



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

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

Материалы

II Международной научно-технической конференции  
молодых учёных и специалистов ЦБП

Том I



Санкт-Петербург  
2020

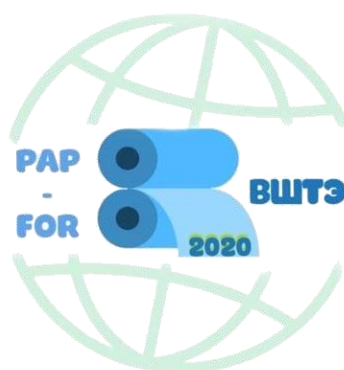
МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

---

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ



PAP-FOR 2020



Материалы

II Международной научно-технической конференции  
молодых учёных и специалистов ЦБП

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

23 ноября 2020 г.

Том I

**PAP-FOR**  
■ RUSSIA ■

Санкт-Петербург

УДК 676:(665+378+628)+674.8+502.17  
ББК 65.9(2)304.18

Рецензент:

Яков Владимирович Казаков, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

Материалы II Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 23 ноября 2020 года) / Отв. ред. О.В. Фёдорова; ред. А.Г. Кузнецов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – Том I. – 117 с.

**ISBN 978-5-91646-240-1**

В сборнике материалов размещены доклады научно-технической конференции, представленные студентами, аспирантами, молодыми учёными и специалистами целлюлозно-бумажной промышленности России, Республики Беларусь, Индии и Германии, 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.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

ISBN 978-5-91646-240-1

© Высшая школа технологии  
и энергетики СПбГУПТД,  
2020

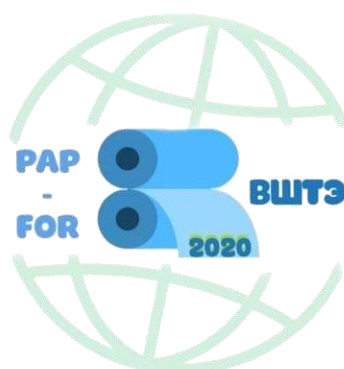
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education  
**SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGIES AND DESIGN**

---

**HIGHER SCHOOL OF TECHNOLOGY AND ENERGY**



**PAP-FOR 2020**



Proceedings  
of the 2<sup>nd</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 23, 2020

Volume I

**PAP-FOR**  
■ **R U S S I A** ■

Saint Petersburg

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

Reviewer:

Yakov Vladimirovich Kazakov, Doctor of Technical Sciences, professor,  
Head 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 2nd International State-of-the-Art Conference  
of Young Researchers and Pulp & Paper Industry Specialists (Russia, Saint  
Petersburg, 23 of November, 2020). Exec. Ed. O.V. Fedorova, ed. A.G. Kuznetsov.  
Saint Petersburg, SPbSUITD HSTE, 2020, vol. 1, 117 p.

**ISBN 978-5-91646-240-1**

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.

Recommended for publication by the Editorial and Publishing Council of the  
Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of  
Industrial Technologies and Design.

ISBN 978-5-91646-240-1

© Higher School of Technology  
and Energy of SPbSUITD,  
2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Д.В. Бобовикова, А.Г. Николаева <b>Применение профессиональных стандартов в обучении бакалавров по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах» в рамках подготовки кадров для целлюлозно-бумажной промышленности.....</b>	<b>9</b>
Д.Ю. Васильева, Д.Е. Зырянов, Н.С. Решетова, Л.В. Юртаева <b>Влияние ножевого способа размола волокнистой массы на процесс получения готовой продукции.....</b>	<b>15</b>
Е.В. Каплёв, Л.В. Юртаева, Ю.Д. Алашкевич, Р.А. Марченко, А.А. Муравицкая <b>Влияние конструктивных параметров турбины на физико-механические показатели готовых отливок .....</b>	<b>20</b>
Я.В. Боркина, В.Л. Флейшер <b>Взаимодействие малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином.....</b>	<b>25</b>
А.М. Бородина, А.П. Васильева, И.И. Осовская <b>Камедь: перспективы применения.....</b>	<b>28</b>
Е.Н. Громова, А.Г. Николаева <b>Анализ причин возникновения непроваров в производстве сульфатной целлюлозы .....</b>	<b>32</b>
А.А. Хидоятов, А.Г. Кузнецов, Л.Г. Махотина <b>Исследование процесса извлечения химических компонентов древесины лиственницы на экспериментальном экстракторе для использования их в композиции биоразлагаемой упаковки .....</b>	<b>35</b>
П.П. Корнев, И.И. Осовская <b>Экстракция биологически активных веществ крапивы двудомной Ленинградской и Московской областей.....</b>	<b>42</b>
А.С. Малова, В.Н. Сунайт <b>Использование порошковых целлюлозных материалов в производстве бумаги и картона.....</b>	<b>45</b>
Д.А. Мельникова, Е.Ю. Демьянцева <b>Солюбилизационные системы на основе каротиносодержащих экстрактов биомассы хвойной древесины .....</b>	<b>51</b>
М.А. Мидукова, Е.Г. Смирнова <b>Технология флотации макулатуры из офисных видов бумаги .....</b>	<b>54</b>
А.Г. Николаева, С.Н. Смородин <b>Исследование теплотехнических характеристик отходов целлюлозно-бумажных предприятий.....</b>	<b>57</b>
М.О. Слюта, А.В. Бахтин <b>Применение интеллектуальных технологий на базе нейронных сетей для построения системы мониторинга процесса переноса загрязняющих веществ в водных акваториях.....</b>	<b>63</b>

В.И. Рожков, А.А. Ефимов	
<b>Эргономика в АСУ ТП: от теории к практике .....</b>	<b>66</b>
А.В. Ушаков, Ю.Д. Алашкевич, В.А. Кожухов, В.Н. Матыгулина, К.А. Хохлов	
<b>Факторы процесса размола волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации.....</b>	<b>72</b>
Е.П. Ширшова, С.В. Арзамасцев, О.В. Асташкина	
<b>Бумага и нетканые материалы на основе углеродных волокон и фторопластов.....</b>	<b>78</b>
А.И. Шишкин, М.С. Строганова, А.Ж. Адылова, Х.О. Барххуев	
<b>Экспериментальное определение констант скорости биологической очистки щелочесодержащих сточных вод в летне-осенний период 2019-2020 гг. ....</b>	<b>83</b>
В.С. Антонова, И.И. Осовская, Г.К. Малиновская	
<b>Разработка способа получения распушенной целлюлозы для получения санитарно-гигиенических изделий специального назначения .....</b>	<b>90</b>
В.А. Гаваза, Г.К. Малиновская, Е.Г. Смирнова, А.К. Хрипунов	
<b>Применение бактериальной целлюлозы при аэродинамическом формировании бумаги.....</b>	<b>96</b>
В.В. Марценюк, А.А. Лысенко, Я.В. Костюхина, И.А. Кулик	
<b>Термические свойства плёночных композитов, наполненных углеродными наночастицами .....</b>	<b>101</b>
Е.А. Петрова, Е.Ю. Демьянцева	
<b>Устойчивость эмульсий на основе водорастворимых веществ хвои .....</b>	<b>107</b>
И.А. Федоскин, Е.Д. Софронова, В.А. Липин	
<b>Современные технологии отбеливания сульфатной целлюлозы из древесины лиственных пород .....</b>	<b>110</b>
О.Т. Чебанова, Е.С. Быстрова, Е.М. Лоцманова, Е.Г. Смирнова	
<b>Исследование устойчивости к старению целлюлозы из древесины эвкалипта .....</b>	<b>114</b>

## CONTENTS

D.V. Bobovikova, A.G. Nikolaeva <b>Application of professional standards in the training of bachelors in the direction 27.03.04 «Management in technical systems» in the framework of personnel training for the pulp and paper industry.....</b>	<b>13</b>
D.Yu. Vasilyeva, D.E. Zyryanov, N.S. Reshetova, L.V. Yurtaeva <b>The influence of the knife method of milling the pulp on the process of obtaining the final product .....</b>	<b>19</b>
E.V. Kaplyov, L.V. Yurtaeva, Yu.D. Alashkevich, R.A. Marchenko, A.A. Muravitskaya <b>Influence of turbine design parameters on physical and mechanical parameters of finished castings.....</b>	<b>23</b>
Ya.V. Borkina, V.L. Fleisher <b>Interaction of maleopimaric acid with diethylenetriamine.....</b>	<b>27</b>
A.M. Borodina, A.P. Vasilieva, I.I. Osovskaya <b>Gum: prospects of its application .....</b>	<b>31</b>
E.N. Gromova, A.G. Nikolaeva <b>Analysis of the causes of undercooked pulp in the production of sulphate cellulose.....</b>	<b>34</b>
A.A. Khidoyatov, A.G. Kuznetsov, L.G. Makhotina <b>Study of the extraction process of larch wood chemical components by an experimental extractor for their use in the composition of biodegradable packaging.....</b>	<b>41</b>
P.P. Kornev, I.I. Osovskaya <b>Extraction of biologically active substances of stinging nettle in leningrad and moscow regions.....</b>	<b>44</b>
A.S. Malova, V.N. Synait <b>The use of powdered cellulosic materials in the manufacture of paper and board.....</b>	<b>49</b>
D.A. Melnikova, E.Yu. Demiantseva <b>Solubilization system carotene-containing extracts of coniferous wood biomass .....</b>	<b>53</b>
M.A. Midukova, E.G. Smirnova <b>Improvement of flotation technology of recovered paper after use of office types of paper.....</b>	<b>56</b>
A.G. Nikolaeva, S.N. Smorodin <b>Study of thermal characteristics of pulp and paper enterprises wastes .....</b>	<b>61</b>
M.O. Slyuta, A.V. Bakhtin <b>Application of intelligent technologies based on neural networks for construction of a system for monitoring the process of contaminants transfer in water areas .....</b>	<b>65</b>
V.I. Rozhkov, A.A. Efimov <b>Ergonomics in automated process control systems: from theory to practice.....</b>	<b>70</b>
A.V. Ushakov, Y.D. Alashkevich, V.A. Kozhukhov, V.N. Matygulina, K.A. Hohlov <b>Factors of high consistence refining process of fibrous semi-finished products .....</b>	<b>76</b>



E.P. Shirshova, S.V. Arzamastsev, O.V. Astashkina	
<b>Paper and nonwoven materials based on carbon fiber and fluoroplastics.....</b>	<b>81</b>
A.I. Shishkin, A.Zh. Adylova, M.S. Stroganova, Kh.O. Barkhkhuev	
<b>Assessment of the influence of organic compounds of alkaline-containing wastewater on the growth of active biomass in biological treatment systems .....</b>	<b>89</b>
V.S. Antonova, I.I. Osovskaya, G.K. Malinovskaya	
<b>Development of a method for obtaining fluff pulp for obtaining sanitary and hygienic products for special purposes.....</b>	<b>94</b>
V.A. Gavaza, G.K. Malinovskaya, E.G. Smirnova, A.K. Khripunov	
<b>Application of bacterial cellulose for aerodynamic paper forming.....</b>	<b>100</b>
V.V. Martsenyuk, A.A. Lysenko, Y.V. Kostyukhina, I.A. Kulik	
<b>Thermal properties of film composites filled by carbon nanoparticles.....</b>	<b>105</b>
E.A. Petrova, E.Yu. Demiantseva	
<b>Stability of emulsions based on water-soluble substances of wood needles.....</b>	<b>109</b>
I.A. Fedoskin, E.D. Sofronova, V.A. Lipin	
<b>Modern technologies of sulphate cellulose bleaching from bulk wood .....</b>	<b>113</b>
O.T. Chebanova, E.S. Bystova, E.M. Lotsmanova, E.G. Smirnova	
<b>Research on aging resistance of eucalyptus wood pulp .....</b>	<b>116</b>

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБУЧЕНИИ  
БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 27.03.04 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ» В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ  
ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Д.В. Бобовикова, А.Г. Николаева\*

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

*E-mail: nik.anna77@mail.ru*

В настоящее время в организации профессионального обучения важно осуществлять совместную работу участников образовательных отношений по определению содержания учебного процесса в высшем образовании. За последнее время многие профессии претерпели существенную трансформацию, быстрыми темпами развиваются цифровые технологии, которые оказывают свое влияние практически на все производственные сферы деятельности, инновационное развитие промышленности определяет новые требования к квалификации выпускников вузов. Все эти факторы обуславливают необходимость при формировании образовательных программ высшего образования использовать гибкий и адаптивный подход к требованиям ведущих работодателей, учитывать в процессе обучения отраслевую специфику и реальную потребность организаций в специалистах.

*Ключевые слова: образовательный стандарт, профессиональный стандарт, образовательная программа, целлюлозно-бумажная отрасль, требования работодателей, учебный процесс, высшее образование, профессиональные компетенции.*

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что актуализированные образовательные стандарты (далее ФГОС ВО 3++) ориентированы в первую очередь на требования работодателей, представленные в профессиональных стандартах (далее ПС). Компетентностная модель обучения по ним позволяет в полной мере сформировать у выпускников требуемые умения и навыки, необходимые в будущей профессиональной деятельности, что положительно влияет на кадровое обеспечение предприятий целлюлозно-бумажной отрасли востребованными специалистами. Стоит отметить, что современный этап развития непрерывного образования характеризуется возрастанием сложности задач, решаемых в обучении [1, 2].

Цель исследования – разработка предложений по формированию образовательной программы (далее ОП), ориентированной на требования профессиональных стандартов и построенной на основе анализа требований рынка труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта, с учетом требований ведущих работодателей (объединений работодателей) целлюлозно-бумажной отрасли.

В рамках исследования для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение анализа содержания и структуры образовательного стандарта (ФГОС ВО 3++) по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах» [3].
2. Определение профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников направления 27.03.04, планирующих осуществлять свою будущую трудовую деятельность в области целлюлозно-бумажного производства.
3. Предложение алгоритма формирования образовательной программы на основе профессиональных стандартов с учетом требований ведущих работодателей целлюлозно-бумажной отрасли.

Рассмотрим основные особенности и структуру актуализированных стандартов ФГОС ВО 3++ [3]. Стандартом заданы области профессиональной деятельности выпускника согласно классификации профессиональных стандартов. Для исследуемого направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» предусмотрены следующие

области профессиональной деятельности:

- 06 Связь, информационные и коммуникационные технологии (в сфере развертывания, сопровождения, оптимизации функционирования баз данных, создания (модификации) и сопровождения информационных систем, поддержания в работоспособном состоянии с заданным качеством инфокоммуникационных систем и (или) их составляющих);
- 20 Электроэнергетика (в сфере разработки, наладки, испытаний и эксплуатации технологической автоматики при проектировании и эксплуатации объектов электроэнергетики);
- 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сферах обеспечения выпуска (поставки) продукции, соответствующей требованиям нормативных документов и технических условий; метрологического обеспечения разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции; исследования, разработки и эксплуатации средств и систем автоматизации и управления различного назначения; повышения эффективности производства продукции с оптимальными технико-экономическими показателями путем применения средств автоматизации и механизации).

Перечень ПС, применимых при разработке образовательных программ, приведен в приложении к стандарту. При этом стандартом предусмотрено, что образовательная организация может учитывать и другие ПС, соответствующие уровню образования и компетенциям выпускника. Перечень профессиональных стандартов [4], соответствующих профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» и планирующих трудовую деятельность в ЦБП, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень ПС, установленных ФГОС ВО 3++ по направлению 27.03.04

№ п/п	Код профессионального стандарта	Наименование области профессиональной деятельности. Наименование профессионального стандарта
<b>06 Связь, информационные и коммуникационные технологии</b>		
1.	06.011	ПС «Администратор баз данных»
2.	06.015	ПС «Специалист по информационным системам»
3.	06.016	ПС «Руководитель проектов в области информационных технологий»
4.	06.024	ПС «Специалист по технической поддержке информационно-коммуникационных систем»
<b>20 Электроэнергетика</b>		
5.	20.005	ПС «Работник по эксплуатации оборудования технологической автоматики и возбуждения гидроэлектростанции/гидроаккумулирующей электростанции»
<b>40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности</b>		
10.	40.010	ПС «Специалист по техническому контролю качества продукции»
11.	40.012	ПС «Специалист по метрологии»
12.	40.057	ПС «Специалист по автоматизированным системам управления производством»
13.	40.079	ПС «Специалист по автоматизации и механизации технологических процессов термического производства»

Профиль ОП определяется областью профессиональной деятельности выпускника, типами задач и задачами профессиональной деятельности, а при необходимости – объектами профессиональной деятельности и областью знаний. Стандартом направления 27.03.04 определены следующие типы задач профессиональной деятельности выпускников:

- научно-исследовательский;
- проектно-конструкторский;

- организационно-управленческий;
- производственно-технологический;
- монтажно-наладочный;
- сервисно-эксплуатационный.

Задачи профессиональной деятельности, объекты профессиональной деятельности или области знаний формулируются на основе ПС, используемых при разработке ОП.

Компетенции согласно ФГОС ВО 3++ делятся на три типа: универсальные (далее УК), общепрофессиональные (далее ОПК) и профессиональные (далее ПК). Сущность компетенций раскрывается индикаторами достижения компетенций, которые формулируются образовательными организациями самостоятельно. Индикаторы достижения компетенций должны обобщать результаты освоения соответствующих дисциплин (практик) ОП, формирующих эти компетенции. Совокупность результатов освоения всех дисциплин, прохождения практик, которые приняты для формирования компетенции, должна обеспечивать заявленные индикаторами достижения этой компетенции знания, умения и владения.

УК установлены образовательным стандартом одинаковыми для каждого уровня образования: бакалавриата, специалитета и магистратуры соответственно, что предполагает одинаковые для ОП всех профилей (специализаций) одного уровня образования индикаторы достижения компетенций и наборы дисциплин, формирующих компетенции.

ОПК установлены стандартом одинаковыми для направлений подготовки (специальностей) или для укрупненной группы направлений подготовки.

ПК определяются образовательной организацией на основе анализа ПС, указанных в приложении к образовательному стандарту, и иных ПС, применимых для выбранных областей профессиональной деятельности выпускников. ПК должны быть сформулированы с учетом области профессиональной деятельности выпускников, типов задач и объектов профессиональной деятельности или области знаний. При отсутствии ПС, соответствующих профилю ОП, ПК определяются на основе анализа требований рынка труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли и т.п.

Образовательная программа делится на две части: обязательную и формируемую участниками образовательных отношений. Образовательными стандартами предусмотрены требования к минимальному объему обязательной части ОП.

Рассмотрим порядок действий по формированию образовательной программы на основе профессиональных стандартов с учетом требований ведущих работодателей в области ЦБП:

1. Первый этап формирования – это анализ источников информации при разработке образовательной программы (рис. 1).

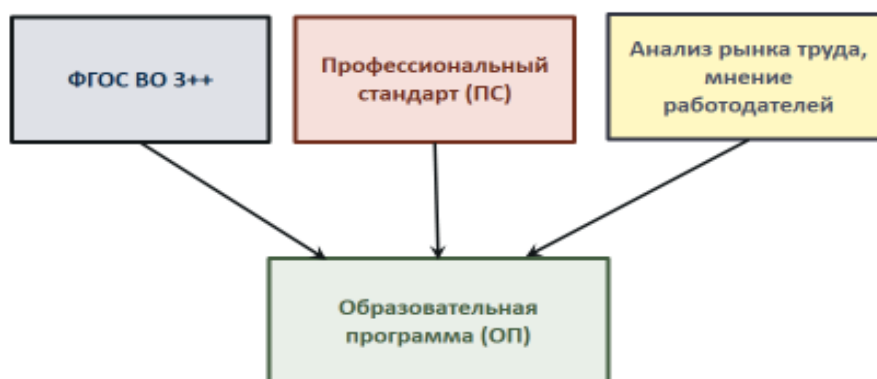


Рисунок 1 – Источники информации при разработке образовательной программы

2. На втором этапе формулируются профессиональные компетенции и индикаторы их достижений (рис. 2). Формулировка компетенций и индикаторов может

осуществляться либо в соответствии с трудовыми функциями (на основе необходимых знаний, умений и трудовых действий), относящимися к выбранным обобщенным трудовым функциям, указанным в профессиональных стандартах для ЦБП; либо на основе анализа требований рынка труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта, с учетом требований ведущих работодателей (объединений работодателей) целлюлозно-бумажной отрасли.

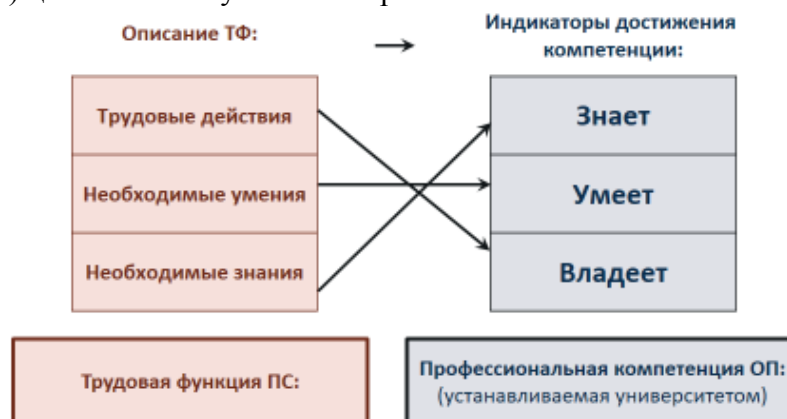


Рисунок 2 – Схема использования ПС для формирования ОП

3. На третьем этапе осуществляется определение дисциплин (практик), формирующих профессиональные компетенции (рис. 3).



Рисунок 3 – Схема определения дисциплин и практик, формирующих ПК

Предложенная последовательность действий при формировании образовательной программы, реализуемой по направлению «Управление в технических системах» в соответствии с ФГОС ВО 3++, позволяет реализовать компетентностную модель обучения выпускников, соблюдая при этом все требования образовательного стандарта и учитывая требования профессиональных стандартов, а также мнение ведущих работодателей целлюлозно-бумажной отрасли.

## Список литературы

1. Курейчик В.В., Бова В.В. Моделирование процесса представления знаний в интеллектуальных обучающих системах на основе компетентностного подхода // Открытое образование. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssessa-predstavleniya-znaniy-v-intellektualnyh-obuchayuschih-sistemah-na-osnove-kompetentnostnogo-podhoda> (дата обращения: 24.12.2020).
2. Ломакин В.В., Асадуллаев Р.Г. Построение формальной модели представления знаний для систем индивидуального электронного обучения // Экономика. Информатика. 2013. №8-1 (151). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-formalnoy-modeli-predstavleniya-znaniy-dlya-sistem-individualnogo-elektronnogo-obucheniya> (дата обращения: 24.12.2020).
3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах». URL: <https://gturp.spb.ru/wp-content/uploads/2020/09/270304.pdf> (дата обращения 24.12.2020).
4. Реестр профессиональных стандартов. Официальный сайт Минтруда России. URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/> (дата обращения 24.12.2020).

### **APPLICATION OF PROFESSIONAL STANDARDS IN THE TRAINING OF BACHELORS IN THE DIRECTION 27.03.04 «MANAGEMENT IN TECHNICAL SYSTEMS» IN THE FRAMEWORK OF PERSONNEL TRAINING FOR THE PULP AND PAPER INDUSTRY**

D.V. Bobovikova, A.G. Nikolaeva\*

*Higher school of technology and energy of SPbSUITD, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: nik.anna77@mail.ru*

Currently, in the organization of vocational training, it is important to carry out joint work of participants in educational relations to determine the content of the educational process in higher education. Recently, many professions have undergone a significant transformation, digital technologies are rapidly developing, which have an impact on almost all production areas of activity, innovative development of industry determines new requirements for the qualification of university graduates. All these factors make it necessary to use a flexible and adaptive approach to the requirements of leading employers in the formation of higher education programs, to take into account the industry specifics and the real need of organizations for specialists in the training process.

*Keywords: educational standard, professional standard, educational program, pulp and paper industry, employers' requirements, educational process, higher education, professional competencies.*

### **References**

1. Kureychik V.V., Bova V.V. Modelirovanie protssessa predstavleniya znaniy v intellektual'nykh obuchayushchikh sistemakh na osnove kompetentnostnogo podkhoda [Modeling of the process of knowledge representation in intellectual training systems based on the competence approach]. *Otkrytoe obrazovanie* [open education]. 2014. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssessa-predstavleniya-znaniy-v-intellektualnyh-obuchayuschih-sistemah-na-osnove-kompetentnostnogo-podhoda> (accessed 24.12.2020). (In Russian).
2. Lomakin V.V., Asadullaev R.G. Postroenie formal'noy modeli predstavleniya znaniy dlya sistem individual'nogo elektronnogo obucheniya [Building a formal model of knowledge representation for individual e-learning systems]. *Ekonomika. Informatika* [Economy. Computer science]. 2013. №8-1 (151). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-formalnoy-modeli-predstavleniya-znaniy-dlya-sistem-individualnogo-elektronnogo-obucheniya> (accessed 24.12.2020). (In Russian).

3. *Federal'nyy gosudarstvennyy obrazovatel'nyy standart vysshego obrazovaniya – bakalavriat po napravleniyu podgotovki 27.03.04 «Upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh»* [Federal State educational standard of higher education-bachelor's degree in the direction of training 27.03.04 «Management in technical systems»]. URL: <https://gturp.spb.ru/wp-content/uploads/2020/09/270304.pdf> (accessed 24.12.2020). (In Russian).
4. *Reestr professional'nykh standartov. Ofitsial'nyy sayt Mintruda Rossii* [Register of Professional Standards. Official website of the Ministry of Labor of Russia]. URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/> (accessed 24.12.2020). (In Russian).

## **ВЛИЯНИЕ НОЖЕВОГО СПОСОБА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Д.Ю. Васильева, Д.Е. Зырянов, Н.С. Решетова, Л.В. Юртаева\*

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск*

*E-mail: 2052727@mail.ru*

В данной работе рассмотрена зависимость качества получаемой готовой продукции от обработки волокнистой массы в дисковой мельнице с использованием ножевой размалывающей гарнитуры с криволинейной формой ножей на примере хвойной и лиственной целлюлозы. Полученные значения физико-механических характеристик готовой продукции подтверждают выдвинутое предположение о преимущественном фибриллировании целлюлозного волокна, размолотого с использованием гарнитуры с криволинейной формой ножей.

*Ключевые слова: целлюлоза, размол, ножевая размалывающая гарнитура, дисковая мельница, волокнистая масса, длина волокна, фибриллирование, разрывная длина*

Волокна растительного происхождения (целлюлоза), главным образом получаемые из древесины, в настоящее время широко используются как для производства бумаги и картона, так и для химической переработки с целью получения искусственных волокон или продуктов модификации и этерификации целлюлозы. Несмотря на повсеместное использование при производстве бумаги и картона лиственных пород древесины, в настоящее время и в перспективе роль хвойных пород, широко распространенных в Российской Федерации, остается ключевой. Использование растительных волокон как основного компонента для производства массовых видов бумаги и картона обусловлено их доступностью, при достаточно низкой стоимости, получением из возобновляемого сырья, возможностью повторной переработки и сохранением экологического равновесия в природе [1].

