придает очень важные свойства офисной бумаге – придает ей пухлость, то есть большой удельный объем, и, как следствие, жесткость, а также непрозрачность – за счет большого количество мелочи на поверхности, которая хорошо рассеивает свет, в отличие от химической древесной целлюлозы, волокна которой мягкие и гибкие, прозрачные, хорошо рассеивают свет.

Технология производства бумаги с использованием осинового БХТММ позволяет добиться снижения воздействия на окружающую среду, включая сокращение углеродного следа и выбросов в атмосферу. Применение БХТММ обеспечивает более бережное и рациональное использование лесных ресурсов и, одновременно, снижает «углеродный след» продукции.

Для приближенного расчета сокращения углеродного следа можно наметить основные направления расчета:

1. Сокращение возраста рубки, который составляет для осины – от 40 лет; для березы – от 60 лет, для сосны – от 80 лет.
2. Снижение расхода древесины на получение волокнистых полуфабрикатов – с 4,2 м<sup>3</sup> на тонну для лиственной целлюлозы до 2,7 м<sup>3</sup> на тонну для осинового блененного ХТММ.
3. Снижение расхода волокнистого сырья за счет увеличения пухлости, то есть снижения объемного веса при использовании БХТММ в композиции.
4. Улучшение качества лесов Северо-Запада России за счет извлечения из них и переработки осинового сырья, пораженного прижизненной гнилью.

Говоря о перспективах использования осины или «тополя дрожащего», можно заключить, что потенциал этой породы древесины еще полностью не использован в промышленном и экологическом отношении, и здесь будет важен опыт других стран. Например, опыт Бразилии, где десятилетиями идет работа над выведением различных клонов эвкалипта, с максимальной скоростью роста, устойчивого к болезням и вредителям, наибольшей плотностью и максимальным выходом целлюлозы, по использованию компоста осадка предприятий для удобрения плантаций [9, 10].

Еще более интересен опыт Китая [16], где в последние десятилетия для научного обеспечения успешного опыта плантационного выращивания тополя, были проведены многоплановые исследования, которые показали, насколько перспективна эта порода, что и было подтверждено на практике. Китаю принадлежит самая большая площадь плантаций тополя в мире, составляющая 24,82 % мировых площадей плантаций. Постоянное увеличение площади плантаций вносит значительный вклад в лесной покров Китая. На 2016 год в Китае работало 34 ЦБК и более 50 технологических линий по производству волокнистых полуфабрикатов мощностью более 10 млн тонн в год. На половине этих линий производится блененный ХТММ из тополя или смеси тополя и эвкалипта. Эти линии расположены в таких районах, как бассейн реки Янцзы, равнина между реками Хуанхэ и рекой Хуай, Северо-Китайская равнина и северо-восточные регионы. Все линии были поставлены компанией Valmet Co., Финляндия. Их технико-экономические характеристики можно резюмировать следующим образом: дозировка едкого натра 40-60 кг/т, пероксида водорода 70-100 кг/т, удельная энергия рафинирования 1100-1300 кВтч/т, степень помола 250-350 мл ЦСЖ, масса > 2,40 г/см<sup>3</sup>, индекс растяжения > 24 Нм/т, белизна 72-80 %, непрозрачность > 88 %.

Интересен также и опыт Китая по использованию тополя в агролесоводстве (agroforestry). Считается, что система агролесоводства как альтернативная система землепользования, при которой деревья и сельскохозяйственные культуры наилучшим образом используют ресурсы окружающей среды, т.е. воду, питательные вещества, солнечный свет, и т.д. Тополь обычно сажают на равнинных землях, что делает его основной породой деревьев, используемой в системах агролесоводства в Китае. Целью исследований и практик является создание высокоэффективных систем агролесоводства, которые сосредоточены не только на эффективности использования ресурсов (земли, воды, питательных веществ, солнечного излучения, т.д.), но также обеспечивают максимальную экономическую выгоду [16].

## Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. СПб. 2002-2010, Многотомник, в 7-и томах.
2. Papermaking Science and Technology. Finnish Paper Engineers Association and TAPPI, 1999-2010. В 19-ти томах.
3. Smook Gary A. Handbook for Pulp & Paper Technologist. Vancouver, 2002.
4. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects. NY: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. 462 p.
5. Рыбников О. В., Бондаренко Н. П., Мандре Ю. Г., Аким Э. Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного предприятия ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. С. 63-683.
6. Аким Э. Л. Взаимодействие целлюлозы и других полисахаридов с водными системами : монография «Научные основы химической технологии углеводов» / Под ред. А. Г. Захарова. М.: ЛКИ, 2008. С. 265-348.
7. Аким Э. Л. Биорефайнинг древесины // Химические волокна. 2016. № 3. С. 14-18.
8. Lebedys A., Kollert W. Poplar resources and markets from European perspective // Proceedings of the 1-st meeting of European Poplar Producers. Rome: Forest Management Division, FAO, 2010.
9. Аким Э. Л., Бучельникова Я. В., Молотков Л. К., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Заяц Ю. Н., Сергеев А. Д., Рыбников О. В., Рассказова Н. Я. Плантационное выращивание тополя и развитие лесного сектора Китая // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. С. 63-68.
10. Плантационное лесоводство / Под ред. И. В. Шутова. СПб., 2007. 365 с.
11. Аким Э. Л., Мандре Ю. Г., Пондарь С. И., Заяц Ю. Н., Сергеев А. Д., Коваленко М. В., Рыбников О. В. Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки как путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 9. С. 20-27.
12. Аким Э. Л., Бучельникова Я. В., Молотков Л. К., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Заяц Ю. Н., Сергеев А. Д., Рыбников О. В., Рассказова Н. Я. Биорефайнинг осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. С. 26-31.
13. Патент РФ 2459024. Способ переработки зараженных гнилью балансов / Э. Л. Аким, О. В. Рыбников, Ю. Г. Мандре и др. Заявлено 21.12.2010; опубл. 20.08.2012.
14. Forest Products Annual Market Review, 2019-2020. Geneva – NY: UNECE/FAO UN, 2020. 105 p.
15. Forest products 2017. FAO Statistics. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. 436 p.
16. International Poplar Commission Country Reports P. R. China Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization. 2012-2015.