Известно, что древесина лиственных пород отличается от древесины хвойных пород анатомическим строением, физическими свойствами и химическим составом. Лиственная древесина по структуре анатомических элементов значительно сложнее хвойной. В древесине хвойных пород имеются два основных типа волокон: длинные трахеиды (до 90 – 95%) и короткие паренхимные клетки (70%). В состав лиственной древесины входят проводящие элементы (сосуды), механические (волокна либриформа) и запасающие (паренхимные клетки). Волокна либриформа занимают во многих породах лиственной древесины до 3/4 ее объема и состоят в основном из целлюлозы, частично гемицеллюлоз и полиуронидов. Они имеют толстые и одревесневшие оболочки благодаря отложению в них лигнина. Волокна древесины лиственных пород отличаются от хвойных также и по размерам. Они в 2 – 3 раза короче и в 1,5 раза тоньше волокон хвойной древесины. Так, например, длина волокон древесины березы составляет 0,7 – 1,6 мм, осины – 0,8 – 1,8 мм, хвойных – 2,5 – 6 мм. Более короткие волокна лиственной древесины усложняют отлив бумажного полотна на бумагоделательной машине вследствие низкой прочности его во влажном состоянии. По химическому составу хвойные и лиственные породы существенно различаются как по количественному, так и по качественному составу компонентов. Древесина лиственных пород отличается от древесины хвойных пород большим содержанием гемицеллюлоз и меньшим содержанием лигнина. В березе и осине содержится примерно 19 – 22% лигнина и 22 – 30% гемицеллюлоз, в сосне и ели 26 – 28% лигнина и 15 – 20% гемицеллюлоз [2]. Этим частично объясняется то, что выход полуцеллюлозы из лиственной древесины больше, чем из хвойной (70 – 82% против 65 – 73%). В связи с этим



для достижения требуемого качества готовых изделий, в первую очередь, необходимо учитывать вид волокнистого материала и бумагообразующие свойства исходного сырья.

Получение количественных закономерностей, связывающих характеристики структуры бумаги с ее физико-механическими и потребительскими свойствами, является актуальной задачей, востребованной как исследователями, так и производителями целлюлозно-бумажной промышленности. При этом имеется в виду как поведение волокнистой суспензии в технологических процессах при изготовлении из нее бумаги, так и ее влияние на свойства получаемой бумажной массы и готовой бумаги.

На кафедре машин и аппаратов промышленных технологий СибГУ им. М.Ф. Решетнева проводятся исследования в области размолла волокнистых полуфабрикатов с использованием как ножевого, так и безножевого способов размолла. Цель данной работы – изучение влияния ножевого способа размолла волокнистой массы на процесс получения готовой продукции. Объектом исследования выступила продукция ОАО «Группа «Илим» в г. Братске: беленая сульфатная хвойная целлюлоза (БСХЦ) и беленая сульфатная лиственная целлюлоза (БСЛЦ).

На данном этапе исследований было выполнено следующее:

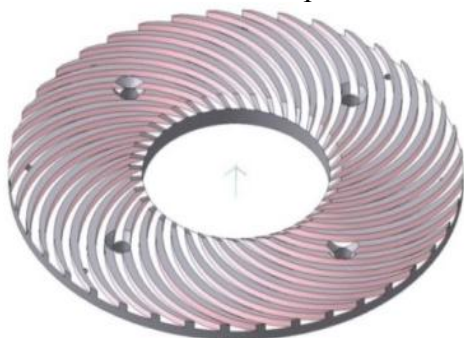
- проведена обработка волокнистой массы механическим (ножевым) способом;
- определены бумагообразующие свойства волокнистой суспензии;
- определены физико-механические характеристики готовой продукции.

Техническая характеристика экспериментальной установки ножевого размолла:

- 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.

Размолл волокнистой суспензии концентрацией 2% осуществлялся в полупромышленной дисковой мельнице 15 –65 °ШР при следующих параметрах: частота вращения ротора – 1500 об/мин и межножевой зазор – 0,1 мм, выбранных на основании ранее проведенных на кафедре МАПТ исследований.

Конструктивные и технологические характеристики рассмотренной в данной работе гарнитуры с криволинейной формой ножей [3], разработанной группой ученых кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, представлена на рис. 1. Исходя из значений секундной режущей длины и площади контакта ножей ротора и статора, можно предположить, что использование гарнитуры с криволинейной формой ножей будет способствовать снижению усилий, действующих на волокно по касательной, т. е. будет преобладать фибриллирование и наименьший рубящий эффект по сравнению с традиционными видами размалывающих гарнитур [4].



- наружный и внутренний диаметры:  
 $D = 300$  мм,  $d = 120$  мм;
- толщина и высота ножа:  $\delta = 6$  мм;  $h = 5$  мм;
- ширина канавки,  $b = 6$  мм;
- секундная режущая длина,  $L_s = 5600$  м/с;
- площадь контакта ножей ротора и статора,  $F = 0,010$  м<sup>2</sup>;
- отношение площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры,  $F_{\text{разм.}}/F_{\text{общ.}} = 41$  %

Рисунок 1 – Схема и характеристика ножевой размалывающей гарнитуры с криволинейными ножами серповидной формы

Данные, полученные в результате определения степени помола, водоудерживающей способности, длины волокна, подтверждают сделанное предположение о направлении

воздействия ножей криволинейной формы на волокна в процессе размола целлюлозы. В результате этого можно спрогнозировать заранее и физико-механические характеристики готовой продукции.

В результате размола волокнистой массы осуществляется разработка волокна как в продольном (фибриллирование), так и в поперечном (рубка) направлениях, при этом повышаются степень помола и водоудерживающая способность волокнистой массы, снижается среднее арифметическое значение длины волокна, более интенсивно при преимущественном рубящем воздействии гарнитуры и менее интенсивно при фибрилляции.

Как видно из рис. 2, начальная разработка волокна БСЛЦ происходит интенсивнее, чем БСХЦ. Однако рост степени помола в промежутке 30 – 60 °ШР значительно интенсивнее происходит у хвойной целлюлозы, что объясняется различием в строении волокон хвойной и лиственной древесины.

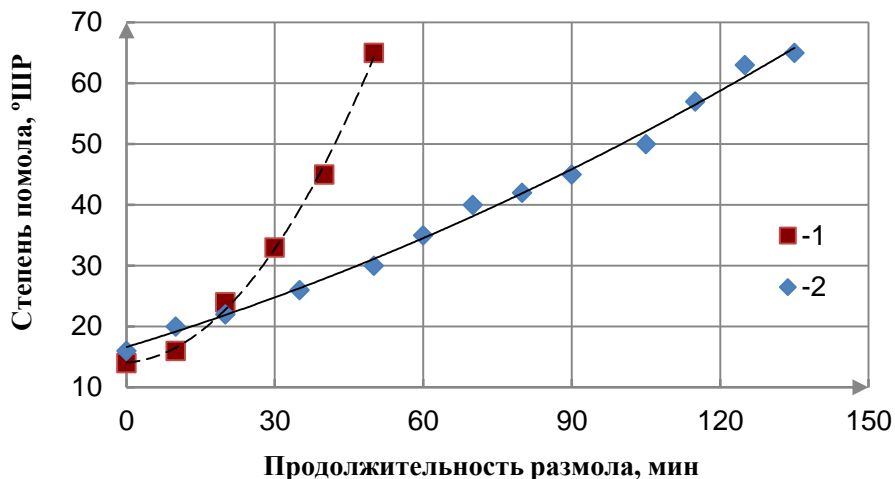


Рисунок 2 – Зависимость степени помола от продолжительности размола: 1 – хвойная целлюлоза; 2 – лиственная целлюлоза

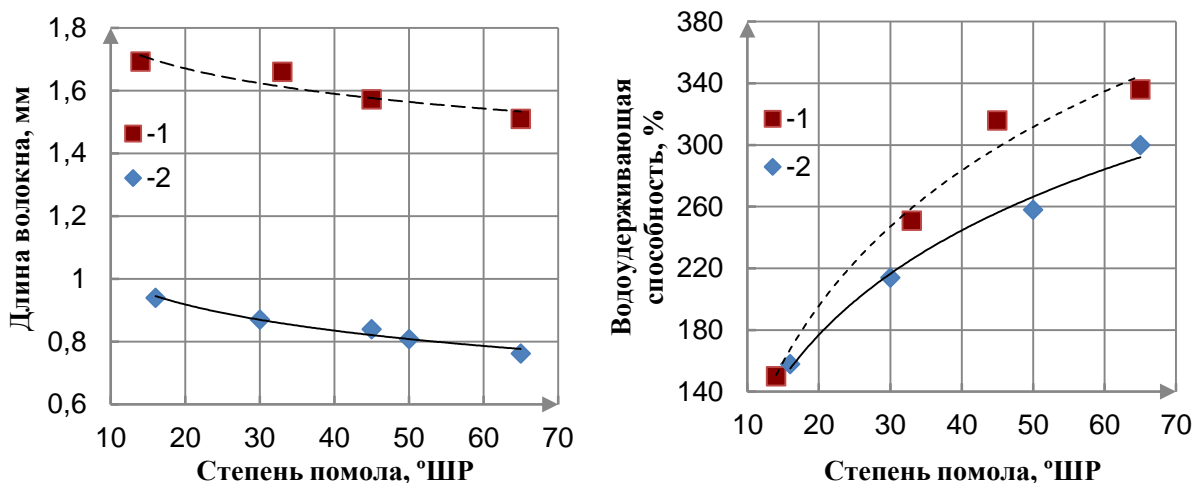


Рисунок 3 – Зависимость длины волокна и водоудерживающей способности волокнистой массы от продолжительности размола: 1 – хвойная целлюлоза; 2 – лиственная целлюлоза

Как видно из представленных данных на рис. 3, после размола БСХЦ и БСЛЦ количественная зависимость бумагообразующих свойств от степени помола изменилась следующим образом: длина волокна уменьшилась соответственно на 20% и 30%, водоудерживающая способность в среднем увеличилась в 2 раза, независимо от вида целлюлозы. Что касается качественных зависимостей, то их закономерность, идентичная во всех случаях и в целом, согласуется с классическими данными.

В сравнении с классическими данными, использование гарнитуры с криволинейной формой ножей позволяет добиться наиболее высоких значений бумагообразующих показателей для хвойной и лиственной целлюлозы за счет увеличения удельной поверхности волокна и большей его фибрилляции. При внешней и внутренней фибрилляции волокон увеличивается их удельная поверхность и освобождается большое число целлюлозных гидроксильных групп, что в дальнейшем способствует повышению физико-механических показателей и, как следствие, качества готовой продукции (рис. 4).

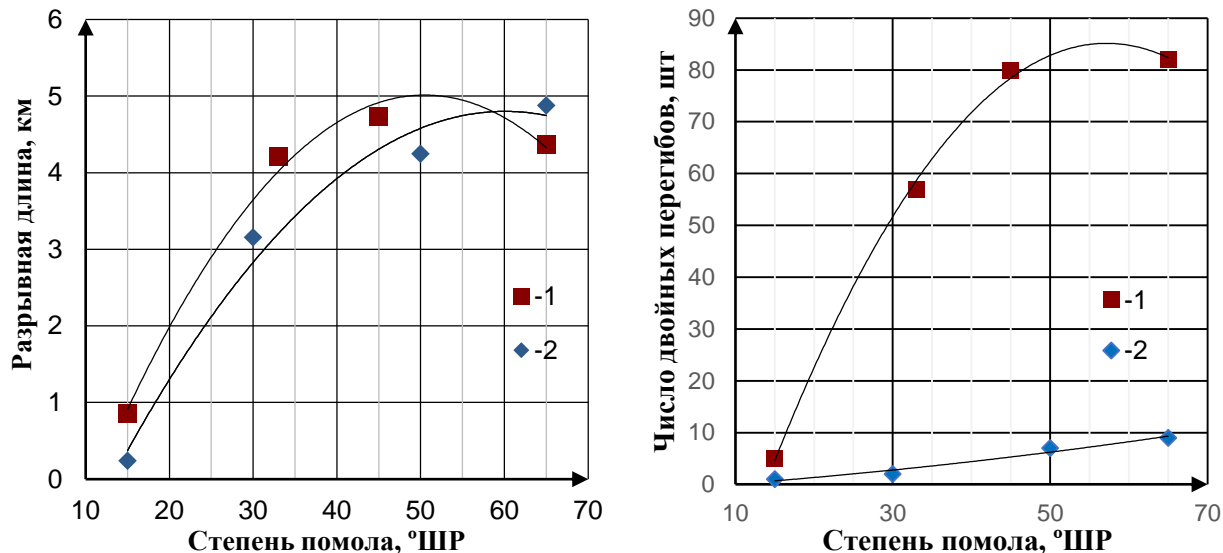


Рисунок 4 – Зависимость разрывной длины и числа двойных перегибов готовой бумаги от степени помола: 1 – хвойная целлюлоза; 2 – лиственная целлюлоза

Как видно из данных, представленных на рис. 4, после механической обработки БСХЦ и БСЛЦ рассмотренные свойства готовой бумаги изменились следующим образом:

- число двойных перегибов при размоле БСХЦ увеличилось в 1,5 раза, при размоле БСЛЦ – в 2 раза;
- качественные характеристики разрывной длины практически не отличаются друг от друга, независимо от вида целлюлозы. Тогда как количественные значения образцов из отливок, размолотых из БСЛЦ, после 60 °ШР немного выше и имеют тенденцию роста, в отличие от образцов из отливок, размолотых из БСХЦ.

Сравнение качественных показателей волокнистой массы, размолотой с использованием гарнитуры с криволинейной формой ножей, подтвердило предположение о необходимости учета процессов, происходящих в размольном оборудовании для получения продукции с требуемыми свойствами.

#### Список литературы

1. Комплексная химическая переработка древесины: учебник для вузов / под ред. проф. И.Н. Ковернинского. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. ун-та, 2002. 347 с.
2. Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. Т. 1: Производство сульфитной целлюлозы. 2-е изд. перераб. / под ред. д-ра техн. наук Ю.Н. Непенина. М.: Лесная промышленность, 1976. 624 с.
3. Пат. 2307883 РФ, МПК51 D21D1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура / Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И., Харин В.Ф., Мухачев А.П.; заявитель и патентообладатель: Сибир. госуд. технолог. ун-т № 2006110647/12. Заявлено 03.04.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. №28. 8 с.
4. Исследование свойств волокнистой массы при использовании гарнитуры с криволинейной формой ножей / Шуркина В.И., Юртаева Л.В., Марченко Р.А., Федорова О.Н., Алашкевич Ю.Д. // Решетневские чтения: материалы XXI междунар. науч.-практ. конф., посвящ.

памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (Красноярск, 02-11 ноября 2017 г.). Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. Ч. 2.– С. 169-171.

## **THE INFLUENCE OF THE KNIFE METHOD OF MILLING THE PULP ON THE PROCESS OF OBTAINING THE FINAL PRODUCT**

D.Yu. Vasilyeva, D.E. Zyryanov, N.S. Reshetova, L.V. Yurtaeva\*

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

*E-mail: 2052727@mail.ru*

This paper presents the dependence of the quality of the resulting finished product on the method of processing the fiber mass in a disk mill using knife-grinding sets with straight and curved shape of the knives. The obtained data confirm the assumption about the predominant fibrillation of cellulose fiber ground using a headset with a curved shape of knives. The article presents data on the influence of knife grinding sets in the process of grinding fiber mass on the physical and mechanical characteristics of the finished product.

*Keywords: cellulose, refining, tackle, disk mill, pulp, fiber length, fibrillation, breaking length.*

### **References**

1. Kovrninsky I.N. and others. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex Chemical Processing of Wood]. Arkhangelsk, Arkhangelsk State University Publ., 2002, 347 p. (In Russian).
2. Nevenin N.N. *Tekhnologiya tsellyulozy v 3-kh t. T. 1: Proizvodstvo sulfitnoy tsellyulozy* [Cellulose Technology in three parts. Part 1: Sulphite Pulp Production]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1976, 624 p. (In Russian).
3. Alashkevich Yu. D., Kovalev V.I., Kharin V.F., Mukhachev A.P. *Razmalyvayushchaya garnitura* [Tackle of Disk Mill]. Patent RF no. 2307883, 2007. (In Russian).
4. *Research of properties of fibrous mass when using a headset with a curved shape of knives/ Shurkina V.I., Yurtayeva L.V., Marchenko R.A., Fedorova O.N., Alashkevich Yu. D. / / Reshetnev readings: materials of the XXI international scientific and practical conference, dedicated in memory of the General designer of rocket and space systems academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, November 02-11, 2017, Part 2, Krasnoyarsk: Publishing house of Sibsu named after M.F. Reshetnev, 2017, Part 2, pp. 169-171. (In Russian).*

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБИНЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОТОВЫХ ОТЛИВОК**

Е.В. Каплёв, Л.В. Юртаева\*, Ю.Д. Алашкевич, Р.А. Марченко, А.А. Муравицкая  
*Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск  
E-mail: 2052727@mail.ru*

Ключевым процессом обработки растительных волокон, с целью придания необходимых механических свойств готовому продукту, является операция размол. В статье рассмотрен безножевой способ размол в установке типа «струя-преграда», гидродинамика движения волокнистой суспензии в месте перехода ее из поршня в удлинитель. Проанализировано влияние количества лопастей турбины установки на длину волокна и на отдельные физико-механические характеристики готовых отливок.

*Ключевые слова: размол, безножевая установка типа «струя-преграда», длина волокна, физико-механические показатели готовых отливок*

Целлюлозно-бумажная промышленность занимает одно из ведущих мест среди различных отраслей народного хозяйства по многосторонности и распространенности по всему миру, а также в силу необходимости ее продуктов для экономики любых стран. К тому же с появлением печатающих систем, работающих все с большей скоростью и выполняющих сложные задачи, возросли и требования к свойствам и качеству бумаги.

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 и физико-механические характеристики готовой продукции.

Одним из ключевых процессов обработки растительных волокон в целях придания им необходимых механических и бумагообразующих свойств является операция размол. При размолу растительных волокон в водной среде происходит как чисто механический процесс изменения размеров и формы волокон, так и коллоидно-химический процесс, называемый гидратацией волокон. Явления механического характера выражаются в укорачивании волокон и их продольном расщеплении на фибриллы. Гидратация при размолу проявляется в набухании гидрофильных растительных волокон, что в конечном итоге увеличивает способность волокон связываться между собой с образованием прочной структуры листа.

Так как процесс размол связан с перемещением больших масс волокнистых суспензий в рабочих органах размалывающих машин, то, следовательно, это сказывается на энергозатратах, связанных с перемещением, а в дальнейшем и на ее себестоимости.

Поэтому исследования в области эффективности работы размольного оборудования, на наш взгляд, являются актуальными и могут быть обеспечены на основе знания гидродинамических процессов, происходящих при взаимодействии рабочих органов размольного оборудования с волокнистой суспензией.

В СибГУ им. М.Ф. Решетнева на кафедре машин и аппаратов промышленных технологий ведутся исследования в области размолу волокнистых материалов на безножевой установке типа «струя-преграда» (рис. 1). Установлено, что волокнистые полуфабрикаты, обработанные способами, исключая ножевое воздействие на волокно, имеют более высокие прочностные показатели и поэтому наряду с усовершенствованием ножевых машин необходимо изучать механизм движения волокнистой суспензии в безножевых установках [1].

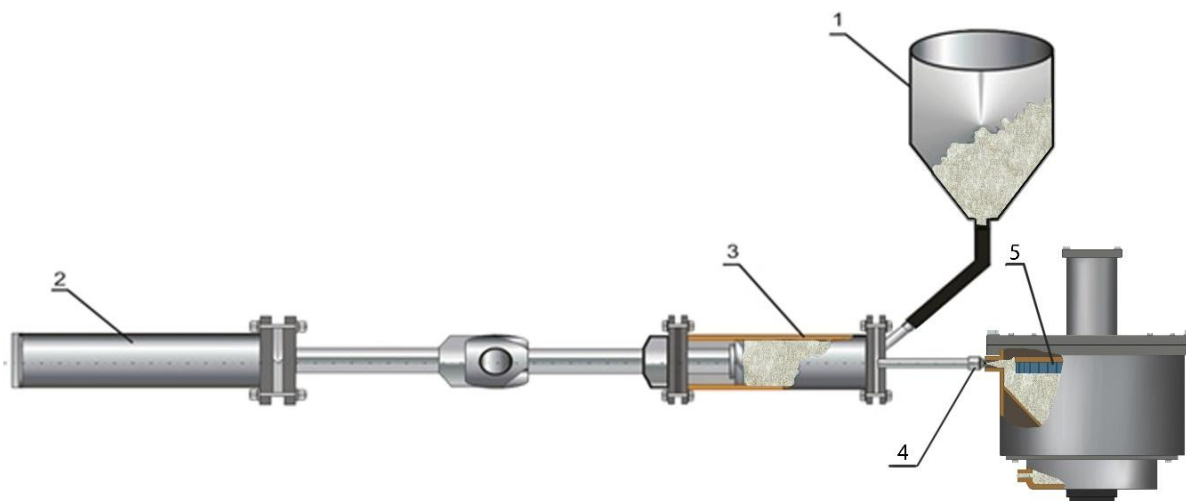


Рисунок 1 – Безножевая размольная установка типа «струя-преграда»: 1 – емкость, 2 – приводной цилиндр, 3 – рабочий цилиндр, 4 – насадка, 5 – подвижная преграда

Учитывая, что данная установка включает в себя два способа размола, имеется возможность регулировать степень воздействия как ножевого, так и безножевого способа, тем самым обеспечивая необходимое качество обработки волокна [2]. 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 [3-5], 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 него зависит степень обработки волокна. За счет кавитационного воздействия волокна подвергаются фибрилляции вдоль их оси, в результате оказывается положительное влияние на формирование механических свойств.

Рядом авторов [6, 7] установлено, что при сокращении числа лопастей у гидротурбин возрастает удельная нагрузка на лопасть, вследствие чего кавитационные качества колеса оказываются недостаточно высокими. С другой стороны, уменьшение суммарной поверхности омываемых водой лопастей позволяет повысить значение КПД и обеспечить относительно высокую быстроходность колеса. Увеличение числа лопастей снижает удельную нагрузку и тем самым улучшает кавитационные качества, то есть уменьшается кавитационный эффект гидротурбин.

Целью данной работы является изучение влияния количества лопаток подвижной преграды безножевой размольной установки типа «струя-преграда» на процесс размола волокнистой суспензии.

Задачи исследования:

- размол волокнистой массы на установке типа «струя-преграда» разным количеством лопаток, установленных на турбине;
- сравнение качественных и количественных характеристик исследуемых показателей в зависимости от количества лопаток, установленных на турбине.

Обработке подвергались образцы листовенной целлюлозы (БСЛЦ) (полуфабрикат РОП АО «Группа Илим» г. Братск). Процесс размола волокнистой суспензии проводился на

безножевой размольной установке типа «струя-преграда» с начальной степенью помола 16 °ШР, концентрацией 1% (рис. 1).

На основании экспериментальных данных построена графическая зависимость длины волокна БСЛЦ от прироста степени помола по шкале Шоппера-Риглера (рис. 2).

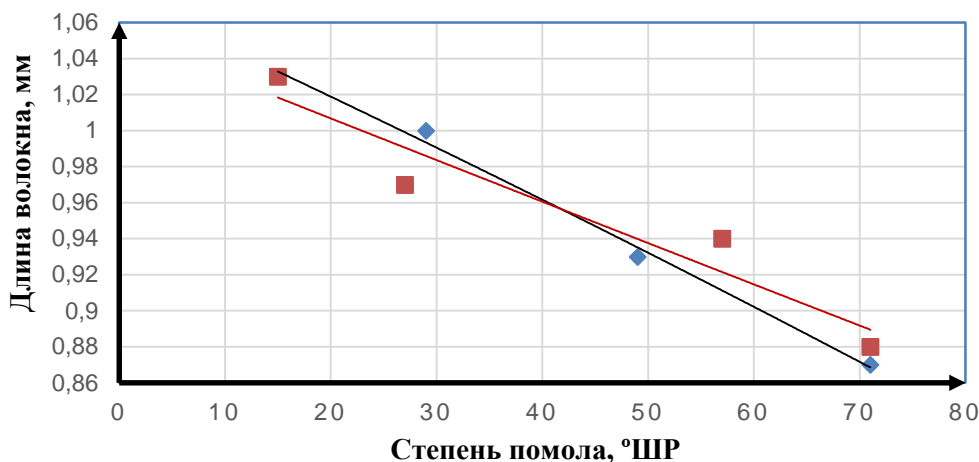


Рисунок 2 – Зависимость длины волокна от количества лопастей: ■ – 24 лопапки; ◆ – 16 лопаток

Как видно из рисунка, независимо от вида количества лопаток с увеличением степени помола длина волокна снижается. Причем качественные показатели и количественные значения длины волокна независимо от количества лопастей имеют идентичный характер.

Так как одним из важнейших свойств готовой бумаги является ее механическая прочность, в данной работе определялось влияние степени помола и длины волокна на отдельные физико-механические показатели готовых отливок, таких как сопротивление продавливанию, разрывная длина.

Сопротивление продавливанию является сложной функцией сопротивления разрыву и удлинения бумаги до разрыва. Бумага, изготовленная из длинных волокон, отличается большей величиной сопротивления продавливанию. С увеличением степени помола бумажной массы в бумаге растут силы связи между волокнами. Одновременно увеличивается и сопротивление продавливанию. Однако чрезмерно высокая степень помола бумажной массы снижает сопротивление продавливанию, что связано уже с заметным укорачиванием волокон и снижением степени удлинения бумаги до разрыва.

Разрывная длина определяет крепость бумаги. Разрывная длина в большей степени зависит от сил сцепления между волокнами и прочности самих волокон, чем от их длины. Этот показатель механической прочности является условным, соответствующим условно принятой заранее постоянной скорости проведения испытания.

На основании экспериментальных данных построены графики зависимости разрывной длины и сопротивления продавливанию от числа лопаток (рис. 3).

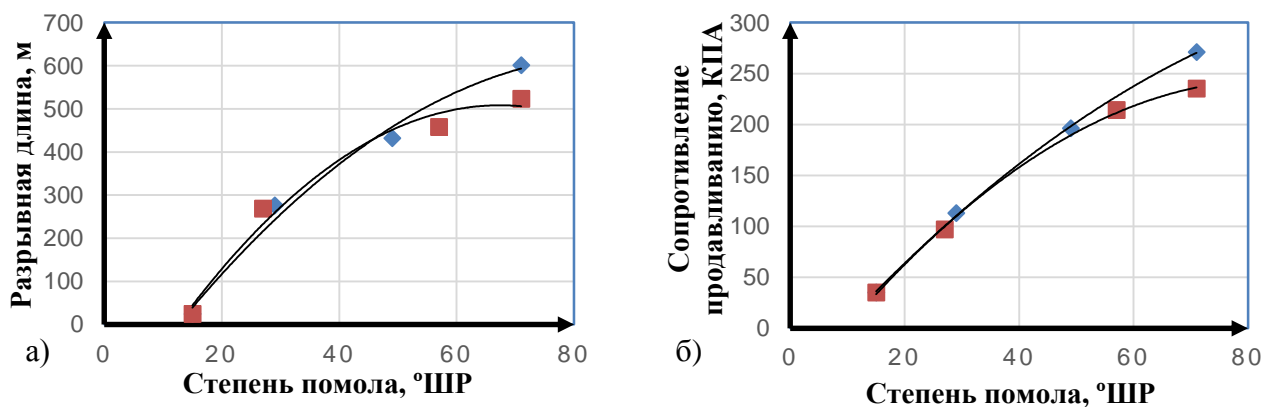


Рисунок 3 – Зависимость физико-механических показателей готовых отливок от степени помола: ■ – 24 лопапки; ◆ – 16 лопаток; а - график зависимости разрывной длины от степени помола; б - график зависимости сопротивления продавливанию от степени помола



Из графиков видно, что при размоле волокнистой массы на турбине с 16 лопатками идет рост как разрывной длины, так и сопротивления продавливанию. Тогда как при 24 лопатках после 50 °ШР идет снижение значений этих показателей с тенденцией изменения, характерной для типичных зависимостей, приведенных в специальной литературе [8].

Это объясняется тем, что с увеличением числа лопаток преграды увеличивается число оборотов турбины, и как следствие, возрастает число контактов струи суспензии с лопатками, что в свою очередь повышает число ударов волокон о преграду и их рубящий эффект.

Таким образом, можно сделать вывод: длина волокна оказывает существенное влияние на механические свойства бумаги. Для получения бумаги с нужными свойствами необходимо учитывать количество лопаток, которые напрямую влияют на физико-механические показатели готовых отливок и в дальнейшем на механическую прочность готовой бумаги.

#### Список литературы

1. Васютин В.Г. Повышение эффективности безножевой размольной установки Машины и аппараты целлюлозного производства / В.Г. Васютин, Ю.Д. Алашкевич // Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТИ ЦБП. Ленинград, 1986. С. 60 – 64.
2. Кутовая Л.В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «струя-преграда»: дис. к.т.н. Красноярск, 1998. 150 с.
3. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: Дис. докт. техн. наук. Л., 1980. 334 с.
4. Алимов М.А., Воробьев Д.А., Хвесюк В.И. Модель воздействия кавитационного пузырька на стенку канала в приближении точечного взрыва в несжимаемой жидкости // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 07. С. 309-324.
5. Ковалев А.А. Моделирование кавитационного воздействия на рабочую поверхность изделия, эксплуатируемого в гидродинамической среде // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 11. С. 25-36.
6. Эдель Ю.У. Ковшовые гидротурбины. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Машиностроение, 1980. 285 с.
7. Ковалев Н.Н. Проектирование гидротурбин. Ленинград: Машиностроение, 1974. 279 с.
8. Иванов С.Н. Технология бумаги. 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.

#### **INFLUENCE OF TURBINE DESIGN PARAMETERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF FINISHED CASTINGS**

E.V. Kaplyov, L.V. Yurtaeva\*, Yu.D. Alashkevich, R.A. Marchenko, A.A. Muravitskaya  
*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*  
E-mail: 2052727@mail.ru

The key process of processing plant fibers, in order to give the necessary mechanical properties to the finished product, is the grinding operation. The article considers the legless method of grinding in a «jet-barrier» type installation, the hydrodynamics of the movement of a fibrous suspension at the point of its transition from the piston to the extension rod. The influence of the number of turbine blades on the fiber length and on individual physical and mechanical characteristics of finished castings is analyzed.

*Keywords: grinding, legless installation of the «jet-barrier» type, fiber length, physical and mechanical parameters of finished castings.*



## References

1. Vasyutin V.G., Alashkevich Yu.D. Povysheenie effektivnosti beznozhevoy razmol'noy ustanovki Mashiny i apparaty tsellyuloznogo proizvodstva [Improving the efficiency of a knife-free grinding plant for pulp production Machines and apparatuses]. *Mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Interuniversity collection of scientific papers]. LTI TSBP. Leningrad, 1986. Pp. 60-64. (In Russian).
2. Kutovaya L.V. *Kompleksnyy parametr protsessa obrabotki voloknistykh suspenziy beznozhevym sposobom v ustanovke tipa «struya-pregrada»* [Complex parameter of the process of processing fibrous suspensions by the legless method in the installation of the «jet-barrier» type]: dis. candidate of technical sciences. Krasnoyarsk, 1998. 150 p. (In Russian).
3. Alashkevich Yu. D. *Osnovy teorii gidrodinamicheskoy obrabotki voloknistykh materialov v razmol'nykh mashinakh* [Fundamentals of the theory of hydrodynamic processing of fibrous materials in grinding machines]: Diss. Doct. of technical sciences. Leningrad, 1980. 334 p. (In Russian).
4. Alimov M.A., Vorobyov D.A., Khvesyuk V.I. Vorob'ev D.A., Khvesyuk V.I. Model' vozdeystviya kavitatsionnogo puzyr'ka na stenu kanala v priblizhenii tochechnogo vzryva v neshimaemoy zhidkosti [Model of the effect of a cavitation bubble on the channel wall in the approximation of a point explosion in an incompressible liquid]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education]. Bauman Moscow State Technical University. 2012. no. 07. Pp. 309-324. (In Russian).
5. Kovalev A.A. Modelirovanie kavitatsionnogo vozdeystviya na rabochuyu poverkhnost' izdeliya, ekspluatiruemogo v gidrodinamicheskoy srede [Modeling of cavitation impact on the working surface of a product operated in a hydrodynamic environment]. *Nauka I obrazovanie* [Science and education]. Bauman Moscow State Technical University. 2013. no. 11. Pp. 25-36. (In Russian).
6. Edel Yu.U. *Kovshovye gidroturbiny* [Bucket hydroturbines]. 2nd ed. Leningrad: Mashinostroenie, 1980. 285 p. (In Russian).
7. Kovalev N.N. *Proektirovanie gidroturbin* [Design of hydroturbines]. Leningrad: Mashinostroenie, 1974. 279 p. (In Russian).
8. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. 3rd ed. Moscow: School of Paper, 2006. 696 p. (In Russian).

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАЛЕОПИМАРОВОЙ КИСЛОТЫ С ДИЭТИЛЕНТРИАМИНОМ

Я.В. Боркина\*, В.Л. Флейшер

*Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь, Минск  
E-mail: yanaborkina@mail.ru*

Изучен продукт взаимодействия малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином (молярное соотношение 1 : 1) в расплаве при температуре  $180\pm 2^\circ\text{C}$ . Полученный продукт представлял собой твердое вещество темно-коричневого цвета. Наличие и отсутствие в структуре синтезированного вещества амидо- и имидогрупп доказывали с помощью качественных реакций и ИК-спектроскопии. На основании экспериментальных данных сделан вывод о том, что взаимодействие малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином приводит к образованию имида.

*Ключевые слова: малеопимаровая кислота, диэтилентриамин, ИК-спектроскопия, функциональный анализ.*

Ранее [1] нами была разработана методика получения функционального вещества для бумаги – канифольная композиция с гидрофобизирующим и упрочняющим действием. Для получения наиболее эффективного химического соединения значительный интерес представляло изучение побочных реакций, протекающих при его получении из-за многокомпонентности системы, приводящих к ухудшению физико-химических и функциональных свойств целевого продукта. Одной из таких реакций является взаимодействие малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином.

Малеопимаровая кислота содержит ангидридную и карбоксильную группы. Молекула диэтилентриаминна содержит первичные и вторичные аминогруппы, при этом вторичная аминогруппа является менее реакционноспособной. Согласно литературным данным [2 – 5], взаимодействие малеопимаровой кислоты с алифатическими диаминами в различных условиях приводит к образованию амидов, полиамидоимидов, бис-имидов, аминамидов. При взаимодействии малеопимаровой кислоты со вторичными аминами образуется смесь имида и амидодикислот [4].

Цель работы – изучить взаимодействие малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином, являющимся исходным веществом для получения полиаминполиамида и присутствующим в свободном виде в составе композиции, в расплаве с установлением структуры продукта. Поскольку данная химическая реакция является побочной при получении функционального вещества для бумаги, ее изучение может позволить нивелировать влияние примесей на физико-химические и функциональные свойства целевого продукта.

Исходная малеопимаровая кислота представляла собой твердое вещество белого цвета с кислотным числом 382,06 мг КОН/г. Взаимодействие эквимольных количеств малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином осуществляли в расплаве при температуре  $180\pm 2^\circ\text{C}$  и интенсивном перемешивании в течение 1,5 ч. Полученный продукт представлял собой твердое вещество темно-коричневого цвета, растворимое в воде, этиловом спирте, изопропиловом спирте, толуоле, нерастворимое в н-гексане, диэтиловом эфире, ацетоне, хлороформе, диметилформамиде; кислотное число – 79,76 мг КОН/г, аминное число – 187,53 мг КОН/г (аминное число диэтилентриаминна – 1626,00 мг КОН/г).

На основании анализа физико-химических свойств и литературных данных было выдвинуто предположение, что при указанных условиях реакции продуктом взаимодействия малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином является имид (рис. 1).

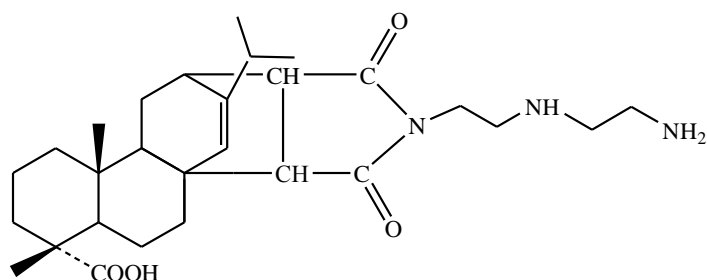


Рисунок 1 – Имид малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином

Для установления строения синтезированного вещества проводили его функциональный анализ. Для обнаружения в структуре амидных и имидных групп использовали качественные реакции. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результат качественных реакций на амидо- и имидогруппы

Качественная реакция	Результат	Вывод
Имиды, амиды [6]	Наблюдалось посинение увлажненной лакмусовой красной бумаги	Свидетельствовало о присутствии в составе выделяющихся паров – NH групп
Амиды [6]	Наблюдалось отсутствие красно-фиолетовой окраски	Гидроксамовые кислоты не обнаружены, что свидетельствовало об отсутствии амидных групп

Наличие функциональных групп исследовали методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры регистрировали на ИК-микроскопе Nicolet iN 10 (Thermo Scientific, США) с приставкой НПВО с кристаллом Ge с разрешением  $8\text{ см}^{-1}$  при 64-кратном сканировании в диапазоне частот  $675\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ . В ИК-спектре продукта взаимодействия малеопимаровой кислоты и диэтилентриаминна наблюдается отсутствие полос поглощения, характерных для валентных колебаний  $\text{C}=\text{O}$  ангидридной группы малеинового ангидрида ( $1850$  и  $1790\text{ см}^{-1}$ ), а также присутствие полос поглощения, характерных для валентных колебаний  $-\text{OH}$  и  $\text{C}=\text{O}$  карбоксильной группы ( $2922$  и  $2855\text{ см}^{-1}$  соответственно),  $\text{C}=\text{O}$  групп в цикле 5-членных имидов ( $1766$  и  $1691\text{ см}^{-1}$ ).

Таким образом, в результате взаимодействия малеопимаровой кислоты с диэтилентриамином, вероятнее всего, образуется имид. Однако для подтверждения данного вывода необходимо дополнительное привлечение физико-химических методов анализа (хроматография, ЯМР-спектроскопия).

#### Список литературы

1. Флейшер В.Л., Боркина Я.В. Канифольная композиция с гидрофобизирующим и упрочняющим действием на бумагу // Труды БГТУ. Серия 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 1 (229). С. 131-137.
2. Kugler Sz., Ossowicz P., Malarczyk-Matusiak K., Wierzbicka E. Advances in Rosin-Based Chemicals: The Latest Recipes, Application and Future Trends // *Molecules*. 2019. Vol. 24 (9). Pp. 1651-1702. DOI:10.3390/molecules24091651.
3. Manar El-Sayed Abdel-Raouf, Abdul-Raheim Mahmoud Abdul-Raheim Rosin: Chemistry, Derivatives, and Application: a review // *BAOJ Chem*. 2018. Vol. 4. Iss. 1. Pp. 39-54.
4. Bei M.P., Yuvchenko A.P., Sokol O.V. Synthesis and Properties of new Derivatives of Maleopimaric and Citraconopimaric acids // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*. 2017. No. 2. Pp. 111-125. (In Russian).

5. Ray S.S., Kundu A.K., Maiti M., Ghosh M., Maiti S. Polymers from Renewable Resources, Part 7. Synthesis and Properties of Polyamideimide from Rosin-Maleic Anhydride Adduct // Die Angewandte Makromolekulare Chemie. 1984. № 122. Pp. 153-167.
6. Полюдек-Фабини Р., Бейрих Т. Органический анализ: пер. с нем. Л: Химия. 1981. 624 с.
7. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений: пер с англ. М.: Мир, 1965. 186 с.

## INTERACTION OF MALEOPIMARIC ACID WITH DIETHYLENETRIAMINE

Ya.V. Borkina\*, V.L. Fleisher

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

*E-mail: yanaborkina@mail.ru*

The product of the interaction of maleopimaric acid with diethylenetriamine (molar ratio 1 : 1) in the melt at a temperature of  $180 \pm 2^\circ\text{C}$  was studied. The resulting is a dark brown solid. The presence and absence of amido- and imidogroups in the structure of the synthesized substance was proved by qualitative reactions and IR-spectroscopy. Based on experimental data, it is concluded that the interaction of maleopimaric acid with diethylenetriamine leads to the formation of imide.

*Keywords: maleopimaric acid, diethylenetriamine, IR-spectroscopy, functional analysis.*

### References

1. Fleisher V.L., Borkina Ya.V. Kanifol'naya kompozitsiya s gidrofobiziruyushchim i uprochnyayushchim dejstviem na bumagu [Rosin composition with a hydrophobic and strengthening effect on paper]. *Trudy BGTU. Seriya 2. Himicheskie tehnologii, biotekhnologii, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. Series 2. Chemical technologies, biotechnology, geocology], 2020, no. 1 (229), pp. 131-137. (In Russian).
2. Kugler Sz., Ossowicz P., Malarczyk-Matusiak K., Wierzbiicka E. Advances in Rosin-Based Chemicals: The Latest Recipes, Application and Future Trends. *Molecules*, 2019, vol. 24 (9), pp. 1651-1702. DOI:10.3390/molecules24091651.
3. Manar El-Sayed Abdel-Raouf, Abdul-Raheim Mahmoud Abdul-Raheim Rosin: Chemistry, Derivatives, and Application: a review. *BAOJ Chem*, 2018, vol. 4, iss. 1, pp. 39-54.
4. Bei M.P., Yuvchenko A.P., Sokol O.V. Synthesis and Properties of new Derivatives of Maleopimaric and Citraconopimaric acids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2017, no. 2, pp. 111-125.
5. Ray S.S., Kundu A.K., Maiti M., Ghosh M., Maiti S. Polymers from Renewable Resources, Part 7. Synthesis and Properties of Polyamideimide from Rosin-Maleic Anhydride Adduct. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 1984, no. 122, pp. 153-167.
6. Polyudek-Fabini R., Bejrith T. *Organicheskij analiz: per. s nem.* [Organic analysis: translation from Germ.]. Leningrad, Himiya, 1981, 624 p. (In Russian).
7. Nakanisi K. *Infrakrasnye spektry i stroenie organicheskikh soedinenij: per. s angl.* [Infrared spectra and structure of organic compounds: transl. from Engl.]. Moscow, Mir, 1965, 186 p. (In Russian).

## КАМЕДЬ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

А.М. Бородина\*, А.П. Васильева, И.И. Осовская

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: anastasi2998@gmail.com

В работе методами тензиометрии (метод Дю-Нуи), ИК-спектроскопии, вязкости в широком диапазоне рН исследовались физико-химические свойства ксантановой камеди и ее модификаций. Показана чувствительность ксантановой камеди к изменению кислотности/щелочности ее растворов. Разработан способ модификации камеди для улучшения адгезионной способности. Показано изменение конформации макромолекул в зависимости от рН водного раствора. Выявлены температуры, при которых растворы ксантановой камеди проявляют стабильность.

*Ключевые слова:* ксантановая камедь, модификация, поверхностное натяжение, вязкость, стабильность.

Материалы публикаций [1-3], экспериментальные данные, полученные нами ранее [4,5], показали, что свойства камеди и ее растворов во многом определяют широкое применение этого полимера в медицине для получения новых биологически активных соединений, в косметологии, в пищевой промышленности. Ксантановая камедь является фармацевтическим веществом, хорошо известным благодаря таким своим свойствам, как суспензионность, гелеобразование и увеличитель вязкости. Ксантановая камедь используется в больших объемах в нефтяной отрасли в качестве загустителя буровых растворов. При использовании во время бурения нефтяных скважин камеди предотвращают потерю воды из вязкого бурового раствора и хорошо суспендируют бентонитовую глину, используемую в буровом растворе.

Целью данного исследования является разработка способа модификации ксантановой камеди уксусным ангидридом и изучение влияния модификации на поверхностную активность камеди.

В работе использована камедь производства КНР. Чистоту камеди проверяли методом ИК-спектроскопии.

Ксантановая камедь или ксантан представляет собой полисахарид с большим высокомолекулярным весом, формируемый путем повторения пентасахаридов D-глюкозы, D-маннозы и D-глюкуроновой кислоты, производится бактериями вида Ксантомонас (*Xanthomonas*). На рис. 1 представлена структурная формула ксантановой камеди.

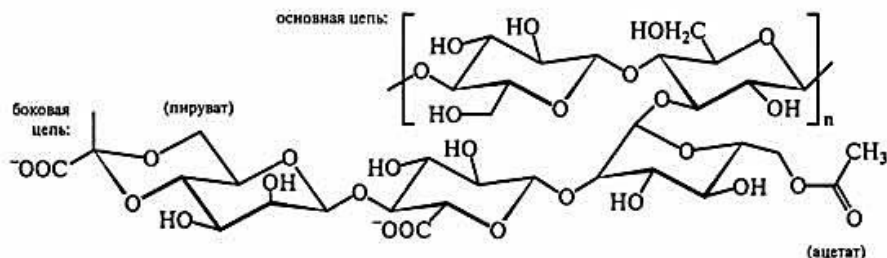


Рисунок 1 – Структурная формула камеди

ИК-спектры используемой в работе ксантановой камеди представлены на рис. 2. Пик 3600-2900 соответствует гидроксидам. Полосы 1900-2400, по-видимому, соответствуют углекислому газу воздуха при подготовке образцов для получения ИК-спектров. Полоса 1719 показывает наличие кислотной группы и эфира уксусной кислоты. Полоса 1603 обусловлена наличием солей карбоновых кислот, образующихся при использовании щелочи для выделения камеди.

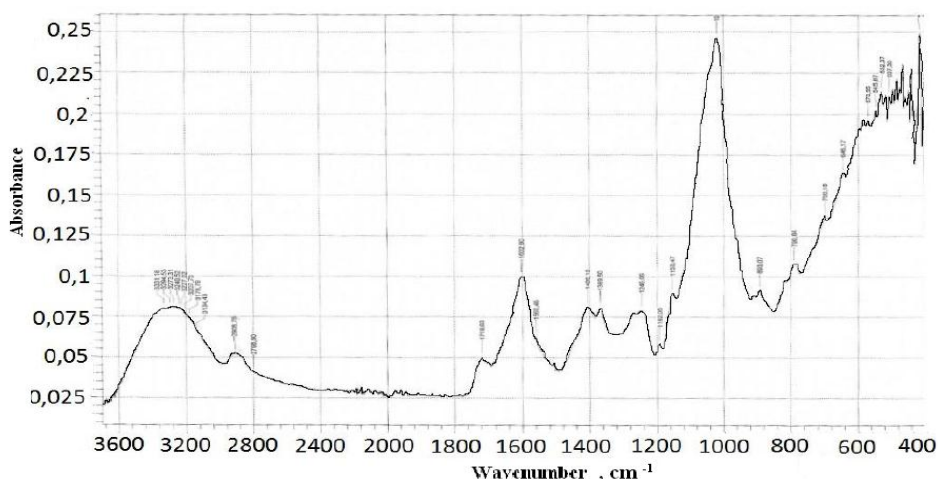


Рисунок 2 – ИК-спектр ксантановой камеди

Свойства растворов ксантановой камеди во многом определяются их вязкостью, которая зависит от кислотности/щелочности среды. Чувствительность вязкости растворов камеди к pH среды показана на рис. 3.

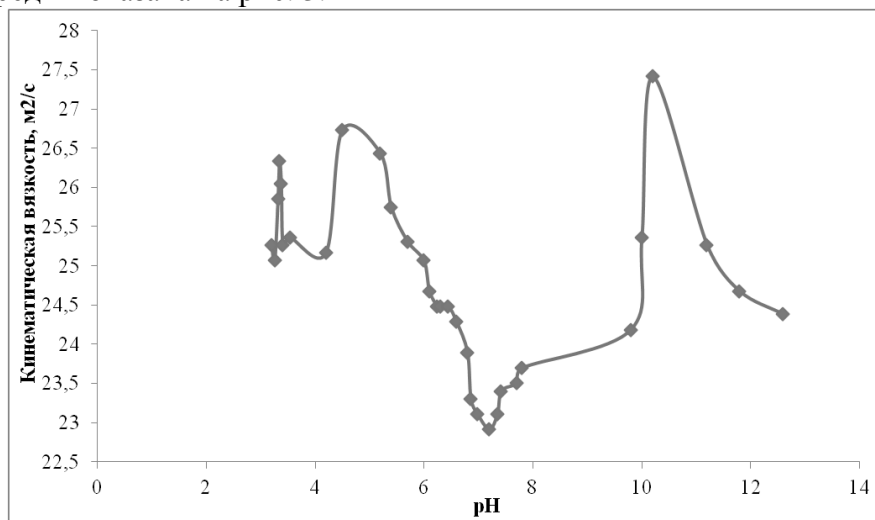


Рисунок 3 – Зависимость вязкости растворов камеди от pH среды

Из графика (рис. 3) видно, что вязкость минимальна в нейтральной среде, затем начинает расти при увеличении или уменьшении pH. Это свидетельствует о том, что при этом pH суммарный заряд макромолекулы в этой точке равен нулю. Наличие изоэлектрической точки (ИЭТ) показывает, что ксантановая камедь является полиамфолитом. Как видно из рисунка 3, ИЭТ для камеди равна 7,2. Численное значение pH (ИЭТ) зависит от состава полимера, силы основных и кислотных групп. Известно, что чем больше в макромолекуле кислотных групп, тем изоэлектрическая точка находится при меньшем значении pH. Величина ИЭТ не зависит от концентрации полиамфолита и является его важной константой [6]. При этом pH макромолекула свернута в наиболее плотный клубок и благодаря малому объему этого клубка меньше всего препятствует течению жидкости. При уменьшении pH ниже 4.5 или увеличении pH выше 10,5 макромолекула распрямляется в результате подавления ионизации одноименно заряженных ионогенных групп и вязкость раствора снова уменьшается.

Изучение поверхностных свойств ксантановой камеди проводилось методом тензиометрии, результаты представлены на рис. 4. Как видно из этого рисунка, поверхностное натяжение не изменяется во всей области концентраций при различных pH. Для повышения поверхностной активности ксантановой камеди разработан способ ее модификации. В качестве модификатора использовали ангидрид уксусной кислоты. Предварительные опыты показали, что расслоение раствора ксантановой камеди происходит

при температуре выше 90°C, поэтому модификацию проводили при 80°C. Камедь выдерживали в ангидриде в течение суток для улучшения диффузии молекул ангидрида в полимер, данную смесь нагревали в колбе с дефлегматором в течение 3 часов при температуре не выше 80°C, смесь промывали простым эфиром от остатков ангидрида, отфильтровывали, порошок сушили до полного испарения эфира.

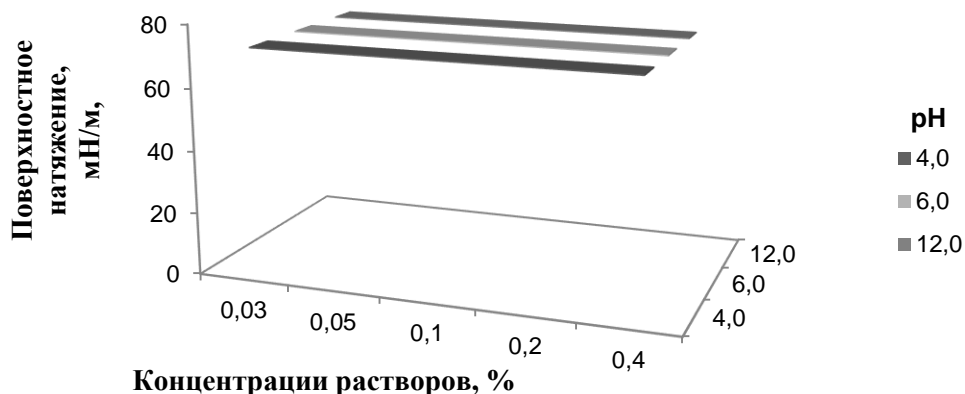


Рисунок 4 – Зависимость поверхностного натяжения растворов ксантановой камеди от концентрации при разных pH

Модификация камеди приводит к понижению поверхностного натяжения. Определена критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) (рис. 5). ККМ равна 0,2%, в этой точке поверхностная активность камеди ( $G$ ) составляет 7,9 мДж·м/кг. Это позволяет использовать ксантановую камедь в качестве связующего в разнообразных композициях.

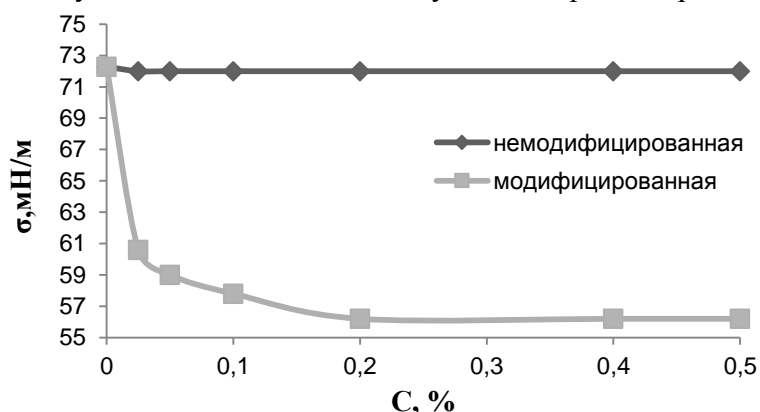


Рисунок 5 – Зависимость поверхностного натяжения немодифицированной и модифицированной ксантановой камеди от концентрации

Заключение:

1. Впервые получен ИК-спектр ксантановой камеди. Выявлено большое содержание ионогенных групп.
2. Впервые определена константа полиамфолита – изоэлектрическая точка камеди, при которой макромолекула свернута в наиболее плотный клубок, в этой точке вязкость минимальна.
3. Впервые разработан способ модификации ксантановой камеди. Найдена ККМ растворов камеди (0,2%), рассчитана поверхностная активность, которая составила 7,9 мДж·м/кг. Это позволяет рекомендовать ксантановую камедь к использованию в качестве связующего в разнообразных композициях.

#### Список литературы

1. Nordin N.Z., Rashidi A.R., Dailin D.J., Abd Malek R., Wan Azelee N.I., Abd Manas N.H., Selvamani Sh., Abg Zaidel D.N., Abd Alsaheb R.A., Sukmawati D., El Enshasy H. Xanthan

- Biopolymer in Pharmaceutical and Cosmeceutical Applications. *Bioscience Research*, 2020, vol. 17, pp. 205-220.
2. Lopes BDM, Lessa VL, Silva BM, La Cerda LG. Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, vol. 54, pp. 185-194.
  3. Saha D., Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 47, pp. 587-597.
  4. Васильева А.П., Бородина А.М., Новикова А.А., Осовская И.И. Модификация свойств поверхности ксантановой камеди в контексте ее практических приложений // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. 2019. Т. 2б.
  5. Бородина А.М., Васильева А.П. Влияние pH среды на вязкость и поверхностную активность модифицированных форм гуаровой камеди – материала для оболочек капсул // XXV Каргинские чтения: Всероссийская молодежная конференция «Физика, химия и новые технологии». 2019.
  6. Липатов Ю.С. Коллоидная химия полимеров. Киев: Наук. думка, 1984. 344 с.

### GUM: PROSPECTS OF ITS APPLICATION

A.M. Borodina\*, A.P. Vasilieva, I.I. Osovskaya

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, Saint-Petersburg, Russia*

*E-mail: anastasi2998@gmail.com*

In this work, the physicochemical properties of xanthan gum and its modifications were studied by means of tensometry (Du-Nouy method), IR spectroscopy, and viscosity in a wide pH range. The sensitivity of xanthan gum to changes in the acidity/alkalinity of its solutions is shown. A method for modifying gum to improve its adhesion ability has been developed. The change in the conformation of macromolecules depending on the pH of the aqueous solution is shown. The temperatures at which xanthan gum solutions exhibit stability are revealed.