## EXPERIENCE AND PROSPECTS OF THE USE OF ASPEN WOOD IN THE PRODUCTION OF CARDBOARD AND PAPER

O. V. Rybnikov<sup>1</sup>, E. L. Akim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Svetogorsk Pulp and Paper Mill, Svetogorsk, Russia

<sup>2</sup> Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia

E-mail: akim-ed@mail.ru

The paper considers the experience of the Svetogorsk Pulp and Paper Mill in obtaining BHTMM from aspen wood: environmental and technological aspects. The features of harvesting, sorting and storage of aspen balance are considered in order to obtain optimal properties of finished products while reducing energy consumption and chemicals, as well as a wastewater treatment system. A set of measures has been developed and proposed to solve the existing difficulties associated with the characteristics of raw materials. The experience of Brazil and China on plantation cultivation and use of wood is also given.

**Keywords:** pulp and paper industry, Svetogorsk Pulp and paper mill, BCTMP, aspen, poplar, oxygen-alkaline bleaching, paper, paperboard, BAT.

### References

1. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnye materialy* [Technology of pulp and paper production. Reference materials]. St. Petersburg. 2002-2010, in 7 vol. (In Russian).
2. Papermaking Science and Technology. Finnish Paper Engineers Association and TAPPI, 1999-2010, in 19 vol.
3. Smook Gary A. Handbook for Pulp & Paper Technologist. Vancouver, 2002.
4. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects. NY, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017, 462 p.
5. Rybnikov O. V., Bondarenko N. P., Mandre Yu. G., Akim E. L. Poetapnaya ekologo-tekhnologicheskaya rekonstruktsiya integrirovannogo predpriyatiya TsBP [Step-by-step ecological and technological reconstruction of an integrated CBP enterprise]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2013, №5, pp. 63-683. (In Russian).
6. Akim E. L. Vzaimodeystvie tsellyulozy i drugikh polisakharidov s vodnymi sistemami [Interaction of cellulose and other polysaccharides with water systems]. *V monografii «Nauchnye osnovy khimicheskoy tekhnologii uglevodov»* [In the monograph «Scientific foundations of chemical technology of carbohydrates»], ed. A. G. Zakharov. Moscow, LKI, 2008, pp. 265-348. (In Russian).
7. Akim E. L. Biorefayning drevesiny [Biorefining of wood]. *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers], 2016, № 3, pp. 14-18. (In Russian).
8. Lebedys A., Kollert W. Poplar resources and markets from European perspective. *Proceedings of the 1-st meeting of European Poplar Producers*. Rome, Forest Management Division, FAO, 2010.
9. Akim E. L., Buchel'nikova Ya. V., Molotkov L. K., Kovalenko M. V., Mandre Yu. G., Zayats Yu. N., Sergeev A. D., Rybnikov O. V., Rasskazova N. Ya. Plantatsionnoe vyrashchivanie topolya i razvitie lesnogo sektora Kitaya [Plantation cultivation of poplar and development of the forest sector of China]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2011, №8, pp. 63-68. (In Russian).
10. Shutova I. V. *Plantatsionnoe lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, 2007. 365 p. (In Russian).
11. Akim E. L., Mandre Yu. G., Pondar' S. I., Zayats Yu. N., Sergeev A. D., Kovalenko M. V., Rybnikov O. V. Sochetanie periodicheskoy i nepreryvnoy sul'fatnoy varki kak put' povysheniya konkurentosposobnosti integrirovannogo predpriyatiya [Combination of periodic and continuous sulfate cooking as a way to increase the competitiveness of an integrated

- enterprise]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2011, №9, pp. 20-27. (In Russian).
12. Akim E. L., Buchel'nikova Ya. V., Molotkov L. K., Kovalenko M. V., Mandre Yu. G., Zayats Yu. N., Sergeev A. D., Rybnikov O. V., Rasskazova N. Ya. Biorefayning osiny [Biorefining of aspen]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2011, №8, pp. 26-31. (In Russian).
  13. Akim E. L., Rybnikov O. V., Mandre Yu. G. et al. *Sposob pererabotki zarazhennykh gnil'yu balansov* [A method for processing rot-infected balances]. Patent RF 2459024, 2012. (In Russian).
  14. *Forest Products Annual Market Review, 2019-2020*. Geneva – NY, UNECE/FAO UN, 2020. 105 p.
  15. *Forest products 2017. FAO Statistics*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019, 436 p.
  16. *International Poplar Commission Country Reports. P. R. China Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization. 2012-2015*.

**МАТЕРИАЛЫ**

**III Международной научно-технической конференции  
молодых ученых и специалистов ЦБП**

**«СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ  
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ  
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ»**

**«MODERN PULP AND PAPER INDUSTRY.  
CURRENT CHALLENGES AND PROMISING SOLUTIONS»**

2022 • Том 2

Редактор и корректор М. Д. Баранова  
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2021 г., поз. 5305/21

---

Подписано к печати 29.07.2022.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 6,2.	Уч.-изд. л. 6,2.
Тираж 20 экз.	Изд. № 5305/21.	Цена «С».
		Заказ №

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,  
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.