*Keywords: xanthan gum, modification, surface tension, viscosity, stability.*

### References

1. Nordin N.Z., Rashidi A.R., Dailin D.J., Abd Malek R., Wan Azelee N.I., Abd Manas N.H., Selvamani Sh., Abg Zaidel D.N., Abd Alsaheb R.A., Sukmawati D., El Enshasy H. Xanthan Biopolymer in Pharmaceutical and Cosmeceutical Applications. *Bioscience Research*, 2020, vol. 17, pp. 205-220.
2. Lopes BDM, Lessa VL, Silva BM, La Cerda LG. Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, vol. 54, pp. 185-194.
3. Saha D., Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 47, pp. 587-597.
4. Vasilieva A.P., Borodina A.M., Novikova A.A., Osovskaja I.I. Modifikacija svojstv poverhnosti ksantanovoj kamedy v kontekste ejo prakticheskikh prilozhenij [Modification of xanthan gum surface properties in the context of its practical applications]. *Tez. dokl. XXI Mendeleevskogo sjezda po obshhej i prikladnoj himii* [Theses of the XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry], 2019, vol. 2b, p. 115. (In Russian).
5. Borodina A.M., Vasilieva A.P. Vlijanie pH sredy na vjazkost' i poverhnostnuju aktivnost' modifitsirovannyh form guarovoj kamedy-materiala dlja obolochek kapsul [Effect of the pH of the medium on the viscosity and surface activity of modified forms of guar gum. A material for capsule shells]. *XXV Kargin'skie chtenija: Vserossijskaja molodezhnaja konferencija «Fizika, himija i novye tehnologii»* [Kargin'sky Readings: All-Russian Youth Conference «Physics, Chemistry and New Technologies»], 2019, p. 101. (In Russian).
6. Lipatov Ju.S. *Kolloidnaja himija polimerov* [Colloidal chemistry of polymers]. Kiev: Nauk. dumka, 1984, 344 p. (In Russian).



## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕПРОВАРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Е.Н. Громова\*, А.Г. Николаева

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: gromova.gturp@mail.ru

Сегодня большая часть сульфатной целлюлозы производится в установках непрерывной варки типа «Камюр». Такой способ варки, несомненно, обладает определенными преимуществами: высокие технико-экономические показатели, производительность и уровень автоматизации технологического процесса. Тем не менее, в таких котлах периодически возникают так называемые непровары, то есть основная часть лигнина, содержащегося в древесной щепе, не успевает раствориться. В статье приводятся основные причины возникновения непроваров, а также предлагаются пути возможных решений этой проблемы.

*Ключевые слова:* сульфатная целлюлоза, непрерывная варка, Камюр, варочные котлы, эксплуатация.

Введенные в эксплуатацию в 1947 г., установки для непрерывной варки типа «Камюр» достигли в одном агрегате производительности 1275 т/сут. В настоящее время на этих установках вырабатывается более половины сульфатной целлюлозы, производимой в мире. [1]

На рис. 1 показана принципиальная схема непрерывной сульфатной варки целлюлозы, при которой в горловину котла подается щепа, а из нижней части выгружается сваренная целлюлоза.

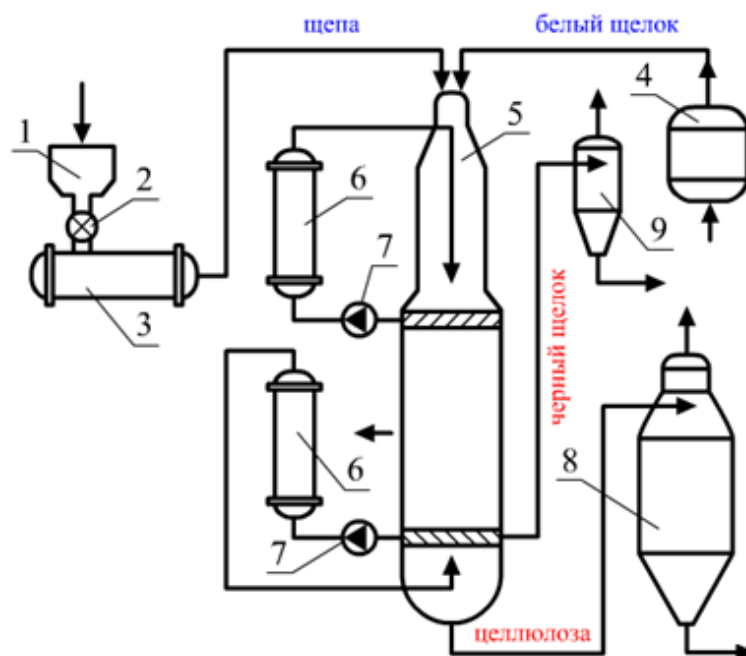


Рисунок 1 – Непрерывно действующий варочный котел типа Камюр: 1 – бункер щепы; 2 – дозатор; 3 – пропарочная камера; 4 – бак для белого щелока; 5 – варочный котел; 6 – подогреватель щелока; 7 – циркуляционный насос; 8 – выдувной резервуар; 9 – расширительный циклон (испаритель)

Установка непрерывной варки состоит из варочного котла, загрузочных и выгрузных устройств, теплообменных аппаратов для нагревания щелока, циклонов для разделения жидкой и паровой фазы, нескольких ярусов сит для отбора из котла щелока и другого оборудования.

Пропаренная щепка через ротационные питатели высокого давления поступает в горловину варочного котла. Белый и черный щелока смешиваются в трубопроводе и под давлением 1,1 МПа вместе со щепой подаются в верхнюю горловину котла.

В котле располагаются два циркуляционных контура: верхний и нижний. Для верхнего щелока забирается из верхнего сита и через теплообменный аппарат направляется в горловину котла с температурой 172-175°C. Из нижнего сита отбирается отработавший щелок с температурой 150-160°C и направляется в расширительные циклоны, в которых под действием перепада давлений происходит образование паров вскипания, используемых в пропарочной камере, а щелок направляется на выпарную станцию. Сваренная целлюлоза в виде суспензии с температурой 100°C выдувается в специальный резервуар, из которого целлюлозная масса направляется на промывку.

Основными преимуществами непрерывной варки сульфатной целлюлозы по сравнению с периодической являются:

1. Высокая производительность – наибольшую удельную производительность показывают установки с диффузионной экстракцией щелока, относительно меньшую – установки с зоной горячей промывки целлюлозы [2].
2. Низкая себестоимость продукции – такой эффект достигается за счет более полного использования располагаемых мощностей.
3. Качество вырабатываемой целлюлозы – благодаря современным системам автоматизации в варочных котлах типа «Камюр» осуществляется не только контроль параметров процесса, но и оценка качества готового продукта.
4. Низкий удельный расход теплоты – эксергетический КПД варочного котла, определяемый как отношение воспринятой в тепловом процессе энергии к подводимой, достаточно высокий [3].

Тем не менее, исходя из практики эксплуатации, в котлах типа «Камюр» периодически возникают так называемые непровары, то есть основная часть лигнина, содержащегося в древесной щепе, не успевает раствориться. Что приводит к снижению производительности установки и дополнительным эксплуатационным трудностям.

Можно выделить четыре причины возникновения непроваров:

1. Реакционная часть корпуса таких котлов имеет цилиндрическую форму, поэтому загружаемая сверху технологическая щепка опускается вниз под действием силы тяжести в виде однородного потока, в котором затрудняется проникновение варочного раствора внутрь капилляров древесины.
2. В котлах непрерывной варки для обеспечения расчетной производительности содержание основной фракции щепы должно быть не меньше 85%, при этом крайне нежелательно наличие мелочи и опилок. Существующие способы подготовки древесной технологической щепы в полной мере не обеспечивают технические требования к получению размеров технологической щепы в основной фракции, вследствие этого также наблюдаются непровары, снижение качественных показателей полученной целлюлозы.
3. Время варки определяется для каждого котла приблизительно, исходя из опыта обслуживающего персонала. Кроме того, регулирование процесса и корректировка параметров варки является сложной задачей, требующей значительных затрат времени.
4. Наличие внутри корпуса варочного котла дополнительных конструктивных элементов (заборные и циркуляционные сита, вертикальные и горизонтальные распорки и т.д.) приводит к забиванию котла технологической щепой. Также может наблюдаться образование так называемых «мостов» зависшей щепы, образующихся вследствие присосов непроваренной щепы к циркуляционным ситам [4].

Сложности, возникающие при эксплуатации установок непрерывной варки, позволяют сделать вывод о целесообразности поиска новых технологий для получения целлюлозного волокна, в том числе с применением сверхкритического водного окисления (СКВО). Кроме

того, анализ фракционного состава исходной технологической щепы дает предпосылки для разработки более совершенных способов классификации древесного сырья.

#### Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы. В 3 т. СПб: ЛТА, 2002. Т.1. Ч.1. 446 с.
2. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. М.: Лесная промышленность, 1990. Т. 2. 600 с.
3. Казаков В.Г., Громова Е.Н. Эксергетический коэффициент теплопередачи как критерий термодинамического совершенства теплового процесса // Промышленная энергетика. 2020. № 1. С. 34 - 36.
4. Патент РФ 2670855 С1 МПК D21С3/02 (2006.01) Способ варки технологической щепы в производстве целлюлозы / В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.В. Федорова, К.О. Субботина; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна». Заявлено 26.06.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл. №30. 6 с.

#### **ANALYSIS OF THE CAUSES OF UNDERCOOKED PULP IN THE PRODUCTION OF SULPHATE CELLULOSE**

E.N. Gromova\*, A.G. Nikolaeva

*Higher school of technology and energy of SPbSUITD, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: gromova.gturp@mail.ru*

Today, the majority of Kraft pulp produced in a continuous cooking units of the type "Kamur". This method of cooking, of course, has certain advantages: high technical and economic indicators, the performance and the level of automation of the process. However, in such boilers arise periodically so-called fusion, that is the main part of the lignin contained in the wood chips, does not have time to dissolve. The article presents the main causes of lack of penetration, and also suggests ways of possible solutions of this problem.

*Keywords: sulphate cellulose, continuous cooking, Camure, digesters, operation.*

#### **References**

1. *Tekhnologiya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: spravochnye materialy* [The technology of pulp and paper production: resource materials]. SPb: LTA, 2002, Vol. 1, Ch. 1, 446 p. (In Russian).
2. Nepenin Yu. N. *Texnologiya cellyulozy* [Technology of cellulose]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1990, Vol. 2, 600 p.
3. Kazakov V.G., Gromova E.N. Eksergeticheskij koefficient teploperedachi kak kriterij termodinamicheskogo sovershenstva teploвого processa [Exergetic heat transfer coefficient as a criterion of thermodynamic perfection of the thermal process]. *Promy`shlennaya e`nergetika* [Industrial power engineering], 2020, No. 1, pp. 34 - 36. (In Russian).
4. Kazakov V.G., Lukanin P.V., Fedorova O.V., Subbotina K.O. *Sposob varki texnologicheskoy shchepy v proizvodstve cellyulozy* [Method of chips cooking process in pulp production]. Patent RF no. 2670855, 2018. (In Russian).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЭКСТРАКТОРЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В КОМПОЗИЦИИ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ УПАКОВКИ**

А.А. Хидоятов\*, А.Г. Кузнецов, Л.Г. Махотина

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

*E-mail: Lion\_97\_10@mail.ru*

В данной работе исследуется процесс извлечения арабиногалактана из опилок древесины лиственницы в экспериментальном экстракторе для последующего его использования в композиции биоразлагаемой упаковки. Сырьем для исследования являются полученные с пилорамы под Санкт-Петербургом сухие и мокрые опилки, а также стружка. На основании проведенных исследований определен оптимальный режим работы экспериментального экстрактора с меньшей продолжительностью процесса и наибольшим выходом экстракта из опилок древесины лиственницы при нагреве мощностью в 1600 Вт. Показано, что наиболее перспективным является использование свежих опилок, дающих наибольший выход сухих веществ при водной экстракции в экспериментальном экстракторе.

*Ключевые слова: экстракция, древесина, переработка отходов, вторичное использование, опилки, стружка, арабиногалактан, физико-механические свойства.*

Углубляющийся кризис органического сырья и проблемы экологии заставляют ученых заниматься исследованием возобновляемых растительных ресурсов, разрабатывая методы их переработки и максимально рационального, полезного использования уже имеющихся ресурсов. В настоящее время из пластиковых бутылок, выбрасываемых в моря, научились делать одежду. Например, в 2017 году некоторые футбольные команды выпускали из них форму. Также научились делать древесный уголь из опилок. Видны перспективы и в упаковочной промышленности, мир интенсивно переходит к биоразлагаемым упаковочным материалам. Огромен потенциал и в древесине лиственницы, как в возобновляемом сырье, и в отходах ее переработки. Это обосновано ее большими запасами в России, особенностями физико-химических свойств и содержанием ценных химических компонентов.

Особое внимание исследователей биомасса лиственницы заслуживает за счет наличия в своем составе специфических экстрактивных веществ с широким практическим спектром полезных свойств. Промышленное освоение лиственничных лесов сдерживается экономическими и экологическими факторами, обусловленными все более жесткими требованиями к регламентации отходов производства. В целлюлозно-бумажной промышленности по технологическим регламентам допускается переработка древесного сырья, содержащего лишь 10% древесины лиственницы (ДЛ), так как в большем количестве она ухудшает технико-экономические показатели производства и качество целлюлозы. При получении пиломатериалов в отходы попадает около 40% древесины (кора, горбыль, опилки), которые либо сжигаются, либо уходят в отвал. Существующие в настоящее время производства по переработке древесины чаще всего узкопрофильные, что приводит к образованию многотоннажных отходов. В связи с этим разработка новых подходов к комплексной переработке древесины с целью снижения техногенных загрязнений, повышения экологической безопасности и рентабельности производства весьма актуальна. Учитывая, что основные запасы лиственницы находятся в Сибири и на Дальнем Востоке, вовлечение ее биомассы в углубленную переработку позволит более рационально распоряжаться имеющимися ресурсами.

Нужно отметить, что одним из стратегических направлений развития «малой химии» в XXI веке является разработка технологий глубокой химической переработки низкокачественной древесины, коры, древесной зелени. Становится все более актуальной

безотходная химическая переработка коры и древесины с получением природных биологически активных веществ, экологически чистых удобрений, кормовых добавок и продуктов лечебно-профилактического и медицинского назначения. В настоящее время ресурсы биомассы дерева, которая является сырьевой базой «малой химии», используются в нашей стране не более чем на 10%, а имеющиеся технологии получения лесохимических продуктов несовершенны.

Создание технологии безотходной переработки биомассы лиственницы предполагает получение новых биологически активных природных продуктов, необходимых для удовлетворения нужд медицины, фармакологии, сельского хозяйства, парфюмерно-косметической промышленности. Одновременно решаются экологические проблемы утилизации отходов деревоперерабатывающих производств.

Задачи по исследованию процесса извлечения водорастворимых химических компонентов древесины и коры лиственницы на лабораторном экстракторе являются важными в области химии древесины. Данное направление исследований подразумевает изучение параметров экстракции веществ из биомассы лиственницы, исследование физико-химических характеристик процесса массопереноса, его природы и механизма при извлечении экстрактивных веществ из опилок древесины лиственницы, создание математической модели процесса экстракции.

В данной работе исследован процесс извлечения арабиногалактана (АГ) из опилок древесины лиственницы на экстракторе для последующего его использования в композиции биоразлагаемой упаковки.

Большую часть древесины составляют целлюлоза с лигнином. В древесине лиственницы также имеются гемицеллюлозы, к которым относятся пентозаны и гексозаны, и водорастворимые и растворимые в органических растворителях вещества (табл. 1).

Таблица 1 – Состав компонентов древесины лиственницы [1]

Компоненты	Лиственница даурская (Дальний Восток)	Лиственница даурская (Сахалин)	Лиственница сибирская (Иркутская обл.)	Лиственница сибирская (Сибирь)
Лигнин	27,2	25,3	26,1	29,5
Целлюлоза	34,5	36,2	34,5	43,5
Пентозаны	5,2	8,8	7,8	9,3
Маннан	9,6	6,1	6,1	-
Галактан	9,6	14,4	15,0	-
Уроновые кислоты	3,2	2,9	3,9	-
Эфирный экстракт	1,1	6,3	1,1	1,8
Водный экстракт	12,2	22,6	13,2	5,1
Зола	0,27	0,30	0,12	1,0

Лиственничная древесина отличается от других содержанием большего количества водорастворимых веществ: от 11,9 до 33%, основную часть которых представляет арабиногалактан (АГ). Кроме АГ водорастворимые полисахариды лиственниц составляют крахмал, флавоноиды, маннаны, пектиновые вещества и полиурониды [1].

АГ содержится также в древесных опилках и стружках. Стружками считаются отходы дерева, оставшиеся в результате поверхностной обработки древесины.

Опилки – это мелкие древесные отходы, которые образуются в ходе распиловки древесины [2].

Достаточно давно эти отходы в незначительном количестве используют для разжигания печей в котельных. Однако мировой тренд «зеленой экономики» и комплексной

переработки сырья способствует поискам более рационального использования этих отходов. Действуя в эту сторону, человечество уже не просто создает биотопливо, являющееся композитом древесных отходов, торфа и отходов сельского хозяйства (пеллеты, топливные и угольные брикеты), а старается извлечь ценные компоненты из древесины до ее сжигания [2, 3].

Извлечение водорастворимых веществ (экстрагирование) древесины в горячей воде проводилось с помощью экспериментального экстрактора, разработанным профессором Ю.Г. Мандре на кафедре ТЦиКМ Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (рис. 1).

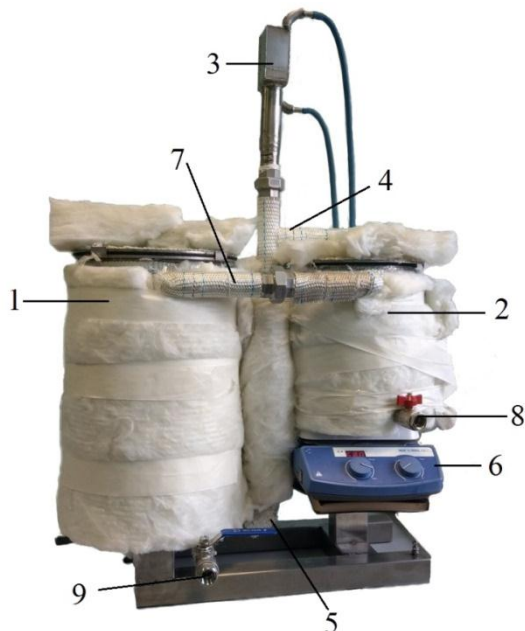


Рисунок 1 – Экспериментальный экстрактор: 1 – емкость для сырья; 2 – емкость для экстракта; 3 – холодильник; 4 – испарительная труба; 5 – труба для конденсата; 6 – электроплитка; 7 – труба для отвода экстракта; 8 – кран для слива экстракта; 9 – кран для слива воды (дистиллята)

Сырье загружали в емкость 1 и заливали водой до нижнего уровня трубы 7. В свободную емкость для экстракта 2 также заливалось некоторое количество воды. Далее запускали нагрев с помощью электроплитки 6. Вода в емкости 2 закипала, и образовавшийся пар по трубе 4 поднимался в обратный холодильник 3, где конденсировался и поступал по трубе 5 в емкость с сырьем 1, вытесняя часть выделившегося экстракта в трубу 7. Далее он по трубе 7 поступал в емкость для экстракта 2. Таким образом, за счет выпаривания воды в емкости 2 концентрируется экстракт, который затем отбирается через кран 8. Данная установка работает по принципу экстрактора Сокслета.

Для исследования в данной работе было взято 4 образца отходов деревообработки:

- 1) стружки;
- 2) лежалые опилки;
- 3) свежие опилки;
- 4) мелкая фракция опилок.

Сырье было получено с лесопилки в Ленинградской области, которая использует для переработки древесину лиственницы из Сибири.

Каждый образец перед помещением в экстрактор взвешивался. В емкость для сырья, загруженную стружками, заливалось 11,5 л воды, в емкость для экстракта заливалось 2 л воды. Нагрев проводился с помощью электроплитки. Экстракция химических компонентов каждого образца проводилась в течение нескольких дней с перерывами на ночь.

В процессе экстрагирования с периодом времени в полчаса-час измерялась электропроводность экстракта и температура в четырех местах:

- температура воды охлаждения на выходе из холодильника;

- температура на поверхности экстракта;
- температура в толще экстракта;
- температура дистиллята.

Также контролировалась мощность нагрева.

Результаты экспериментов приведены в сводной таблице 2.

Общее время извлечения ценных химических веществ из каждого образца варьировалось от 21 до 46 ч. Объем выделившегося экстракта из свежих опилок в 3-м эксперименте при продолжительности процесса 21 ч составил 0,75 л. В 4-м эксперименте из мелкой фракции выделилось 0,4 л экстракта. Средняя температура экстракции из свежих опилок составила 66°C, из мелкой фракции – 55°C.

Таблица 2 – Сводная таблица результатов всех экспериментов

Название образца	Время экстракции, ч	Экстракта выделилось, л	Остаток воды, л	Вода впиталась в сырье, л	Испарилось, л	Т <sub>ср.</sub> экстракции, °С
№1 стружки	26	1,57	8	3,5	0,43	46±2
№2 лежалые опилки	46	0,7	8,5	3	1,3	46±2
№3 свежие опилки	21	0,75	8,5	3	1,25	66±2
№4 мелкая фракция	26	0,4	7,5	4	2,6	55±2

Продолжительность экстракции 46 часов у лежалых опилок особенно выделяется среди всех остальных, поскольку эксперимент с лежалыми опилками проводился дольше всех практически в 2 раза. Компоненты из стружек извлекались в течение 26 ч, равно как и из мелкой фракции. Объем выделившегося экстракта из стружек в 2 раза больше, чем из лежалых опилок при равной средней температуре экстракции. Воды после каждого эксперимента оставалось примерно одинаковое количество 7,5 – 8,5 л. Во все образцы впитался одинаковый объем воды: 3 – 4 л. Исходя из данных таблицы, можно предполагать, что продолжительность процесса в экспериментальном экстракторе и температура экстракции непосредственно связаны с мощностью нагрева: чем она выше, тем быстрее извлекаются компоненты – меньше время экстракции. Мощность нагрева, например, при экстракции веществ из лежалых опилок была 600 Вт – наименьшей, поэтому процесс шел дольше, а при 3-м образце – почти 2000 Вт, следовательно, время экстракции меньше остальных.

Для определения эффективности экстракции необходимо знать не только время, затраченное на процесс, и расход энергии, но и выход продукта.

Выход продукта рассчитывался по содержанию сухих веществ в экстрактах (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание сухих веществ

Название образца	Конц., %	Экстракта выделилось, л	Содержание сухих веществ, г
№1 стружки	7,73	1,57	121,3
№2 лежалые опилки	25,75	0,7	180,3
№3 свежие опилки	30,19	0,75	226,4
№4 мелкая фракция	30,06	0,4	120,2

Наибольшее содержание сухих веществ – в образце №3 (свежие опилки), наименьшее – в образце №4 (мелкая фракция опилок). Выход продукта представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Выход продукта

Название образца	Время экстракции	Электропроводность (начальное значение / конечное значение), мкСм/см	Выход (%)
№1 стружка	26	231 / 108	11,78
№2 лежалые опилки	46	275 / 91	17,50
№3 свежие опилки	21	374 / 102	21,98
№4 мелкая фракция	26	260 / 88	11,67

Большая влажность в свежих опилках в отличие от других образцов, вероятно, позволяет сохранять экстрактивные вещества, в том числе и АГ, в некотором состоянии аква-комплекса [4], что упрощает проникновение дистиллята (экстрагента) в макро- и микроструктуру образцов.

Для определения качественного состава полученных экстрактов были сняты их спектры в области видимого света и области ближнего ультрафиолета (рис. 2 – 5).

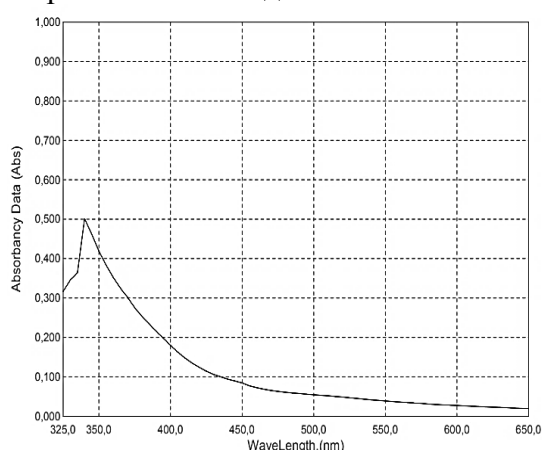


Рисунок 2 – Спектр экстракта из стружек лиственницы

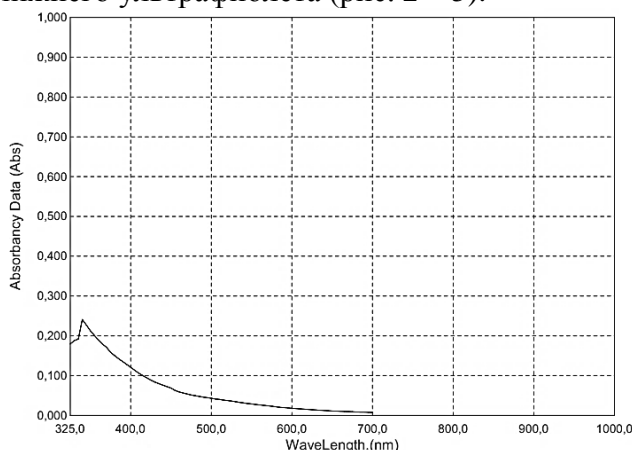


Рисунок 3 – Спектр экстракта из лежалых опилок

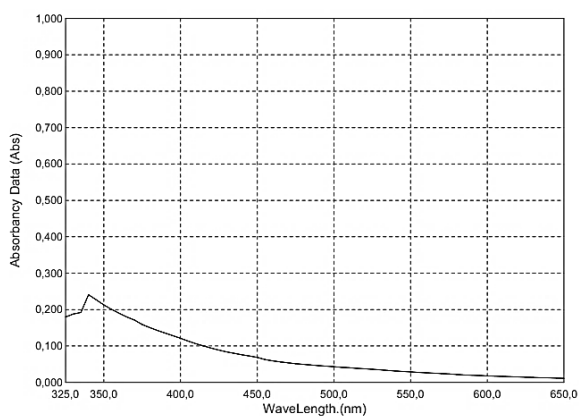


Рисунок 4 – Спектр экстракта из свежих опилок лиственницы

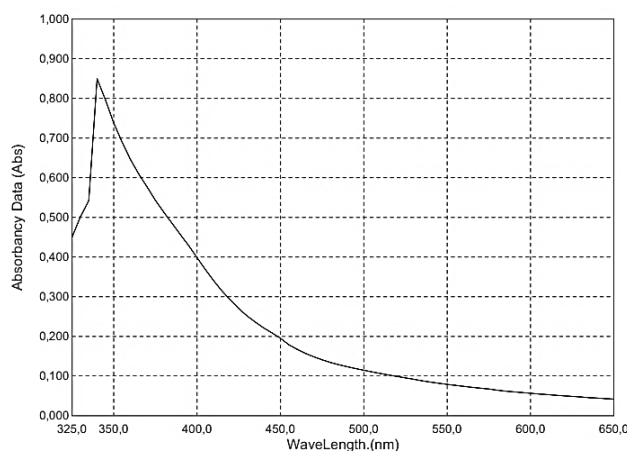


Рисунок 5 – Спектр мелкой фракции

Для всех образцов спектр имеет характерный пик на длине волны 340 нм. Небольшое, еле заметное колебание (изменение) есть на длине волны 450 нм.



Чтобы подтвердить наличие АГ в экстрактах, был снят спектр раствора чистого АГ, полученного методом высаждения в этаноле (рис. 6).

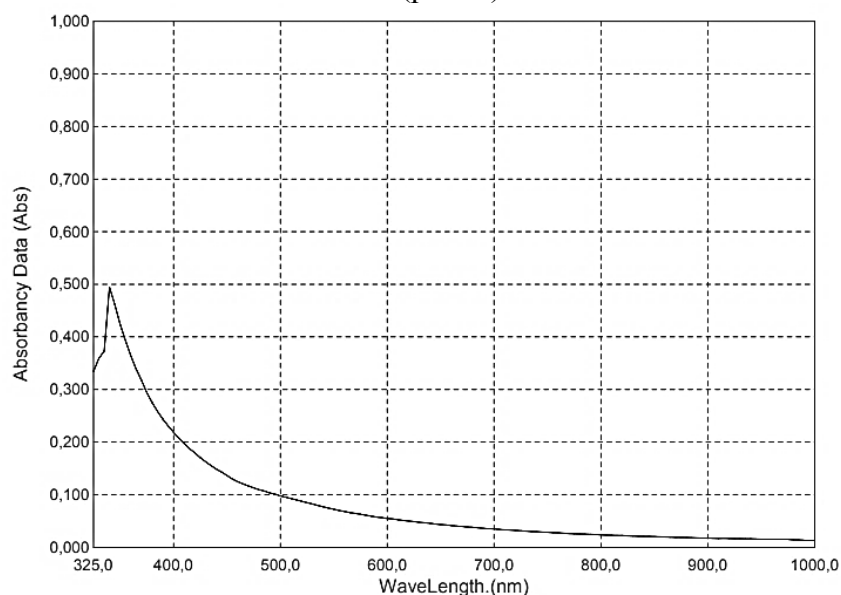


Рисунок 6 – Спектр чистого АГ

На спектрограмме видно тот же явно выраженный пик на длине волны 340 нм. Никаких других флуктуаций не наблюдается, в том числе на длине волны 450 нм.

Таким образом, можно сделать вывод, что основным компонентом полученных экстрактов является арабиногалактан. Кроме него в растворах, вероятно, содержится флавоноид дигидрокверцетин, как следует из литературных данных [4].

На основании проведенных исследований определен оптимальный режим работы экспериментального экстрактора с меньшей продолжительностью процесса и наибольшим выходом экстракта из опилок древесины лиственницы при нагреве мощностью в 1600 Вт.

Разработанный способ экстракции при оптимальном режиме позволяет получить высококонцентрированные экстракты древесины лиственницы в отличие от классической экстракции веществ горячей водой, где концентрации экстрактов варьируются.

Показано, что наиболее перспективным является использование свежих опилок, дающих наибольший выход сухих веществ при водной экстракции в экспериментальном экстракторе.

В дальнейшем предполагается продолжить выполнение опытных экстракций свежих опилок на экспериментальном экстракторе для определения более точных и эффективных параметров процесса.

#### Список литературы

1. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
2. Пекарец А.А., Аким Э.Л. Создание технологии получения топливных и угольных брикетов из опилок древесины лиственницы // Мат. III междунар. научно-технич. конф. / Под редакцией В.М. Гедью. СПб., 2018. С. 117-119.
3. Пат. РФ 2596683 МПК8 F26B3/10, F26B20/00, F26B17/10. Комплекс для непрерывной термообработки твердых мелких частиц, преимущественно дисперсных древесных материалов, и способы термообработки, реализуемые с помощью данного комплекса / А.А. Пекарец; патентообладатель: ООО «ПРОМЕТЕЙ». Заявлено 05.05.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. №25. 21 с.
4. Виноградов Н.В., Роговина С.З., Аким Э.Л. Исследование свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии // Материалы междунар. научно-

технической конф. молодых ученых, специалистов в обл. ЦБП, посвященной памяти В.А. Чуйко (Санкт-Петербург, 12 ноября 2018 года) / сост. А.Г. Кузнецов. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. Ч. III. С. 3-10.

## **STUDY OF THE EXTRACTION PROCESS OF LARCH WOOD CHEMICAL COMPONENTS BY AN EXPERIMENTAL EXTRACTOR FOR THEIR USE IN THE COMPOSITION OF BIODEGRADABLE PACKAGING**

A.A. Khidoyatov\*, A.G. Kuznetsov, L.G. Makhotina

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

*E-mail: abduamad.khidoyatov@mail.ru*

In this paper we study the process of extracting arabinogalactan from sawdust of larch wood in an experimental extractor for its subsequent use in the composition of biodegradable packaging. The raw materials for the study are dry and wet sawdust obtained from a sawmill near St. Petersburg, as well as shavings. Based on the conducted studies, the optimal operating mode of the experimental extractor with a shorter process duration and the highest yield of the extract from larch wood sawdust when heated with a power of 1600 W was determined. It is shown that the most promising is the use of fresh (wet) sawdust, which gives the highest yield of dry substances during water extraction in an experimental extractor.

*Keywords: extraction, wood, waste processing, recycling, sawdust, shavings, arabinogalactan, physical and mechanical properties.*

### **References**

1. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Himija drevesiny i sinteticheskikh polimerov: uchebnik dlja vuzov* [Chemistry of wood and synthetic polymers: textbook for universities]. St. Petersburg, SPbLTA, 1999, 628 p. (In Russian).
2. Pekarets A.A., Akim E.L. Sozdanie tehnologii poluchenija toplivnyh i ugol'nyh briketov iz opilok drevesiny listvennicy [Creation of technology for obtaining fuel and coal briquettes from sawdust of larch wood]. *Mat. III mezhdunar. nauchno-tehnich. konf.* [III International Scientific and technical conference], St. Petersburg, 2018, pp. 117-119. (In Russian).
3. Pekarets A.A. *Kompleks dlya nepreryvnoy termoobrabotki tverdykh melkikh chastits, preimushchestvenno dispersnykh drevesnykh materialov, i sposoby termoobrabotki, realizuemye s pomoshch'yu dannogo kompleksa* [System for Continuous Heat Treatment of Fine Solid Particles, Mainly Dispersed Wood Materials, and Heat Treatment Methods Implemented Using This System]. Patent RF no. 2596683, 2016. (In Russian).
4. Vinogradov N.V., Rogovina S.Z., Akim E.L. Issledovanie svojstv zhidkoj sistemy, vydavlivaemoj iz drevesiny listvennicy pri szhatii [Investigation of the properties of a liquid system squeezed out of larch wood during compression]. *Mat. mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf. molodykh uchenykh, spetsialistov v obl. tsbp, posv. pamyati V. A. Chuiko (St. Petersburg, November 12, 2018)* [Proceedings of the international scientific and technical conference of young scientists, specialists in the field of pulp and paper industry, dedicated to the memory of V.A. Chuiko (St. Petersburg, November 12, 2018)], St. Petersburg, HSTE SPbSUITD, 2018, Part III, pp. 3 – 10. (In Russian).

## ЭКСТРАКЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ КРАПИВЫ ДВУДОМНОЙ ЛЕНИНГРАДСКОЙ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

П.П. Корнев, И.И. Осовская\*

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

*E-mail: iraosov@mail.ru*

Исследование направлено на экстрагирование биологически активных веществ из исходных и измельченных образцов крапивы двух регионов. В качестве экстрагентов использовались вода, этиловый спирт, н-гексан. В работе показано влияние измельчения крапивы на количество выделяемых экстрагируемых биологически активных веществ. Практическая значимость состоит в использовании полученных экспериментальных данных для фармацевтической промышленности.

*Ключевые слова: крапива двудомная, экстрагирование, биологически активные вещества, капиллярно-пористая структура.*

Крапива двудомная – самый распространенный вид крапивы на территории России. Отличие данного вида – в зазубренных супротивных листьях разных размеров, покрытых жгучими волосками. Основное направление использования крапивы – лекарственная промышленность: препараты крапивы обладают противовоспалительным, восстанавливающим действием; настой крапивы снижает уровень холестерина и сахара в крови, улучшает работу пищеварительных желез [1-2]. В работе получены следующие характеристики сырья: влажность, насыпная плотность, зольность, фракционный состав [3]. Измельчение образцов производилось в размольном аппарате с электроприводом. Результаты представлены в таблицах 1, 2 (где А, В – исходные образцы, А<sub>1</sub>, В<sub>1</sub> – измельченные образцы Ленинградской и Московской областей).

Таблица 1 – Опытные значения параметров сырья крапивы двудомной и сравнение их со значениями по ГОСТ

Образец	Влажность, %	Госстандарт влажности, %	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Зольность, %	Госстандарт зольности, %
А	13.1	14.0	0.19	20.0	20.0
В	12.0	14.0	0.14	19.0	20.0

Таблица 2 – Значения фракционного состава крапивы двудомной двух областей

Фракции с размером частиц, мм	Масса образца А, г	Масса образца А <sub>1</sub> , г	Масса образца В, г	Масса образца В <sub>1</sub> , г
0.9	0.61	0.01	0.57	0.02
0.4	0.32	0.1	0.29	0.12
0.064	0.04	0.8	0.08	0.75
Итог	0.97	0.91	0.94	0.89

Проведено экстрагирование биологически активных веществ сырья крапивы двудомной двух областей этиловым спиртом 70%, водой и н-гексаном. Все растворители соответствуют требованиям, предъявляемым к экстрагентам: летучестью, высокой смачиваемостью, нетоксичностью, доступностью, стойкостью, безопасностью. Для жизнедеятельности человека и растений особое значение имеет экстрагирование спиртом. Экстракт содержит витамины Р, летучие кислоты, дубильные вещества, каротин. Водой экстрагируются витамины С, Р, полисахариды, клетчатка, флавоноиды; экстракты н-гексана

богаты липофильными веществами, свободными кислотами, хлорофиллами и каротиноидами. Результаты проведения экстракции исходных и измельченных образцов крапивы представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты экстрагирования исходных образцов крапивы Московской и Ленинградской областей

Показатели	Экстрагирование в воде		Экстрагирование в 70 % этиловом спирте		Экстрагирование в н-гексане	
	Москов. область	Ленингр. область	Москов. область	Ленингр. область	Москов. область	Ленингр. область
Время экстракции, м	60	60	120	120	180	180
$m_{\text{абс. сук. в. (до сушки)}}$ , Г	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87
$m_{\text{абс. сук. в. (после экстракции)}}$ , Г	0.85	0.83	0.71	0.69	0.58	0.53
$m_{\text{экстр. в.}}$ , Г	0.03	0.04	0.17	0.18	0.3	0.34
Содержание экстр.вещ-в, %	3.4	4.6	19.3	20.7	34.1	39.1
Скорость экстракции, г/ч	0.03	0.04	0.08	0.09	0.10	0.11

Таблица 4 – Результаты экстрагирования диспергированных образцов крапивы Московской и Ленинградской областей

Показатели	Экстрагирование в воде		Экстрагирование в 70 % этиловом спирте		Экстрагирование в н-гексане	
	Москов. область	Ленингр. область	Москов. область	Ленингр. область	Москов. область	Ленингр. область
Время экстракции, м	60	60	120	120	180	180
$m_{\text{абс. сук. в. (до сушки)}}$ , Г	0.89	0.88	0.89	0.88	0.89	0.88
$m_{\text{абс. сук. в. (после экстракции)}}$ , Г	0.74	0.71	0.59	0.57	0.47	0.41
$m_{\text{экстр. в.}}$ , Г	0.15	0.17	0.30	0.31	0.42	0.47
Содержание экстр.вещ-в, %	16.9	19.3	33.7	35.2	47.2	53.4
Скорость экстракции, г/ч	0.15	0.17	0.15	0.16	0.13	0.16

По данным таблиц можно сделать вывод, что образец Ленинградской области обладает большей экстрагирующей способностью. Для обоснования полученных результатов были построены изотермы сорбции паров насыщенных растворов солей  $K_2SO_4$ ;  $KCl$ ;  $CaCl_2$ ;  $NaBr$ . В данном случае использовался метод равновесной сорбции паров воды (рис. 1).

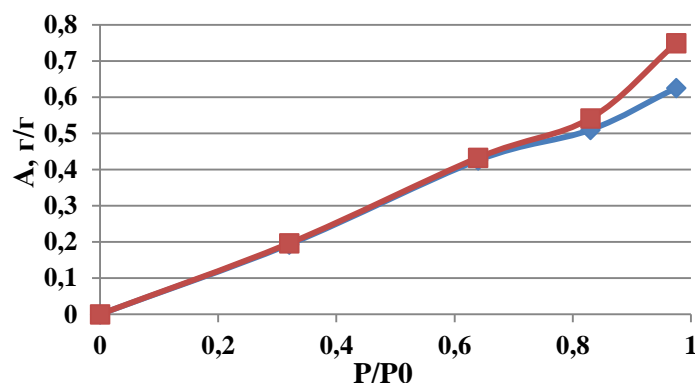


Рисунок 1 – Изотермы сорбции паров образцов крапивы Ленинградской (квадраты) и Московской (ромбы) областей

Экспериментальные данные показали преимущества образца Ленинградской области. Эффективность экстракции зависит от параметров капиллярно-пористой структуры – высокой смачивающей способностью крапивы Ленинградской области, что может обеспечивать лучшее проникновение экстрагента через поры материала внутрь клетки. Это подтверждается более развитой капиллярно-пористой структурой крапивы Ленинградской области. При обработке же измельченного сырья разрушается клеточная стенка и увеличивается поверхность контакта фаз, что приводит к увеличению скорости экстракции.

#### Список литературы

1. Кретович В.Л. Биохимия растений. Москва, 1986. 503 с.
2. Кирьякова В.О., Гербер Т.В., Давыдова И.В. Анатомическое изучение крапивы жгучей травы // Актуальные проблемы фармакологии и фармации. Ежегодный сборник научных и методических работ преподавателей, молодых ученых и студентов фармацевтического факультета. Барнаул, 2011. С. 41–48.
3. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. Москва, 1991. 319 с.

## EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF STINGING NETTLE IN LENINGRAD AND MOSCOW REGIONS

P.P. Kornev, I.I. Osovskaya\*

*Higher school of Technology and Energy of SPbSUITD, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: iraosov@mail.ru*

The study is aimed at extracting biologically active substances from the initial and crushed nettle samples of two regions. Water, ethyl alcohol, and n-hexane were used as extractants. The paper shows the effect of nettle grinding on the amount of extracted biologically active substances released. The practical significance lies in the use of the obtained experimental data for the pharmaceutical industry.

*Keywords: nettle dioecious, extraction, biologically active substances, capillary-porous structure.*

#### References

1. Kretovich V.L. *Biokhimiya rasteniy* [Biochemistry of plants]. Moscow, 1986, 503 p. (In Russian).
2. Kiryakova V.O., Gerber T.V., Davydova I.V. Anatomicheskoe izuchenie krapivy zhguchey travy [Anatomical study of nettle burning grass]. *Aktual'nye problemy farmakologii i farmatsii. Ezhegodnyy sbornik nauchnykh i metodicheskikh rabot prepodavateley, molodykh uchennykh i studentov farmatsevticheskogo fakul'teta* [Annual collection of scientific and methodological works of teachers, young scientists and students of the faculty of pharmacy «Actual problems of pharmacology and pharmacy»]. Barnaul, 2011. Pp. 41–48.
3. Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory works on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 319 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА

А.С. Малова\*, В.Н. Сунайт

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

*E-mail: malova179@gmail.com*

Основными волокнистыми полуфабрикатами для изготовления бумаги и картона являются целлюлоза, древесная масса, макулатура. Макулатура является более дешевым сырьем по отношению к первичному и способно подвергаться обработке для дальнейшего создания бумажного листа или картона, производство и потребление вторичного волокнистого волокна возрастает.

Однако вторичное волокно имеет пониженную механическую прочность в сравнении с первичным. Для улучшения физико-механических и оптических свойств вторичного волокна используются различные добавки (катионный крахмал), системы удержания волокна (полимины, полиалюминий хлорид, полиакрил амид), вводятся оптические отбеливатели, внутримассные проклейки и другие составляющие компоненты.

Во всем мире идет тенденция отказа от синтетических добавок и переход на экологически чистые технологии и материалы. Таким образом, и для производителей картонной тары и упаковки разработки биоразлагаемых добавок, улучшающих физико-механические свойства бумаги и картона является актуальным. В данной работе исследуется возможность использования порошковой целлюлозы в качестве добавки для улучшения физико-механических характеристик макулатурной массы.

*Ключевые слова: целлюлоза, бумага, порошковая целлюлоза, производство бумаги, физико-механические свойства бумаги.*

Макулатура является источником вторичного волокна, пригодного в качестве сырья для производства бумаги и картона.

Анализируя литературные источники, можно заметить, что в состав композиции, например, для производства коробочного картона используется целый ряд синтетических и природных химикатов. Синтетические добавки – дорогие, а природных, например, катионного крахмала с каждым годом становится все меньше и меньше. Следовательно, ЦБК ищут возможность добавления природных добавок, они значительно дешевле и их использование приводит к прочности бумажного листа.

Волокнистую целлюлозу, выделенную из природного растительного сырья тем или иным способом варки, широко используют в производстве бумаги, картона, древесно-волоконистых плит и других материалов [1].

Наиболее распространенными методами получения порошковых и микрокристаллических целлюлоз являются механическая деструкция и кислотный гидролиз с использованием исходных высокомолекулярных целлюлоз [2]. В результате гидролиза происходит разрушение гликозидных связей в аморфных участках микрофибрилл целлюлозы. При этом образуется та же самая химически неизменная целлюлоза, но со значительно меньшей степенью полимеризации и молекулярной массой и более высокой степенью кристалличности [3].

Считается, что целлюлоза в форме порошка достаточно новый материал для производства целлюлозных компонентов [1]. Эксперименты показывают, что добавка гидрогелей наноцеллюлозы в композицию бумажной массы приводит к существенному улучшению формования бумажного полотна и повышению качества конечной продукции бумаги и картона. Так, при расходах гидрогелей наноцеллюлозы на уровне 5-7 кг/т а.с.ц.,

снижается степень помола волокнистой суспензии, возрастает степень удержания мелкого волокна и минерального наполнителя в сеточной части машины [4].

А микрокристаллическая целлюлоза применяется для повышения прочности связи между волокнами и, следовательно, создания сильного армирующего эффекта для бумажных материалов. Наноцеллюлоза может быть полезна в качестве жиронепроницаемого барьера для упаковки и в качестве добавки для улучшения удержания и прочности во влажном и сухом состоянии в бумаге и картоне [5-6].

Сейчас ЦБП (целлюлозно-бумажная промышленность) заинтересована в разработке экологической тары и, соответственно, использования биоразлагаемых (без использования синтетических компонентов) добавок в композицию бумажной массы. Такими добавками традиционно является модификации крахмала, а также, как сказано выше, ведутся исследования по применению порошковых целлюлозных материалов (порошковая целлюлоза; микрокристаллическая целлюлоза; наноцеллюлоза; порошковая целлюлоза, обогащенная лигнином) в качестве добавок, улучшающих физико-механические свойства.

Например, если использовать порошковую целлюлозу (ПЦ), которую можно производить на самом ЦБК (что будет рассмотрено в настоящей работе), можно значительно упростить задачи логистики. То есть порошковую целлюлозу не надо будет закупать дополнительно и осуществлять транспортировку. К тому же технология получения такой ПЦ значительно дешевле традиционной.

В данной работе исследуется возможность использования ПЦ в качестве добавки для улучшения физико-механических характеристик макулатурной массы. ПЦ производилась по экологической технологии, разработанной на кафедре ТЦКМ, что позволило уменьшить ее стоимость.

В качестве сырья использовалась макулатурная масса МС-5Б.

Исследовалось влияние следующих добавок на свойства бумаги:

1. Порошковая целлюлоза (ПЦ), полученная на кафедре ТЦКМ из сульфатной лиственной целлюлозы гидролизом с использованием кислых реакторных остатков;
2. Порошковый целлюлозный материал (ПЦМ), полученный на кафедре ТЦКМ из БХТММ (осина) гидролизом 34%  $H_2SO_4$ .

Образцы бумаги изготавливались массой  $70 \pm 2$  г/м<sup>2</sup>.

После получения отливок образцы бумаги проходили кондиционирование по ГОСТу и далее подвергались физико-механическим испытаниям и испытаниям на шероховатость и воздухопроницаемость.

Результаты экспериментов можно посмотреть в таблицах 1 – 6.

#### **Влияние добавления ПЦ из БХТММ на физико-механические свойства:**

- в виде порошка (табл. 1).

Таблица 1 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде порошка

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %		
	0	3	5
Толщина, мкм	0,169	0,154	0,188
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	337±18	273±31
Воздухопроницаемость, %	554±12	356±22	554±24
Соппротивление продавливанию, кПа	165	174	174
Соппротивление разрыву, Н/м	2976	3352	2783
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	2941	2853
Индекс соппротивления раздиранию, $\frac{MN \cdot m^2}{e}$	5,6	7,4	6,4

- в виде суспензии (табл. 2).

Таблица 2 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде суспензии

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %			
	0	3	5	10
Толщина, мкм	0,169	0,170	0,219	0,204
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	265±30	292±23	340±61
Воздухопроницаемость, %	554±12	432±12	455±16	497±28
Соппротивление продавливанию, кПа	165	176	180	163
Соппротивление разрыву, Н/м	2976	3246	2825	2943
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	2519	1734	2448
Индекс соппротивления раздиранию, $\frac{МН \cdot м^2}{э}$	5,6	6,2	6,2	7,2

- в виде геля (был получен путем перемешивания на высокоскоростном диспергаторе Ultra-Turrax T25 на скорости 16 000 об/мин) (табл. 3).

Таблица 3 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде геля

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %			
	0	3	5	10
Толщина, мкм	0,169	0,170	0,202	0,180
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	205±36	246±19	393±59
Воздухопроницаемость, %	554±12	383±30	348±25	341±5
Соппротивление продавливанию, кПа	165	173	187	194
Соппротивление разрыву, Н/м	2976	3061	3489	3311
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	2277	2362	2624
Индекс соппротивления раздиранию, $\frac{МН \cdot м^2}{э}$	5,6	5,7	7,0	8,1

*Выводы:*

1. Добавление ПЦМ в виде суспензии делает образцы бумаги более пухлыми, в отличие от образцов бумаги, в которых добавка вводилась другими способами;
2. Если для изготовления упаковки разрывная длина является не главным показателем, то в качестве добавки можно брать гель 10%;
3. Испытания показали, что добавление ПЦМ в сухом виде в количестве 3% и в виде геля в количестве 5% аналогично влияют на физико-механические показатели макулатурной бумаги.

На втором этапе работы в макулатурную массу в качестве добавки добавлялась порошковая целлюлоза из лиственной целлюлозы.

**Влияние добавления ПЦ из лиственной целлюлозы на физико-механические свойства:**

- в виде порошка (табл. 4).



Таблица 4 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде порошка

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %	
	0	3
Толщина, мкм	0,169	0,232
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	330±43
Воздухопроницаемость, %	554±12	410±33
Сопrotивление продавливанию, кПа	165	177
Сопrotивление разрыву, Н/м	2976	2792
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	2060
Индекс сопротивления раздиранию, $\frac{MH \cdot M^2}{e}$	5,6	6,8

- в виде суспензии (табл. 5).

Таблица 5 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде суспензии

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %			
	0	3	5	10
Толщина, мкм	0,169	0,238	0,228	0,322
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	317±15	407±48	493±20
Воздухопроницаемость, %	554±12	488±5	427±13	491±19
Сопrotивление продавливанию, кПа	165	184	198	174
Сопrotивление разрыву, Н/м	2976	3348	2973	3290
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	1845	2143	1653
Индекс сопротивления раздиранию, $\frac{MH \cdot M^2}{e}$	5,6	6,1	6,9	6,8

- в виде геля (табл. 6).

Таблица 6 – Добавление ПЦ из БХТММ в виде геля

Свойства образцов бумаги	Количество добавки, %		
	0	3	5
Толщина, мкм	0,169	0,179	0,190
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	246±14	304±29	306±27
Воздухопроницаемость, %	554±12	373±11	286±10
Сопrotивление продавливанию, кПа	165	189	203
Сопrotивление разрыву, Н/м	2976	3238	3732
Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	2442	1972	3116
Индекс сопротивления раздиранию, $\frac{MH \cdot M^2}{e}$	5,6	6,7	7,6

Выводы:

1. Добавление ПЦМ в сухом виде и в виде суспензии придает образцам бумаги пухлость, при введении в виде геля лишь незначительно увеличивается пухлость.
2. Введение ПЦМ в виде геля в количестве 5% максимально увеличивает физико-механические свойства, но уменьшает эластичность, делая образцы более хрупкими.

После проведения всех анализов и сравнения результатов добавления порошковой целлюлозы разных пород можно сделать общий вывод:

1. Лучшая технология при добавлении ПЦ из БХТММ – введение добавки в виде геля (в количестве 3 и 5%).
2. Лучшая технология при добавлении ПЦ из лиственной целлюлозы – это введение в виде геля в количестве 3%, но введение ПЦ в виде суспензии в количестве от 3 до 10% также допустимо, но при этом образец бумаги становится более пухлым.

#### Список литературы

1. Петропавловский Г.А., Котельникова Н.Е., Погодина Т.Е. Свойства целлюлозы с деструктированной формой волокон (порошкообразной целлюлозы) // Химия древесины. 1983. № 6. С. 78-82.
2. Торлопов М.А., Фролова С.В. Получение порошковых материалов деструкцией целлюлозы кислотами Льюиса и их модификация II. Сульфатирование порошковых материалов, полученных деструкцией целлюлозы кислотами Льюиса. // Химия растительного сырья. 2007. №3. С. 63-67.
3. Байклиз М., Сегала Л. Целлюлоза и ее производные. М.: Мир, 1974. Т. 2. С. 53-59.
4. Воскобойников И.В., Кондратюк В.А., Никольский С.Н., Константинова С.А., Коротков А.Н. Применение гидрогелей наноцеллюлозы при формовании бумаги и картона из различных видов волокнистого сырья // Лесной вестник. 2012. №8/2012. С. 111-116.
5. Наноцеллюлоза и технология ее получения // Инвестиционная научно-технологическая площадка. 25.04.2016. URL: <http://xn--80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--r1ai/nanotsellyuloza> (дата обращения апрель 2019).
6. Патент РФ № 2536142 (D21H21/10). Удерживающие агенты или улучшающие осушение. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2536142> (дата обращения январь 2019).

#### **THE USE OF POWDERED CELLULOSIC MATERIALS IN THE MANUFACTURE OF PAPER AND BOARD**

A.S. Malova\*, V.N. Synait

*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: malova179@gmail.com*

The main fibrous semi-finished products for the manufacture of paper and cardboard are cellulose, wood pulp, waste paper. Waste paper is a cheaper raw material in relation to the primary and can be processed to further create a paper sheet or cardboard, then the production and consumption of secondary fibrous fiber increases.

However, the secondary fiber has a reduced mechanical strength compared to the primary one. To improve the physical, mechanical and optical properties of the secondary fiber, various additives (cationic starch), fiber retention systems (polyamines, polyaluminium chloride, polyacrylic amide) are used, optical bleaches, intramass sizing and other components are introduced.

All over the world, there is a tendency to abandon synthetic additives and switch to environmentally friendly technologies and materials. Thus, the development of bio-degradable additives that improve the physical and mechanical properties of paper and cardboard is also relevant for manufacturers of cardboard containers and packaging. In this paper, we investigate the possibility of using powdered cellulose as an additive to improve the physical and mechanical characteristics of the waste paper mass.

*Keywords: pulp, paper, powdered pulp, paper production, physical and mechanical properties of paper.*

### **References**

1. Petropavlovskij G.A., Kotel'nikova N.E., Pogodina T.E. Svojstva celljulozy s destruktirovannoj formoj volokon (poroshkoobraznoj celljulozy). *Himija drevesiny*, 1983, № 6, pp. 78–82.
2. Torlopov M.A., Frolova S.V. Poluchenie poroshkovyh materialov destrukciej celljulozy kislotami L'juisa i ih modifikacija II. Sul'fatirovanie poroshkovyh materialov, poluchennyh destrukciej celljulozy kislotami L'juisa. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2007, №3, pp. 63-67
3. Bajkiza M., Segala L. *Celljuloza i ee proizvodnye*. M.: Mir, 1974, Vol. 2, pp. 53-59.
4. Voskoboynikov I.V., Kondratjuk V.A., Nikol'skij S.N., Konstantinova S.A., Korotkov A.N. Primenenie gidrogelej nanocelljulozy pri formovanii bumagi i kartona iz razlichnyh vidov voloknistogo syr'ja. *Lesnoj vestnik*, 2012, №8/2012, pp. 111-116.
5. Nanocelljuloza i tehnologija eyey poluchenija. *Investicionnaja nauchno-tehnologicheskaja ploshhadka*. 25.04.2016. URL:<http://xn--80aaaf1tebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/nanotsellyuloza> (accessed April 2019).
6. Patent RF № 2536142 (D21H21/10). *Uderzhivajushhie agenty ili uluchshajushhie osushenie*. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2536142> (accessed January 2019).

## **СОЛЮБИЛИЗАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КАРОТИНОСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ БИОМАССЫ ХВОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Д.А. Мельникова\*, Е.Ю. Демьянцева

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург  
E-mail: melnikowa.da2017@yandex.ru*

В современных реалиях крупнейшие целлюлозно-бумажные, химические компании мира рассматривают биорефайнинг как важнейшее направление своего развития. Технология биорефайнинга – это полная, глубокая химическая переработка древесной биомассы, продукты которой идеальны для многократного использования. Особое внимание уделяется поиску новых областей применения существующих коммерчески доступных продуктов переработки биомассы дерева. Расширить ассортимент товаров с полезными свойствами и высокой добавленной стоимостью можно получением биологически активных продуктов из древесных отходов, образующихся в процессе заготовки древесины и ее переработки. Такими отходами является древесная хвоя, которая содержит практически все классы растительных биологически активных органических соединений (витамины, ферменты, белки, жиры, эфирные и другие вещества).

При извлечении таких веществ необходимо рационально подходить к выбору хвои с учетом возраста дерева, условий произрастания и времени года вследствие вариативности состава. Древесная зелень является богатейшим источником жирорастворимых витаминов (витамин Е – токоферол – и витамины группы К). Максимальное содержание токоферола в растениях наблюдается летом и увеличивается с возрастом деревьев. Помимо выбора способа извлечения и растворителя для данных веществ, особое значение имеет и дальнейшее использование полученных экстрактов. Каротиноиды являются липофильными веществами, поэтому их необходимо перевести в гидрофильную форму, повышающую биодоступность и эффективность действия данных соединений.

В работе была оценена способность мицелл НПАВ Твина-80 служить в качестве эффективных носителей липофильных каротинов, выделенных из хвои ели.

*Ключевые слова: переработка древесины, каротиноиды, поверхностно – активные вещества, солюбилизация, экстракты.*

Мицеллярные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), ответственные за процесс солюбилизации ограниченно растворимых в воде веществ, получили широкое распространение в медицине, биологии, фармацевтике, технике.

Солюбилизация – коллоидный процесс самопроизвольного и обратимого проникновения солюбилизата внутрь мицелл солюбилизатора (ПАВ). Процесс сопровождается убылью свободной энергии системы, приводит к образованию термодинамически и агрегативно устойчивых, прозрачных, не обнаруживающих расслоения во времени равновесных растворов.

Цель данной исследовательской работы – изучение солюбилизирующей способности каротинов, извлеченных разными растворителями (этанол, растительное масло) из биомассы хвойных пород древесины в растворах поверхностно-активных веществ.

Методом бумажной хроматографии было установлено наличие в хвое только  $\alpha$ -токоферола, обладающего наибольшей биологической активностью. Содержание витамина К в хвое не выше, чем в коре и побегах. Его концентрация в зимний период выше (в листьях достигает максимума перед пожелтением) [1].

Извлечение каротина происходит при обработке растительного материала 96%-этиловым спиртом, с последующим переводом в бензин или петролейный эфир. Фракцию

пропускают через хроматографическую колонку, заполненную оксидом алюминия или карбонатом магния. Разделение каротина (a, b, g - формы) и каротиноидных пигментов происходит вследствие различия их скоростей сорбции-десорбции [2].

Для извлечения индивидуального вещества или определенной смеси (экстракта) из сухих продуктов в лабораториях широко применяется непрерывная экстракция по Сокслету. В работе были получены этанольные и масляные экстракты ели европейской Северо-Западного региона произрастания. Степень извлечения каротинов маслом и этанолом составила 31% и 45% соответственно.

Для дальнейшего эффективного использования каротинов возможно гидрофилизировать данные гидрофобные вещества путем их солюбилизации в растворах поверхностно-активных веществ.

В качестве солюбилизатора был выбран мицеллообразующий Твин-80, представляющий собой полиоксиэтилированный моноолеат сорбитана с молекулярной массой, равной 1308 Да, и гидрофильно-липофильным балансом (ГЛБ), равным 15. Препарат с маркировкой («ч.») использовали без дополнительной очистки.

В работе методом отрыва кольца Дю Нуи были получены изотермы поверхностного натяжения Твина-80 в водных растворах [3]. Максимальная депрессия поверхностного натяжения составила 33 мН/м, а критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) – 0,06% (рис. 1).

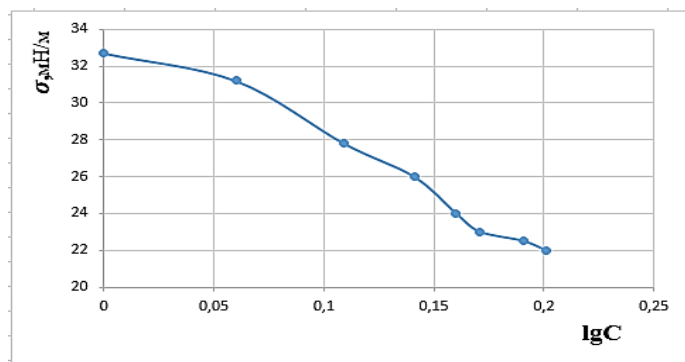


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного натяжения ПАВ от концентрации

Солюбилизующая способность данного ПАВ в отношении полученных экстрактов была определена спектрофотометрическим методом на приборе КФК-3-«30М3» [4]. Зависимости солюбилизированного вещества от концентрации ПАВ в растворе представлены на рис. 2.

Данный ПАВ показал хорошую солюбилизующую способность в отношении полученных экстрактов. Солюбилизационная емкость этанольного экстракта составляет 1,36, солюбилизационная емкость масляного экстракта составляет 0,7.

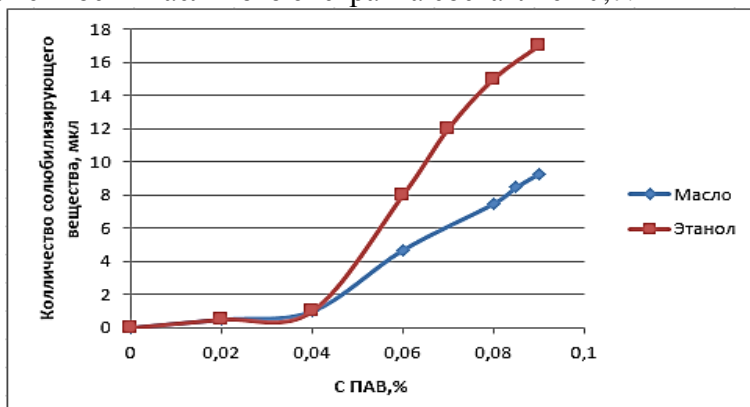


Рисунок 2 – Зависимость солюбилизированного вещества от концентрации ПАВ

Солюбилизационная емкость этанольного экстракта в два раза выше, чем масляного. Вероятно, процесс солюбилизации проходит в периферической части мицеллы. Следовательно, в мицеллярных растворах ПАВ наряду с биодобавками можно

солюбилизовать и полярные вещества, усиливающие ее проницаемость через кожные покровы. Таким образом, результаты данных исследований могут быть использованы для создания систем доставки липофильных витаминных препаратов в биодоступной форме.

#### Список литературы

1. Переработка древесной зелени. URL: <http://mirznanii.com/a/14161/pererabotka-drevesnoy-zeleni> (дата обращения: 10.10. 2020).
2. Патент РФ 2111991. МПК6 C07C 7/00, C07C 11/21, C07C 403/02, C09B 61/00. Способ экстракции каротиноидов из каротиноидсодержащего природного источника / Фредерик А.Грейвс, Даниэль Д.Гэллехер. Заявлено 09.04.1992; опубл. 27.05.1998, 16 с.
3. Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю Нуи. М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 24 с. URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/24.pdf>
4. Демьянцева Е.Ю., Копнина Р.А. Солюбилизация в растворах поверхностно-активных веществ. СПбГТУРП. СПб., 2015. 31 с.

#### **SOLUBILIZATION SYSTEM CAROTENE-CONTAINING EXTRACTS OF CONIFEROUS WOOD BIOMASS**

D.A. Melnikova\*, E.Yu. Demiantseva

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

*E-mail: melnikowa.da2017@yandex.ru*

In modern realities, the world's largest pulp and paper, chemical companies view biorefining as the most important direction of their development. Biorefining technology is a complete, deep chemical processing of woody biomass, whose products are ideal for repeated use. Particular attention is paid to finding new applications for existing commercially available wood biomass products. The range of products with useful properties and high added value can be expanded by obtaining biologically active products from wood wastes formed in the process of wood harvesting and processing. Such wastes are wood needles, which contain almost all classes of plant biologically active organic compounds (vitamins, enzymes, proteins, fats, essential and other substances).

When extracting such substances, it is necessary to rationally approach the selection of needles, taking into account the age of the tree, growing conditions and the time of year due to the variability of the composition. Wood greens are the richest source of fat-soluble vitamins (vitamin E (tocopherol) and group K vitamins). The maximum tocopherol content in plants is observed in summer and increases with the age of trees. In addition to selecting the recovery method and solvent for these substances, further use of the extracts obtained is of particular importance. Carotenoids are lipophilic substances, so they must be converted to a hydrophilic form, increasing the bioavailability and effectiveness of these compounds.

The work assessed the ability of NPAB tween 80 micelles as effective carriers of lipophilic carotenes isolated from spruce needles.

*Keywords: wood raw reprocessing, carotinoids, surfactants, solubilization, extracts.*

#### **References**

1. *Foliage processing*. URL: <http://mirznanii.com/a/14161/pererabotka-drevesnoy-zeleni> (accessed 10.10.2020).
2. Frederik A. Greyvs, Daniel' D. Gellekher *Sposob ekstraktsii karotinoidov iz karotinoidsoderzhashchego prirodnogo istochnika* [Method of extracting carotenoids from carotenoid-containing natural source]. Patent RF no. 2111991, 1998.
3. Osovskaya I.I. *Determination of surface tension by the method of tearing off the Du-Nui ring*. St. Petersburg, HSTE SPbSUITD, 2016, 24 p.
4. Demiantseva E.Y. *Solubilization in surfactant solutions*. St. Petersburg, HSTE SPbSUITD, 2016.

## ТЕХНОЛОГИЯ ФЛОТАЦИИ МАКУЛАТУРЫ ИЗ ОФИСНЫХ ВИДОВ БУМАГИ

М.А. Мидукова\*, Е.Г. Смирнова

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

*E-mail: maria.tikhomirova.92@mail.ru*

Исследовано влияние предварительного сухого диспергирования офисной макулатуры различной степени запечатанности с последующим роспуском в гидроразбивателе и флотацией на качество макулатурной массы и получаемой из нее бумаги. Установлено, что предварительное диспергирование существенно снижает остаточное количество вкраплений печатной краски в макулатурной массе после флотации.

*Ключевые слова: макулатура, диспергирование, флотация, деинкинг.*

Процесс удаления печатной краски из макулатуры (деинкинг) связан с большими затратами воды, электроэнергии, химикатов, в том числе с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Сначала волокно диспергируют в воде, а затем обрабатывают ПАВ, с помощью которых с поверхности бумаги и волокон удаляются частицы краски. Волокно отделяют от частиц краски флотацией, основанной на различии в смачиваемости волокон и краски. Актуальность процесса флотации в России обусловлена ростом коэффициента использования макулатуры. На сегодняшний день он составляет около 40%. В таблице 1 приведены марки макулатуры, которые подвергаются флотации [1,2].

Таблица 1 – Марки макулатуры, которые подвергаются деинкингу

№	Россия	Европа
1	МС-7В	Группа 1, обычные сорта бумаги
2	МС-8В	Группа 2, средние сорта бумаги
3		Группа 3, высокие сорта бумаги
4		Группа 5, особые сорта бумаги

Одним из способов снижения расхода воды является адсорбционный деинкинг [3]. Преимуществом данного способа является повышение концентрации массы до 15%. Недостатками являются сложность отделения полимеров из массы и низкая белизна. Классическая флотация, проходящая с использованием силиката натрия, пероксида водорода, гидроксида натрия и олеиновой кислоты, позволяет получить белизну до 80%.

Альтернативой классическому способу деинкинга при облагораживании макулатуры может служить использование комплекса ферментов [4].

В то же время существует мнение, что уменьшение частиц краски при ферментативном деинкинге до размеров меньших, чем при других освоенных (химических) методах – это отрицательный фактор, т.к. затем снижается эффективность удаления частиц краски методом флотации. Считается, что ферменты применимы, когда допустимо низкоостаточное содержание краски.

Для удаления печатной краски из макулатуры в лабораторных условиях применялся метод [5], который моделирует флотацию макулатуры на предприятиях, согласно которому процесс роспуска макулатурной массы идет в одну стадию и происходит в воде с добавлением химикатов, а именно гидроксида натрия, олеиновой кислоты, силиката натрия и пероксида водорода.

Однако флотация в реальных условиях на предприятии происходит в непрерывном потоке за короткое время, и качество очистки макулатуры от печатной краски будет недостаточным при небольшой продолжительности процесса очистки.

Поэтому целью работы является совершенствование технологии облагораживания писче-печатной и офисной макулатуры методом флотации.

В работе была использована макулатура с разным уровнем запечатанности с одной стороны бумаги: 2,5; 3,9; 8,2; 60%. Уровень запечатанности макулатуры определялся с помощью программы «lpSquare v5.0 for Windows» путем определения отношения площади черной области к общей площади листа. Измельчение макулатуры при равновесной влажности осуществлялось в два этапа: на первом этапе получены полоски макулатуры размером 294 x 15 мм, на втором этапе полоски диспергировались на волокна. После измельчения сухие волокна подавались в лабораторный гидроразбиватель, где распускались. В процессе роспуска в первую минуту в гидроразбиватель подавались химикаты: гидроксид натрия, силикат натрия, олеиновая кислота, пероксид водорода. Роспуск проводился при pH раствора 8,0-10,0 в течение 2-5 минут. Затем макулатурная масса подавалась на флотацию, где была разбавлена до концентрации 0,5-1,2%. Время флотации составило 8-10 минут. После флотации производились отливки массой 1 м<sup>2</sup> (примерно) 80 г.

Качество отливок, полученных стандартным методом деинкинга и с предварительным измельчением и диспергированием макулатуры сухим способом, заметно отличаются. Главным преимуществом предлагаемого способа является отсутствие вкраплений частичек печатной краски на отливках (рис. 1).

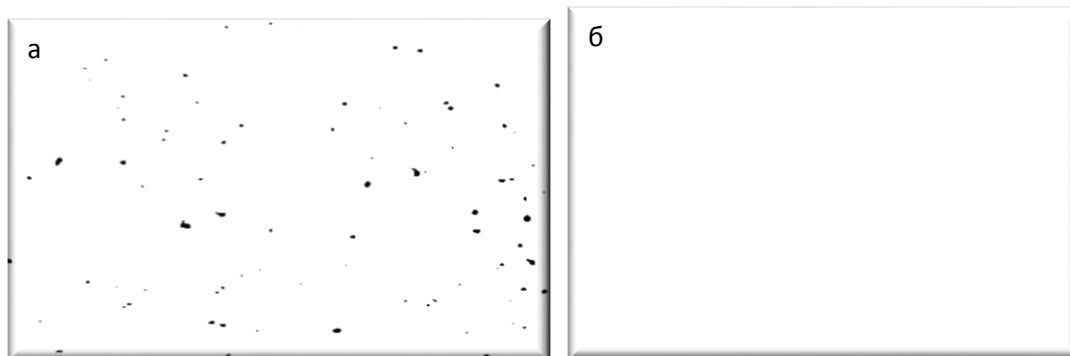


Рисунок 1 – Отливки, полученные стандартным (а) и предлагаемым (б) методами

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований по совершенствованию технологии флотации писче-печатной и офисной макулатуры путем сухого диспергирования в две стадии, было установлено следующее: наличие вкраплений частичек печатной краски («запечатанность») в флотированных образцах бумаги после двухстадийного сухого диспергирования перед роспуском в гидроразбивателе и последующей флотации практически отсутствует в отличие от стандартной флотации (рис. 1) и не зависит от степени запечатанности макулатуры (2,5; 3,9; 8,2; 60%).

#### Список литературы

1. ГОСТ 10700-97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
2. DIN EN 643:2014-05. Paper and board. European list of standard grades of paper and board for recycling.
3. Мидуков Н.П. Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших уч. заведений, 2018. 206 с.
4. Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: монография. САФУ. Архангельск, 2013. 360 с.



5. INGEDE Method 7: Visual Inspection for Recovered Paper for Deinking, Unbaled Delivery.  
URL: <https://www.ingede.org>.

## **IMPROVEMENT OF FLOTATION TECHNOLOGY OF RECOVERED PAPER AFTER USE OF OFFICE TYPES OF PAPER**

M.A. Midukova\*, E.G. Smirnova

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

*E-mail:maria.tikhomirova.92@mail.ru*

The article discusses the known methods of deinking of recovered paper. Special attention is paid to the process of flotation of printing recovered paper. The aim of research is a solving the current problem of complex removal of paint applied by a laser printer. The paper suggests effective deinking by dry two-stage defibration of recovered paper before flotation.

*Keywords: recovered paper, dry defibration, flotation, deinking.*

### **References**

1. GOST 10700-97. *Waste paper and cardboard. Specifications*. Moscow: PKI Standards Publishing House, 2003.
2. DIN EN 643:2014-05 *Paper and board – European list of standard grades of paper and board for recycling*.
3. Midukov N.P. Kurov V.S., Smollin A.S. *Production of multilayer cardboard test-liner with white layer*, SPb.: Publishing and printing association of higher education institutions, 2018.
4. Novozhilov E.V. *Application of enzyme technologies in pulp and paper industry: monography*, SAFU: Arkhangelsk, 2013.
5. *INGEDE Method 7: Visual Inspection for Recovered Paper for Deinking, Unbaled Delivery*.  
URL: <https://www.ingede.org>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Г. Николаева\*, С.Н. Смородин

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

*E-mail: nik.nast5877242@mail.ru*

Вопрос утилизации твердых промышленных отходов во всем мире стоит очень остро. Сильное загрязнение окружающей среды опасно как для животного и растительного мира, так и для человека. В статье рассмотрен такой вид утилизации отходов целлюлозно-бумажных предприятий (далее ЦБП), как сжигание. В исследовании приведены особенности различных способов сжигания, представлены результаты эксперимента по сжиганию различных видов отходов целлюлозно-бумажной отрасли. В результате анализа теплотехнических характеристик представленных образцов выявлены методы утилизации, которые позволяют максимально эффективно ликвидировать различные виды образующихся отходов ЦБП, определены способы сжигания, которые наилучшим образом подходят каждому исследуемому образцу.

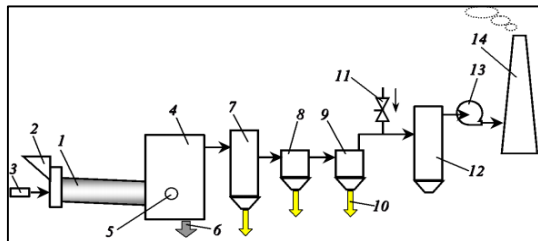
*Ключевые слова: твердые отходы, утилизация, сжигание, целлюлозно-бумажная промышленность, способы сжигания, теплотехнические характеристики, теплота сгорания, зольность, влажность.*

В настоящее время промышленные предприятия в ходе осуществления производственного процесса вырабатывают большое количество отходов, в том числе твердых. Из чего следует закономерный вопрос: а как лучше утилизировать твердые отходы, образующиеся в ходе производства? Рассмотрим один из распространенных способов утилизации – сжигание. При исследовании данного способа ликвидации отходов, образующихся, например, в целлюлозно-бумажной промышленности, важно определить, какой вид сжигания будет наиболее эффективным. Рассматривая теплотехнические характеристики отходов ЦБП, такие как влажность, зольность и теплоту сгорания, можно получить ответы на указанные выше вопросы [1].

Сжигание – это процесс организованного подконтрольного горения. Он позволяет не только ликвидировать отходы, но и получить энергию от их переработки. Виды сжигания зависят от оборудования, с помощью которого осуществляется данный процесс. Рассмотрим некоторые из них (рис. 1).

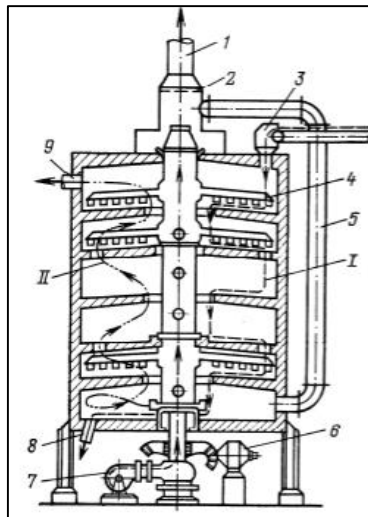
Утилизировать отходы можно с помощью вращающейся печи [2]. Такая печь выглядит как вращающийся барабан с огнестойким покрытием, после которого устанавливается камера дожигания. Эта форсажная вертикальная камера присутствует только в тех случаях, когда данное оборудование предназначено для сжигания отходов, т.к. помимо использования печи в качестве утилизатора мусора, ее также применяют для обжига цемента или производства извести.

Более 100 лет назад была изобретена ярусная (многоподовая сжигательная) печь, которая активно использовалась непосредственно для сжигания осадков очистных сооружений [3]. В современных печах используется способ газификации – более совершенный, чем прямое сжигание.



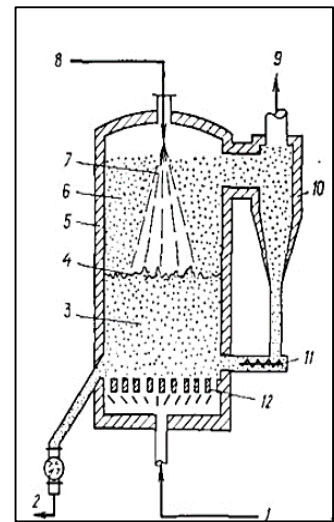
**Общий вид установки сжигания отходов с помощью вращающейся печи:**

- 1 - вращающаяся печь,
- 2 - загрузочное устройство,
- 3 - горелка печи топливная,
- 4 - камера дожигания,
- 5 - топливные горелки камеры дожигания,
- 6 - шлак,
- 7 - теплоутилизатор,
- 8 - инерционно-вихревой коаксиальный пылеуловитель,
- 9 - каталитический реактор,
- 10 - зола уноса,
- 11 - дымоохладитель,
- 12 - рукавный фильтр,
- 13 - дымосос,
- 14 - дымовая труба.



**Схема ярусной печи:**

- 1 - вывод охлаждающего воздуха,
- 2 - заслонка,
- 3 - ввод сжигаемого отхода,
- 4 - скребковая мешалка,
- 5 - рециркуляционная труба,
- 6 - привод мешалки,
- 7 - воздуходувка подачи охлаждающего воздуха,
- 8 - выход золы,
- 9 - выход отработанных газов,
- I - сжигаемое вещество,
- II - газы



**Схема печи с псевдоожиженным слоем:**

- 1 - воздух для псевдоожижения,
- 2 - твердый продукт,
- 3 - слой инертного носителя (песок),
- 4 - граница псевдоожиженного слоя,
- 5 - корпус,
- 6 - унос золы,
- 7 - песок,
- 8 - загрузка отходов,
- 9 - отходящие газы,
- 10 - сепаратор,
- 11 - возврат пыли,
- 12 - решетка.

Рисунок 1 – Оборудование, используемое для сжигания отходов

Следующим видом печей является печь с псевдоожиженным слоем [4]. Слой псевдоожиженного песка при температуре сжигания 800–850 °С представляет собой высокотурбулентную среду. В такой среде осуществляется процесс теплообмена с очень высоким значением коэффициента теплопередачи. Именно за счет турбулентности песка происходит быстрое разрушение обезвоженных осадков, поступающих в этот слой. Сжигание отходов и испарения воды происходит постоянно, воздух при этом играет роль агента, который поддерживает горение.

Для определения оптимального вида сжигания отходов ЦБП необходимо провести комплексную оценку теплотехнических характеристик производственных остатков. Одной из важных характеристик веществ, влияющих на процесс сжигания, является влажность [5]. Она подразделяется на несколько видов (рис. 2).

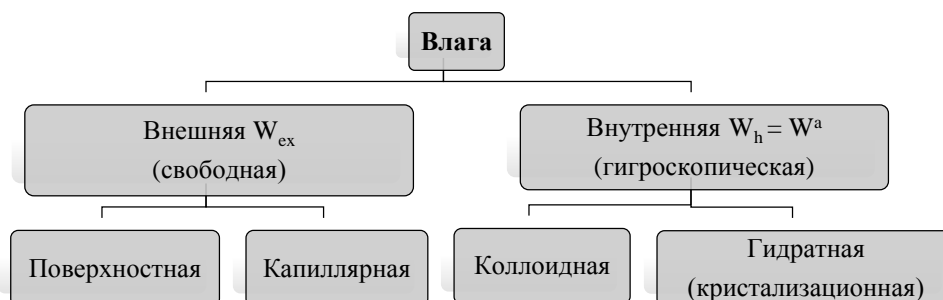


Рисунок 2 – Структура влажности твердых отходов

Внешняя влага, образующаяся при перевозке, добыче или хранении отходов, подразделяется на поверхностную и капиллярную. К первой относится та часть жидкости, которая может появиться в виде атмосферных осадков или из подземных вод и оседает на поверхности частиц отходов. Ко второму же виду влаги относится вода, которая задерживается в капиллярах и порах сжигаемых веществ.

Рассмотрим правую часть рис. 2. Внутренняя влага делится на два подвида: коллоидная влага (жидкость, являющаяся составной частью органической массы, количество которой связано с видом отходов и их химическим возрастом) и гидратная влага (жидкость, химически связанная с минеральными примесями отходов, которая образует соединения минеральных веществ с водой, например, силикаты  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , сульфаты  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , кальцид  $\text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и др.). Коллоидная влага удаляется в процессе сушки при температуре около  $105^\circ\text{C}$ , а гидратная выделяется только при дегидратации в процессе термического разложения отходов при температуре  $600^\circ\text{C}$  и выше.

Следующей характеристикой твердых отходов, влияющей на сжигание, является зольность. Зольностью называют техническую характеристику, представляющую собой массу золы (получившийся после завершения преобразований в минеральной части веществ в процессе горения твердый негорючий порошкообразный остаток), отнесенную, как правило, к сухой массе вещества и выраженную в процентах. Зольность определяется по результатам технического анализа вещества путем прокаливания навески исследуемого образца ( $m_T \approx 1 \pm 0,1$  г) в муфельной печи при температуре  $805 \dots 825^\circ\text{C}$  в течение 20 – 35 мин.

Одной из важнейших теплотехнических характеристик отходов является теплота сгорания или теплотворная способность – количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы твердого вещества [6]. Теплота сгорания наиболее точно определяется с помощью такого прибора, как калориметрическая бомба (рис. 3). Для определения теплоты сгорания в герметичном закрытом цилиндрическом сосуде сжигают навеску вещества в среде кислорода. По повышению температуры воды, в которую помещена калориметрическая бомба, и части самого калориметра с учетом их водяного эквивалента, определяется количество теплоты, выделяемое при сжигании исследуемого образца.

Для определения оптимальных способов сжигания различных видов твердых отходов, образующихся на предприятиях ЦБП, в зависимости от теплотехнических характеристик, проведем анализ четырех образцов (рис. 4) по уже описанным выше параметрам: влажности, зольности и теплоты сгорания.

Определение влаги проводилось в соответствии с ГОСТ Р 52911-2013 [7]. Сущность метода заключается в высушивании навески аналитической пробы образца в сушильном шкафу при температуре  $105\text{-}110^\circ\text{C}$  и вычислении массовой доли влаги по потере в массе. Из аналитической пробы отходов во взвешенную бюксу отбирают около 1 г вещества.



Рисунок 3 – Оборудование, используемое в ходе эксперимента (калориметрическая бомба и весы)

Бюксу с навеской образца помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры  $105\text{-}110^\circ\text{C}$  и при этой температуре сушат не менее 60 мин.



Образец № 1



Образец № 2



Образец № 3



Образец № 4

Рисунок 4 – Объекты исследования – отходы ЦБП

При выполнении анализа использовались: низкотемпературная лабораторная электропечь, SNOL 24/200, аналитические весы GR-200 с пределом допускаемой погрешности 0,3 мг.

Определение содержания золы проводилось в соответствии с ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010) [8]. Сущность метода заключается в следующем: пробу исследуемого образца сжигают в муфельной печи, нагреваемой с определенной скоростью до температуры 815°C, и выдерживают при этой температуре до постоянной массы. Зольность в процентах рассчитывают по массе остатка после прокаливания.

При выполнении анализа использовались: электропечь лабораторная (муфельная печь) SNOL 7,2/1300. лабораторные аналитические весы ВПР200 с пределом допускаемой погрешности 0,1 мг.

Теплота сгорания представленного образца определялась калориметрическим методом в соответствии с ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009) в изотермическом режиме [9]. Метод основан на полном сжигании массы испытуемого топлива в калориметрической бомбе в изотермическом режиме при постоянном объеме в среде сжатого кислорода и измерении подъема температуры калориметрического сосуда за счет теплоты, выделившейся при сгорании топлива и вспомогательных веществ, а также при образовании водных растворов азотной и серной кислот в условиях испытания. При выполнении анализа использовался калориметр ИКА модель С2000 basic, лабораторные аналитические весы ВПР200 с пределом допускаемой погрешности 0,1 мг.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплотехнические характеристики образцов отходов ЦБП

Наименование	№1	№2	№3	№4
Влажность	49,17	54,85	69,71	82,74
Зольность	8,75	15,03	0,78	3,27
Зольность на с. м.	17,22	33,30	2,57	18,97
Теплота сгорания по бомбе, $Q_b^d$ , КДж/кг	14494	11481	30484	13223
Теплота сгорания высшая сухой массы топлива, $Q_s^d$ , КДж/кг	14472	11464	30438	13203
Теплота сгорания низшая, $Q_i^r$ , КДж/кг	6131	3810	7481	218

На основе проведенного исследования можно сделать следующий вывод: рассмотренные отходы (образцы №1-3) лучше перерабатывать с помощью метода термической утилизации, так как они не требуют подготовки при сжигании, например, в котлах с кипящим слоем. Отходы (образец №4) должны пройти процесс обезвоживания для снижения влажности до 60 – 70%.

Опыт по сжиганию отходов такого состава имеется в промышленности. Так на Светогорском, Архангельском, Кондапожском ЦБК, Сыктывкарском ЛПК в котлах с кипящим слоем производится сжигание биологически активного ила совместно с древесными отходами (до 10% в смеси топлив). На Светогорском ЦБК реконструкция системы топливоподачи котла МТК-150 позволила увеличить долю сжигаемых отходов до 25%.

#### Список литературы

1. Соломин И.А., Афанасьева В.И. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами // Природообустройство. 2017. №3.
2. Крот О.П., Ровенский А.И. Моделирование установок с вращающейся печью для термического обезвреживания отходов // Проблемы региональной энергетики. 2018. №1 (36).
3. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург: Полиграфист, 2007. 503 с.
4. Пат. 474667 СССР. F27B 15/08, B01J 9/18. Печь с псевдоожиженным слоем / Б.М. Нестеров, В.В. Федоренко, А.С. Розов, А.Г. Поляков. Заявлено 01.06.1973; опубл. 25.06.1975.
5. Горинев О.И., Горбунов В.А., Колибаба О.Б., Самышина О.В. Влияние теплофизических свойств твердых бытовых отходов на температурный режим термической переработки // Вестник ИГЭУ. 2010. №2.
6. Захаров П.Д. Исследование теплотворной способности твердого биотоплива на основе органических отходов // Лесотехнический журнал. 2016. №3 (23).
7. ГОСТ Р 52911-2013 Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107159> (дата обращения 24.12.2020).
8. ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010) Топливо твердое минеральное. Определение зольности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105477> (дата обращения 24.12.2020).
9. ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009) Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107606> (дата обращения 24.12.2020).

#### **STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS OF PULP AND PAPER ENTERPRISES WASTES**

A.G. Nikolaeva\*, S.N. Smorodin

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

*E-mail: nik.nast5877242@mail.ru*

The issue of solid industrial waste disposal is very acute all over the world. Severe environmental pollution is dangerous for both animals and plants, as well as for humans. The article considers this type of recycling pulp and paper industry (hereafter PPI) like burning. The study presents the features of various methods of incineration, presents the results of an experiment on the incineration of various types of waste from the pulp and paper industry. The analysis of the thermal characteristics, the submitted samples are identified methods of disposal, which enable to effectively eliminate various types of waste generated CBP, defines methods of burning that are best suited to each studied sample.

*Keywords: solid waste, recycling, incineration, pulp and paper industry, combustion methods, thermal characteristics, heat of combustion, ash content, humidity.*

## References

1. Solomin I.A., Afanasyeva V.I. *Composition and properties of solid municipal waste, taken into account when choosing technical methods of waste management*. 2017. №3.
2. Krot O.P., Rovenskiy A.I. Modeling of installations with a rotating furnace for thermal waste disposal. *Problems of regional energy*. 2018. №1 (36).
3. Lotosh V.E. *Recycling of environmental management waste*. Yekaterinburg: Polygraphist, 2007. 503 p.
4. Nesterov B.M., Fedorenko V.V., Rozov A.S., Polyakov A.G. *Fluidized bed Furnace*. Patent of the USSR no. 474667, 1975.
5. Gorinov O.I., Gorbunov V.A., Kolibaba O.B., Samyshina O.V. Influence of thermophysical properties of solid household waste on the temperature regime of thermal processing. *IGEU Bulletin*. 2010. No. 2.
6. Zakharov P.D. Investigation of the calorific value of solid biofuels based on organic waste. *Lesotekhnicheskii Zhurnal*. 2016. №3 (23).
7. *GOST R 52911-2013 Solid mineral fuel. Determination of total moisture*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107159> (accessed 24.12.2020).
8. *GOST R 55661-2013 (ISO 1171: 2010) Solid mineral fuel. Determination of ash content*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105477> (accessed 24.12.2020).
9. *GOST 147-2013 (ISO 1928-2009) Solid mineral fuel. Determination of the highest calorific value and calculation of the lowest calorific value*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107606> (accessed 24.12.2020).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ**

М.О. Слюта\*, А.В. Бахтин

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

*E-mail: marina\_slyuta@mail.ru*

Одной из экологических проблем является загрязнение водных акваторий. На данный момент применяют математические модели распространения загрязняющих веществ. При этом используемые модели не могут адаптироваться к изменяющимся условиям и требуют вмешательства специалистов. В открытых источниках информации не существует сведений об использовании интеллектуальных самообучающихся моделей для решения таких задач.

Целью данной работы является построение интеллектуальной обучаемой модели распространения загрязняющих веществ, которая имеет возможность адаптироваться под постоянно меняющееся состояние водного объекта и источников загрязнения.

*Ключевые слова: математическая модель, нейронная сеть, алгоритм Back-Propagation, преобразующая функция нейронов, водные акватории.*

В настоящее время одной из экологических проблем является загрязнение водных акваторий. На данный момент применяют математические модели распространения загрязняющих веществ. При этом используемые модели не могут адаптироваться к изменяющимся условиям и требуют вмешательства специалистов. В открытых источниках информации не существует сведений об использовании интеллектуальных самообучающихся моделей для решения таких задач.

Целью данной работы является построение интеллектуальной обучаемой модели распространения загрязняющих веществ, которая имеет возможность адаптироваться под постоянно меняющееся состояние водного объекта и источников загрязнения.

Данную модель было решено построить на базе нейронных сетей. Для обучения нейронной сети был выбран водный объект – участок реки Волхов, со следующими параметрами: длина – 1000 м, ширина – 10 м, глубина – 5 м. По условиям эксперимента местоположение водовыпуска, длина, ширина и глубина реки оставались постоянными, поэтому они были исключены из управляющих параметров.

На вход модели подаются начальная концентрация вещества, скорость течения реки и фоновая концентрация. Выходы содержат информацию о концентрации в ряду контролируемых точек водного объекта различных веществ, таких как хлорид, натрий, калий, сульфат (рис. 1).

Разработанная нейронная модель была реализована в программе Neural Works Professional II Plus. Для определения наилучшей структуры сети прямого распространения с точки зрения минимальной ошибки были проанализированы и выбраны параметры нейросети, такие как количество слоев нейронной сети и преобразующая функция нейронов внутреннего слоя сети.

По результатам решения задачи были сформированы 5000 примеров, на которых проведено обучение программы нейросетевого моделирования. Один пример содержит 3 входных параметра и 200 выходных.



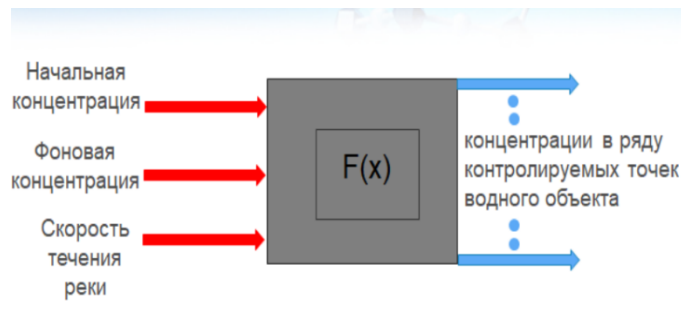


Рисунок 1 – Концептуальная модель

Топология модели представляет собой трехслойную структуру прямого распространения. Размерность входного и выходного сигналов в нейронной модели составляет соответственно 3 и 200 (рис. 2). Преобразующая функция внутреннего слоя модели – синус.

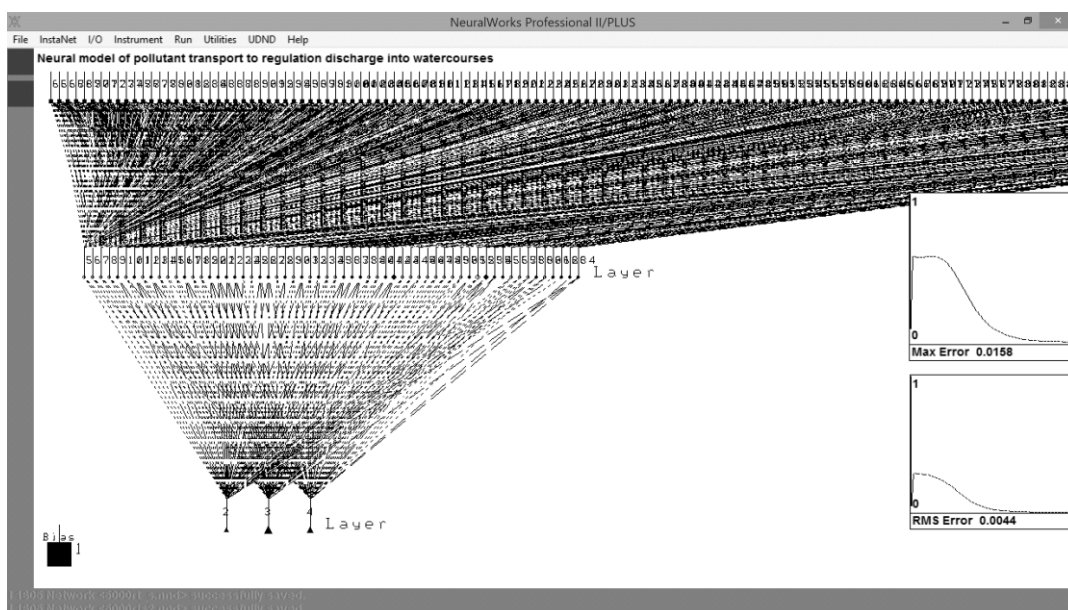


Рисунок 2 – Топология нейросетевой модели

Все нейроны входного и выходного слоев имеют линейную преобразующую функцию в связи с тем, что они выполняют только распределительные и масштабирующие функции. Задачу сжатия и аппроксимации данных, поступающих на сеть, выполняет внутренний слой. Для обучения нейронной сети используется стандартный алгоритм Back-Propagation [1, с. 111].

Данная модель была апробирована с помощью программного продукта Water Pollutant. В программу Water Pollutant подаются входные параметры, с помощью математической модели выводятся выходные параметры. Эти данные подаются на нейронную сеть для обучения. Далее код нейронной сети генерируется обратно в программу Water Pollutant. И при подаче новых входных параметров сравниваются результаты нейронной сети и математической модели.

В результате выполненной работы была разработана концептуальная модель процесса переноса загрязняющих веществ в водной среде, выбран метод реализации искусственного интеллекта для задачи мониторинга процесса переноса загрязняющих веществ в водной среде, выбран наилучший с точки зрения минимизации погрешности алгоритм обучения и определены его настройки. В результате проведенного научного исследования была получена нейронная модель, проверка которой на программе Water Pollutant показала погрешность функционирования не более 2% от максимального значения концентрации.

Разработанная топология нейросетевой модели может быть использована для предсказания распространения загрязняющих веществ любых водных объектов. Внедрение результатов данного исследования актуально и необходимо для поддержания положительного состояния акваторий.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на построение взаимосвязанной системы прогноза, состоящей из совокупности обучаемых нейронных моделей отдельных зон водных объектов.

Также данная работа может быть полезна для расчета предельно допустимых концентраций сбросов загрязняющих веществ для конкретных предприятий и нормирования этих показателей.

#### Список литературы

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: Полный курс. М.: Вильямс, 2008. 1103 с.

### **APPLICATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES BASED ON NEURAL NETWORKS FOR CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR MONITORING THE PROCESS OF CONTAMINANTS TRANSFER IN WATER AREAS**

M.O. Slyuta\*, A.V. Bakhtin

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

*E-mail: marina\_slyuta@mail.ru*

Currently, one of the environmental problems is the pollution of water areas. At the moment, One of the environmental problems is the pollution of water areas. At the moment, mathematical models of the spread of pollutants are used. At the same time, the models used cannot adapt to changing conditions and require the intervention of specialists. In open sources of information there is no information about the use of intelligent self-learning models for solving such problems.

The aim of this work is to build an intelligent trainable model for the spread of pollutants, which has the ability to adapt to the constantly changing state of a water body and pollution sources.

*Keywords: mathematical model, neural network, Back-Propagation algorithm, transforming function of neurons, water areas.*

#### **References**

1. Haykin Simon. *Neural networks: Complete course*. M.: Williams, 2008. 1103 p. (In Russian).

## ЭРГОНОМИКА В АСУ ТП: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

В.И. Рожков\*, А.А. Ефимов

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

*E-mail: ergonika@mail.ru*

С усложнением средств управления технологическими процессами в ЦБП и теплоэнергетике, вызванных внедрением более сложных компьютерных технологий, систем диспетчеризации АСУ ТП при переходе к технологиям Industry 4.0, возрастает роль человеческого фактора, влияющего на объемы выпускаемой продукции и ее качество. Сокращение количества ошибок диспетчеров, вызванных их непрофессиональными действиями в процессе эксплуатации нового оборудования, является одной из главных задач в области профессиональной подготовки специалистов. Среди дисциплин вуза, напрямую влияющих на качество подготовки выпускников, особым образом выделяется дисциплина «Эргономика в АСУ ТП», позволяющая обучаемым взглянуть на деятельность специалистов предприятий с учетом человеческого ресурса. Существенным фактором в повышении качества подготовки выпускников является применение в учебном процессе апробированных научно-практических методик, позволяющих дать выпускникам конкретный инструментарий, с помощью которого они смогут повысить качества деятельности специалистов на рабочих местах с учетом производственной среды.

*Ключевые слова: эргономика, алгоритмы деятельности, функционально-структурная теория, повышение качества преподавания дисциплины, повышение компетенций выпускников вуза.*

С 2018 года в вузе введена новая дисциплина «Эргономика в АСУ ТП». Необходимость введения данной дисциплины в учебный процесс обусловлено развитием и внедрением на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП), теплоэнергетики новых компьютерных технологий, ускорением технологических процессов, усложнением деятельности операторов, повышением роли и ответственности персонала, обслуживающего сложнейшие технологические комплексы, усилением требований к качеству подготовки специалистов.

С появлением новой дисциплины появилась потребность в разработке новых учебно-методических пособий, раскрывающих цели и задачи эргономики применительно к сфере ЦБП и теплоэнергетики. В целях развития дисциплины были разработаны новые учебно-методические материалы для проведения практических занятий (ПЗ), велся поиск нового или использование существующего оборудования учебно-лабораторной базы кафедры с целью получения обучающимися практических навыков по применению методик оценки деятельности операторов АСУ ТП, разработке нормативов по выполнению операторами стоящих перед ними задач.

На начальной стадии обучения основам эргономики и оценки эргономической деятельности операторов АСУ ТП как звена человеко-машинной системы студентам даются общие понятия о целях, задачах эргономики, научных методах, которые могут быть применены в практической деятельности. В рамках дисциплины одним из способов оценки деятельности операторов АСУ ТП рассматривается функционально-структурная теория [1, 2] с математическим аппаратом обобщенного структурного метода (ОСМ), позволяющего оценивать деятельность операторов через построение алгоритмов их деятельности (АД) при выполнении различных функциональных задач по обслуживанию систем АСУ ТП.

В рамках ОСМ производится декомпозиция АД на элементарные составляющие – типовые функциональные структуры (ТФЕ), каждая из которых представляет собой элементарную психофизиологическую операцию (считывание информации с экрана дисплея,

подключение устройства с помощью органа управления (кнопкой, тумблером, «мышкой»). Для получения количественных характеристик АД используется хронометраж выполняемых действий или эти данные берутся из справочной литературы.

Для получения практических навыков по составлению АД, проведению хронометража типовых операций и расчету количественных характеристик АД студенты используют учебные стенды кафедры, используя учебно-методические пособия [3].

В целях получения возможности проведения дистанционных практических занятий с группами заочного обучения и проведения занятий в условиях ограниченного обучения было предложено разработать компьютерную обучающую программу с использованием языка программирования C Sharp с возможностью автоматического снятия временных характеристик действий обучаемого.

В качестве исходных данных для разработки информационных моделей (ИМ) компьютерной программы взяты учебные лабораторные стенды кафедры. Разработанные ИМ представлены на рис. 1 – 4. Затем в соответствии с процедурой выполнения каждого практического задания были запрограммированы и реализованы действия обучаемого с имитацией действий с использованием «мышки» компьютера. С ее помощью могут выполняться следующие действия: включение-выключение стенда, управление рычагом редуктора для увеличения-уменьшения подачи давления на манометры, включение-выключение кнопок управления программой. При выполнении указанных действий программа обрабатывает данные операции в виде изменения положения стрелок манометров в соответствии с заданным алгоритмом, перемещения механических указателей и т.д.

При запуске программы на экране появляется заставка, с помощью которой студент может выбрать одну из 4-х предложенных ПЗ (рис. 1).

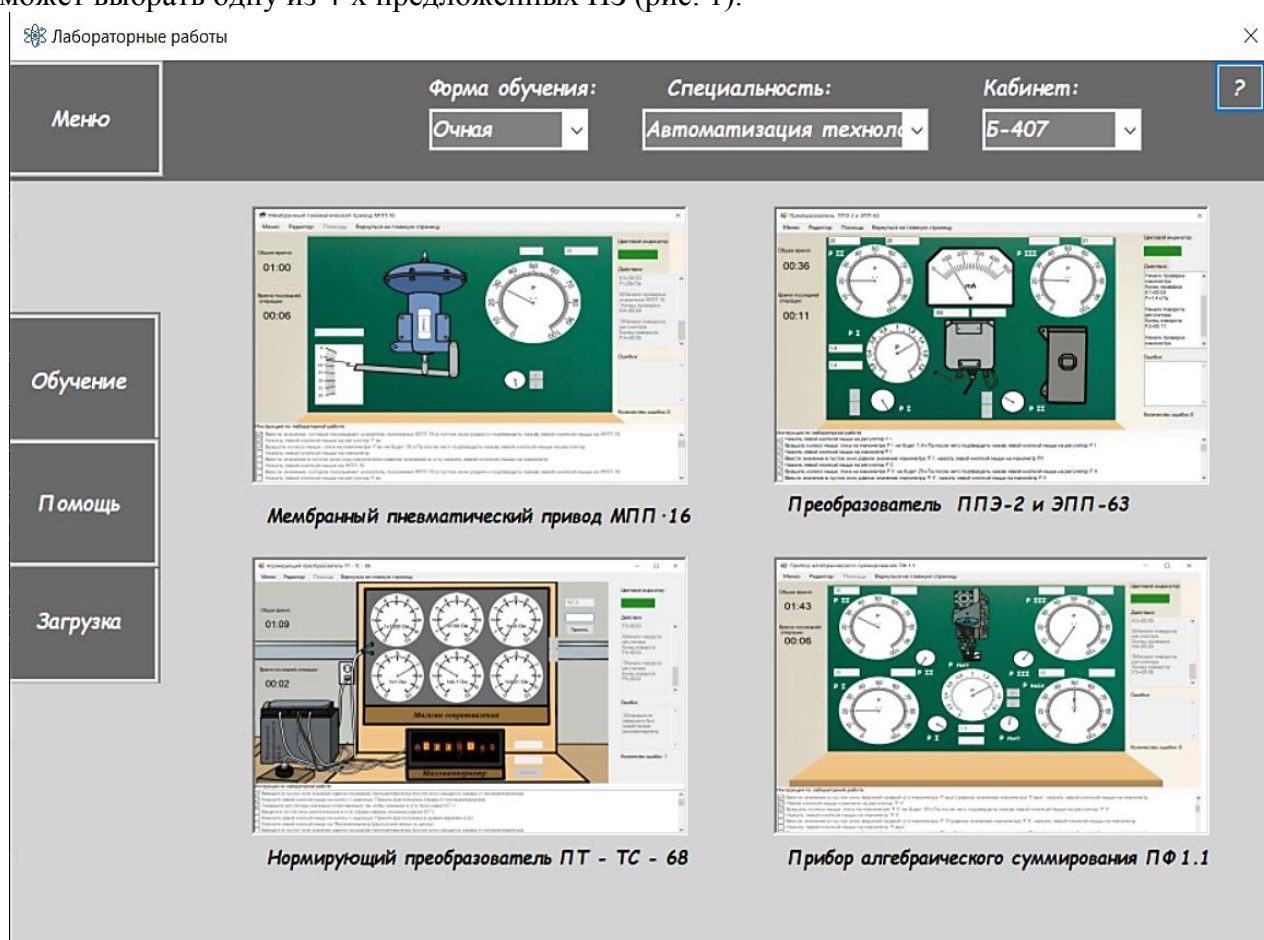


Рисунок 1 – Фрагмент заставки компьютерной программы

Рассмотрим процесс выполнения ПЗ на примере использования стенда «Мембранный пневматический привод МПП-16» (рис. 2).

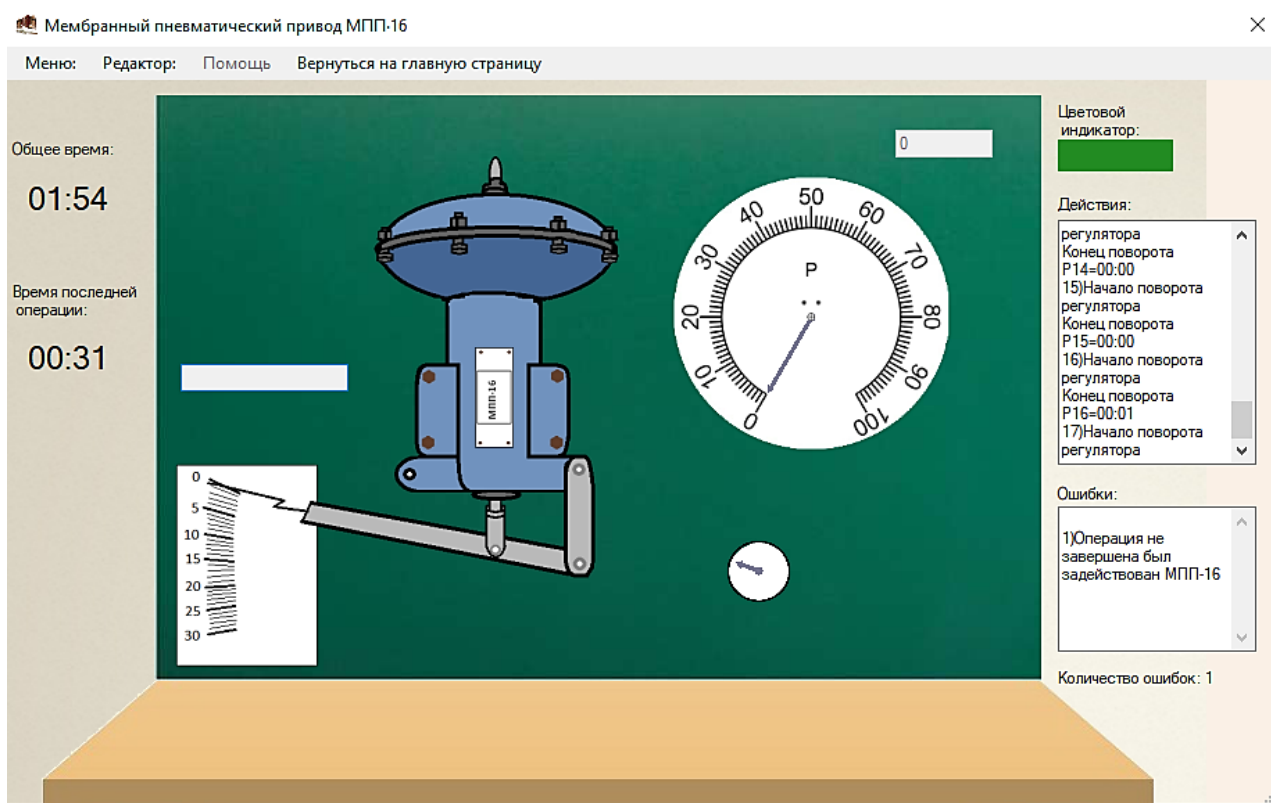


Рисунок 2 - Фрагмент работы программы при выполнении ПЗ

При выборе на вкладке «Меню» операции «Начало работы» запускаются секундомеры общего времени выполнения работы и продолжительность времени выполнения каждой операции. В соответствии с заданием на выполнение лабораторной работы студент должен выполнить следующие манипуляции:

1. С помощью ручки редуктора вращением по часовой стрелке выставить на манометре заданную величину давления. В соответствии с программой механический указатель переместится на несколько делений, имитируя перемещение штока пневмопривода. В левом верхнем окне появляется информация о проведенном действии. Программа фиксирует время на выполнение этой операции. При повторном нажатии ручки регулятора и установления нового значения давления по манометру процедура повторяется. Повторение указанных операций будет выполняться до тех пор, пока весь перечень операций не будет закончен. При появлении ошибки испытуемого формируется команда «Ошибки».
2. После завершения лабораторной работы нажать на кнопку «Меню» и в открывшемся окне выбрать закладку «Завершить работу». Работа программы останавливается, фиксируется общее время выполнения лабораторной работы. Если студент при выполнении ПЗ затратит более 15 мин, программа остановится и выдаст команду «Превышение времени выполнения ПЗ». Студенту будет дана возможность снова пройти выполнение задания.
3. После завершения ПЗ в «Меню» программы нужно во вкладке «Редактор» выбрать вкладку «Схема». Откроется окно, в котором имеются несколько кнопок редактирования АД. В процессе выполнения п. 1 и 2 программа формирует набор ТФЕ в соответствии с АД обучаемого (рис. 3). В режиме редактирования появляется АД, состоящий из рабочих (РО), контрольных операций (КО). Программа позволяет добавлять и удалять лишние операции, устанавливать связи между ТФЕ, формировать циклические процессы.



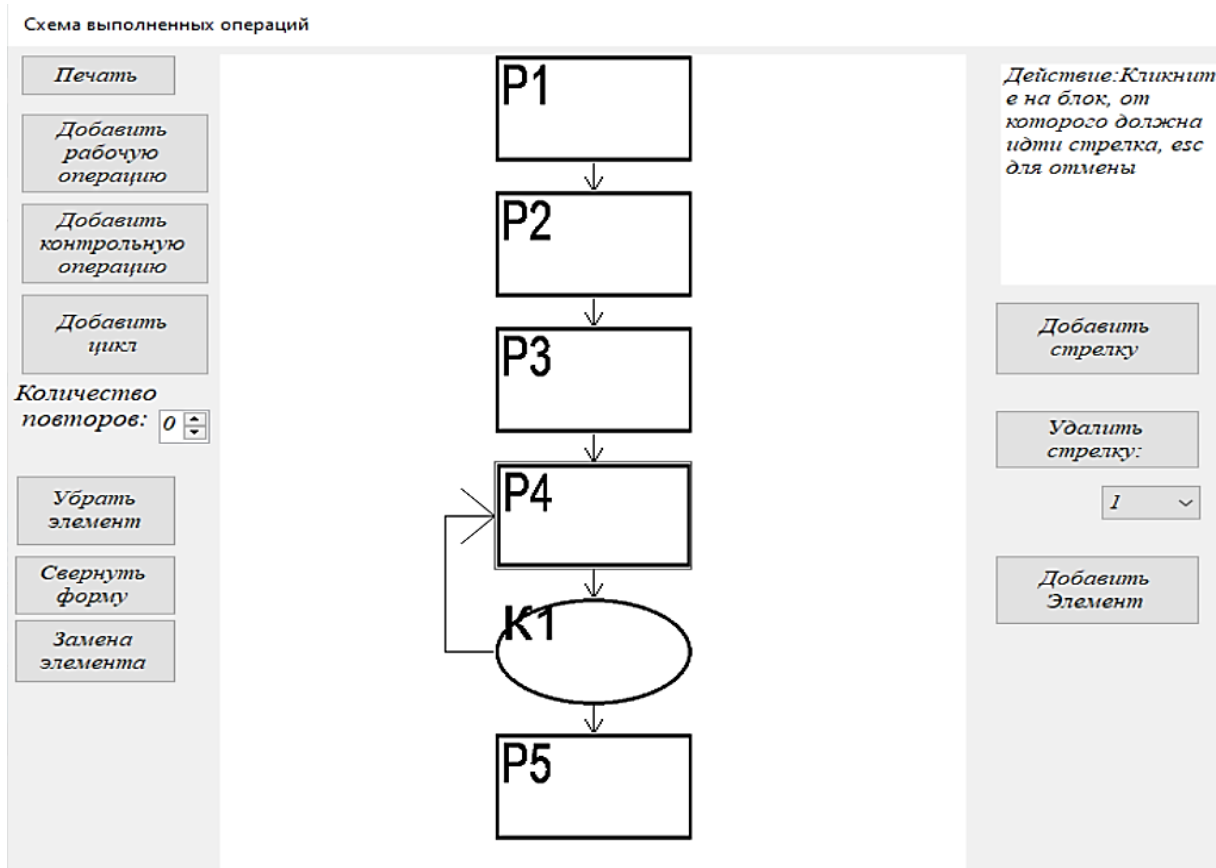


Рисунок 3 – Фрагмент программы по редактированию полученных данных

4. После того, как АД будет отлажен с помощью редактора, можно вывести полученный АД на печать, нажать вкладку «Печать» или запомнить АД в файле с расширением .pdf. После завершения необходимых операций нажать вкладку «Завершить редактирование».
5. Программа позволяет производить расчет количественных характеристик АД с использованием математического аппарата ОСМ. Для этого необходимо нажать вкладки «Редактор» и «Расчет по формулам». При появлении таблицы с исходными количественными характеристиками по полученному АД следует проверить правильность их заполнения и выполнить процедуру расчета.
6. Программа позволяет оказывать необходимую методическую поддержку студенту путем загрузки учебного пособия по выполнению ПЗ по дисциплине и выдачу подсказок по другим вопросам, связанным с проведением ПЗ (рис. 4).
7. По завершении выполнения данного ПЗ можно перейти к выполнению другого задания путем нажатия на вкладку «Вернуться на главную страницу».

В результате использования данной компьютерной программы студенты будут иметь возможность полностью выполнить ПЗ по данной дисциплине в соответствии с учебным планом. Использование данной компьютерной программы позволит повысить качество учебного процесса, ускорит процесс сбора данных, их накопление, статистическую обработку, а обучаемые получат возможность выполнения практических заданий по дисциплине в дистанционном режиме. Программа находится на завершающей стадии разработки и тестировании. Внедрение данной компьютерной программы в учебный процесс намечено в следующем году.

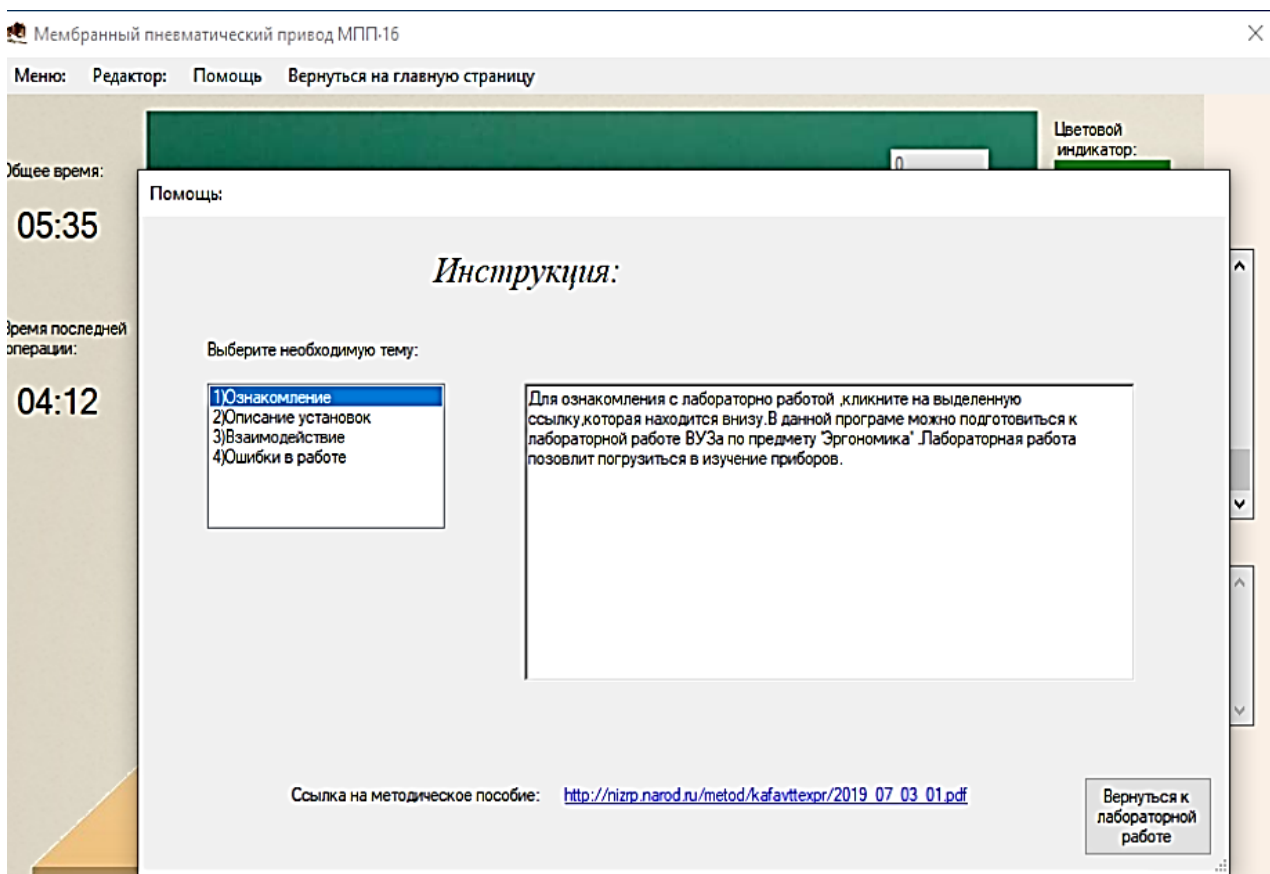


Рисунок 4 – Фрагмент программы на вкладке «Помощь»

### Список литературы

1. Адаменко А.Н., Ашерев А.Т., Лавров Е.А. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник. Машиностроение. М., 1993. 528 с.
2. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. М.: Машиностроение, 1983. 263 с.
3. Рожков В.И. Эргономика в автоматизированных системах управления технологическими процессами. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. 105 с.

### **ERGONOMICS IN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS: FROM THEORY TO PRACTICE**

V.I. Rozhkov\*, A.A. Efimov

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

*E-mail: ergonomika@mail.ru*

With the increasing complexity of the means of control of technological processes in pulp & paper and thermal power generation caused by the introduction of more sophisticated computer technologies, systems of dispatching APCS during the transition to Industry 4.0, the role of the human factor affecting the volume of output and its quality is increasing. Reducing the number of dispatchers' errors caused by their unprofessional actions during the operation of new equipment is one of the main tasks in the field of professional training of specialists. Among the disciplines of the university that directly affect the quality of training of graduates, the discipline "Ergonomics in automated process control systems" is particularly distinguished, which allows students to look at the activities of specialists of enterprises taking into account the human resource. A significant factor in improving the quality of training of graduates is the use of proven scientific and practical methods in the educational process, which allow them to give them specific tools with which they

can improve the quality of specialists ' activities in the workplace, taking into account the production environment.

*Keywords: ergonomics, algorithms of activity, functional and structural theory, improving the quality of teaching the discipline, improving the competencies of university graduates.*

### **References**

1. Adamenko A.N., Asherov A.T., Lavrov E.A. *Information and control human-machine systems: Research, design, testing: handbook*. Moscow: Mechanical Engineering, 1993, 528 p. (In Russian).
2. Shibanov G.P. *Quantitative assessment of human activity in human-technology systems*. Moscow: Mechanical Engineering, 1983, 263 p. (In Russian).
3. Rozhkov V.I. *Ergonomics in automated process control systems: educational-methodical manual*. SPb: HSTE SPbSUITD, 2018, 105 p. (In Russian).



## **ФАКТОРЫ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ**

А.В. Ушаков\*, Ю.Д. Алашкевич, В.А. Кожухов, В.Н. Матыгулина, К.А. Хохлов  
*Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск  
E-mail: al.usahkov2194@mail.ru*

Исследования показывают, что изменение концентрации волокнистой массы в процессе размола оказывает положительное влияние на качество готовой продукции. Это явление объясняется тем, что разработка волокна осуществляется не только за счет ножевого воздействия на волокно, но и за счет внутреннего трения волокон между собой, тем сохраняется исходная длина волокна и повышаются физико-механические свойства готовой продукции. В работе проведен анализ основных технологических факторов, влияющих на размол волокнистой массы высокой концентрации.

*Ключевые слова: размол, высокая концентрация, производительность, удельный расход энергии, дисковая гарнитура.*

За последнее время проведено множество исследований в области размола волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации. Качество конечной продукции при размоле волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации зависит от ряда факторов процесса размола. К данным факторам можно отнести: зазор между размалывающими поверхностями, окружную скорость размалывающих органов, температуру в зоне размола и конструктивные параметры ножевой гарнитуры.

### **Зазор между размалывающими поверхностями**

Повышение концентрации волокнистой массы при размоле волокнистого материала влечет за собой необходимость увеличения зазора между дисками гарнитур. С увеличением зазора между дисками при размоле волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации уменьшается воздействие дисковой гарнитуры на разработку волокна. Разработка волокна в данном случае осуществляется за счет трения волокон между собой, а также о ножевую поверхность дисковых гарнитур [1].

При размоле волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации сил трения, возникающих между волокнами, не хватает для разработки волокна при однократном пропуске волокнистой массы через зону размола, следовательно, количество пропусков волокнистой массы необходимо увеличивать. С увеличением пропусков волокнистой массы через зону размола возрастает удельный расход энергии [1].

В исследованиях, проводимых в работе [1] рассматривалось влияние межножевого зазора на качество разработки волокнистой массы сульфатной небеленой целлюлозы. Результаты показывают, что с увеличением концентрации волокнистой массы зазор между размалывающими поверхностями необходимо увеличивать. Размол осуществлялся в дисковой мельнице с диаметром дисковых гарнитур 300 мм при скорости вращения ротора 3000 об/мин. При повышении концентрации волокнистой массы (от 5% до 20%) зазор варьировался от 0,01 мм до 4 мм. Для обеспечения степени помола 60 °ШР по мере увеличения концентрации волокнистой массы до 10 – 20%, требовалось большее количество проходов массы через зону размола (от 8-10 проходов). При размоле массы низкой концентрации количество проходов требовалось гораздо меньше (от 1–2 проходов). С увеличением количества проходов массы удельный расход энергии возрастал, минимальный удельный расход был получен при концентрации массы 5% - 29,3 кВтч/100 кг а.с.в., при концентрации 20% - 45,2 кВтч/100 кг а.с.в. Исследователи отмечают, что несмотря на значительные затраты энергии при размоле массы высокой концентрации по сравнению с

массой низкой концентрации, фракционный состав массы высокой концентрации был отличен. При концентрациях 3 и 5% снижение содержания длиноволокнистой фракции и повышение коротковолокнистой фракции и мелочи происходило в большей степени, чем при концентрациях 10 и 20% [1].

В исследованиях, проводимых в работе [2], предварительному двухступенчатому размолу в дисковой мельнице *KRK-2500 II* при концентрации 20% подвергались табачные стебли для последующей варки табачной целлюлозы. На первой ступени размол межножевой зазор составлял 0,4 мм, на второй – 0,2 мм. Размол табачных стеблей представлял собой сложный процесс, в результате которого волокна табачных стеблей подверглись рубке, фибрилляции, скручиванию. На первой ступени размол при зазоре 0,4 мм у волокон табачного стебля практически не наблюдалось структурных изменений, концы волокон были более жесткими, почти не проявляя фибрилляции волокон, на второй ступени размол при зазоре 0,2 мм ширина волокна не была уменьшена, концы показали повышенную фибрилляцию волокна и более высокий уровень фиброза [2].

### **Влияние окружной скорости ротора при размолу массы высокой концентрации**

В процессе размолу массы высокой концентрации необходимо повышать окружную скорость ротора дисковой мельницы. Результаты проведенных исследований [1] показывают, что при скорости вращения 1200 об/мин дисковой гарнитуры ротора диаметром 300 мм процесс размолу неэффективен. Низкая эффективность размолу целлюлозной массы при скорости вращения диска ротора 1200 об/мин объясняется большим зазором, равным 5 мм. Дальнейшее уменьшение зазора приводит к забиванию волокнистой массы в межножевом зазоре из-за недостаточного развития центробежных сил при вращении ротора. С увеличением скорости вращения ротора дисковой гарнитуры с 3000 об/мин до 4000 об/мин уменьшается минимальный допустимый межножевой зазор с 4 мм до 1 мм, происходит сокращение пропусков массы через зону размолу. Размол при относительно небольших скоростях вращения диска ротора мельницы и низкой концентрации массы при размолу невыгоден из-за низкой производительности мельницы и относительно высокой потребляемой мощности [1]. Например, при размолу целлюлозы при скорости вращения диска ротора 1200 об/мин и концентрации массы 3% производительность мельницы составляла 34 кг/ч при потребляемой мощности 13 кВт, а при скорости вращения диска ротора 3000 об/мин и концентрации массы 10% производительность составила 60 кг/ч при потребляемой мощности 18 кВт.

В исследованиях [2] табачная целлюлоза подвергалась размолу с помощью мельницы *PFI Mark II* при скорости вращения размалывающего органа от 1500 об/мин до 6500 об/мин. Концентрация целлюлозной (табачной) массы составляла 10%. Для оценки бумагообразующих свойств волокна в исследованиях определяли длину волокна, ширину волокна, грубость волокна и индекс скручивания. Для оценки физических свойств готовой бумажной продукции из табачной целлюлозы определялись такие свойства как индекс прочности на растяжение, объемная плотность, воздухопроницаемость и водопроницаемость. Исследователи отмечают, что трение между волокнами в процессе размолу оказывало существенное влияние на длину волокна. В процессе размолу наиболее высокие физико-механические и бумагообразующие свойства волокон были получены при окружной скорости вращения размалывающего органа мельницы 3500 – 4500 об/мин. Когда окружная скорость превышала 4500 об/мин, разработка волокна происходила более интенсивно, приводя к более высокому трению между волокнами, тем самым уменьшая среднюю длину и ширину волокна [2]. При окружной скорости вращения размалывающего органа 3500 об/мин все свойства бумажной продукции получали оптимальные значения, в то время как удельный объем и воздухопроницаемость бумаги снижались.

Размолу высококонцентрированной крафт-целлюлозы для изготовления мешочной тары осуществлялся в исследованиях [3]. Цель данного исследования заключалась в определении влияния интенсивности размолу массы высокой концентрации на разработку волокна и удельный расход энергии. Интенсивность размолу выражает среднюю удельную

энергию за количество ударных импульсов на единичное волокно. На всех стадиях размол использовалась дисковая мельница *Bauer* с диаметром ротора дисковой гарнитуры 900 мм. Переменные основных факторов процесса размол включали в себя концентрацию 25%, 35% и 40% и окружную скорость вращения ротора мельницы 900 об/мин, 1200 об/мин, 1800 об/мин. Для определения бумагообразующих свойств волокон использовали прибор *Optest FQA*. Размол крафт-целлюлозы при высокой концентрации вызывает скручивание и осевое сжатие волокна, благодаря которым индекс прочности на растяжение листа возрастает. Однако с увеличением концентрации волокнистой массы интенсивность размол снижается. Дальнейшее снижение интенсивности вызывает необходимость повышать окружную скорость ротора дисковой гарнитуры. В результате проведенных экспериментальных работ исследователь приходит к выводу, что оптимальные значения индекса прочности на разрыв и воздухопроницаемости готовой бумажной продукции поддерживаются в диапазоне 0,025 – 0,061 кВтч/т на удар а.с.в. с окружной скоростью ротора дисковой гарнитуры от 900 до 1200 об/мин. При данных условиях размол удельный расход энергии был в диапазоне 350 – 500 кВтч/т а.с.в. [3].

### **Температура в зоне размол**

Увеличение концентрации массы при размоле оказывает большее влияние на разогрев массы, особенно при достижении высоких степеней помола. В процессе размол практически вся энергия, потребляемая мельницей, превращается в тепло, что приводит к нагреванию волокнистой массы. При размоле массы высокой концентрации повышение температуры может превысить допустимые пределы, в результате чего происходит интенсивное парообразование. Это приводит к повышению давления между поверхностями размалывающих органов и значительному увеличению нагрузки на подшипники [4]. Нарастание градуса помола по *Шоппер-Риглеру* замедляется, укорачивание волокон увеличивается, степень гидратации уменьшается. Это происходит потому, что набухание целлюлозы с повышением температуры снижается, вследствие чего волокна становятся менее пластичными и больше повреждаются режущими кромками ножей при размоле. Повышение температуры массы при размоле способствует коагуляции и выпадению смолы, вследствие чего смоляные затруднения в производстве бумаги возрастают [5]. Влияние температуры на процесс размол волокнистой массы высокой концентрации требует более детального анализа.

### **Влияние вида рисунка размалывающей гарнитуры на размол волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации**

Большой интерес вызывает влияние вида рисунка размалывающей гарнитуры на разработку волокна при размоле волокнистой массы высокой концентрации. На данный момент времени не существует единой точки зрения по поводу целесообразности конструирования особого вида рисунка гарнитуры для размол волокнистой массы высокой концентрации. Поэтому исследование влияния отдельных конструктивных параметров ножевой гарнитуры на процесс размол волокнистого материала высокой концентрации, несомненно, остается актуальным вопросом [1].

К основным конструктивным параметрам ножевых гарнитур, которые влияют на процесс разработки волокна, можно отнести ширину ножа, ширину паза, угол наклона ножей к радиусу [1].

Во многих литературных источниках [6, 7] говорится о том, что с уменьшением ширины ножей и с увеличением секундной режущей длины возникает режущее действие на волокно, в результате чего волокна подвергаются рубке. Влияние ширины ножей, ширины пазов и угла наклона ножей к радиусу при размоле волокнистой массы высокой концентрации имеет более сложную зависимость по сравнению с размол волокнистой низкой концентрации. В исследованиях, проводимых ранее [1], отмечается, что увеличение ширины ножей при неизменной ширине канавок и угла наклона ножей к радиусу гарнитуры приводит к снижению минимального допустимого зазора с 1,5 до 1,0 мм, уменьшению числа

пропусков массы через размалывающий аппарат, усилению укорачивания волокна, снижению удельного расхода энергии на размол в среднем на 60-70%. Аналогичные результаты были получены с увеличением ширины паза при сохранении ширины ножей. При возрастании угла наклона ножей к радиусу от 0° до 15° при одинаковой ширине канавок и толщине ножей наблюдается снижение первоначального минимального допустимого зазора между дисками гарнитур. Максимальное укорачивание волокна происходит при угле наклона ножей к радиусу диска 3°. Увеличение или уменьшение угла наклона ниже 3° приводит к усилению фибрилляции волокна и уменьшению режущего действия на волокна дисковой гарнитуры. Минимальный расход энергии в процессе размола был при угле наклона 6°.

Многие исследователи сходятся во мнении, что основная нагрузка в процессе размола массы высокой концентрации сосредоточена на поверхности кромки ножей, а остальная часть рабочей поверхности ножей оказывает незначительное воздействие на разработку волокна [1]. В таком случае в качестве критерия, который мог бы описать процесс работы и эффективности размола, может служить удельная эффективная нагрузка на рабочую кромку ножей  $Q_{эф}$ . (1):

$$Q_{эф} = \frac{N_{П}}{nz_p z_c l}; \text{ (Дж/м)}, \quad (1)$$

где  $N_{П}$  – полезная мощность размола, Вт;

$L_{П}$  – режущая длина кромок ножей в единицу, м/с;

$n$  – частота вращения ротора мельницы, об/мин;

$z_p, z_c$  – количество ножей ротора и статора, шт.

По сути, данный критерий оценивает интенсивность размола. С увеличением удельной эффективной нагрузки на рабочую поверхность происходит более интенсивное укорачивание волокон. При снижении интенсивности повышается степень гидратации и улучшаются механические свойства материала. Сильное снижение удельной эффективной нагрузки имеет свои граничные значения, ниже которых размол становится неэффективным.

Существует также показатель удельной поверхностной нагрузки  $Q_{нов}$ , который учитывает как толщину ножей (и поверхность кромки ножей), так и среднее значение угла пересечения ножей  $\alpha$ . Показатель удельной поверхностной нагрузки  $Q_{нов}$  делением показателя удельной эффективной нагрузки на рабочую кромку ножей  $Q_{эф}$  (2):

$$Q_{нов} = \frac{Q_{эф}}{Z_{cp}} \text{ (Дж/м}^2\text{)}, \quad (2)$$

где  $Z_{cp}$  – фактор, зависящий от толщины ножей и от угла наклона ножей к радиусу диска (3):

$$Z_{cp} = \frac{Z_p + Z_{cm}}{2} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha/2)}. \quad (3)$$

Данные критерии работы ножевых размалывающих машин представляют расход энергии при пересечении ножей без ссылки на то, как эта энергия распределяется по целлюлозе (интенсивность размола за количество генерируемых ударов по волокнам). В своих исследованиях Ричард Керекес [8] выдвигает теорию о том, что при размоле волокнистой массы высокой концентрации важным критерием для оценки работы размалывающих машин должна быть не интенсивность размола, а силовая характеристика, основанная на интенсивности размола в процессе разработки волокна единичным ножом гарнитуры. Вышеуказанные критерии оценки работы размалывающих машин представляются полезными при проектировании дисковых ножевых гарнитур.

С учетом существующих теорий и проведенных исследований на кафедре машин и аппаратов промышленных технологии разработана ножевая дисковая гарнитура для размола волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации. Особенностью данной гарнитуры

является равномерное возрастание угла скрещивания ножей гарнитуры статора и гарнитуры ротора. Данная гарнитура позволит повысить производительность размалывающего оборудования и снизить удельный расход энергии.

*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. Матвеев Б.П. Исследование основных факторов процесса размола сульфатной небеленой целлюлозы в дисковой мельнице при высокой концентрации: дис. ... канд. техн. наук. М.: Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, 1974. 158 с.
2. Gao W.H., Chen K.F., Zeng J. Effects of beating on tobacco stalk mechanical pulp // *Cellulose Chemistry and Technology*. 2012. №46 (34). С. 277 - 282.
3. 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.
4. Гончаров В.Н., Кугушев И.Д., Васильев А.А. Анализ тепловых процессов при размолу массы высокой концентрации в дисковой мельнице // сб. науч. тр.: Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства. Л.: ЛТА, 1982. Вып.10. С. 48-52.
5. Алашкевич Ю.Д., Решетова Н.С. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Красноярск: СибГТУ, 2015. 317 с.
6. Корда И., Либнар З., Прокоп И. Размол бумажной массы. М.: Лесная промышленность. 1967. 421 с.
7. Иванов С.Н. Технология бумаги. М., Л.: Гослесбумиздат, 1970. 720 с.

#### **FACTORS OF HIGH CONSISTENCE REFINING PROCESS OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS**

A.V. Ushakov\*, Y.D. Alashkevich, V.A. Kozhukhov, V.N. Matyugulina, K.A. Hohlov  
*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*  
*E-mail: al.usahkov2194@mail.ru*

Studies show that the change in pulp consistence during refining has a positive effect on the quality of the finished product. This phenomenon is explained by the fact that the development of the fiber is carried out not only due to the knife effect on the fiber, but also due to the internal friction of the fibers among themselves, thereby preserving the initial length of the fiber and increasing the physical mechanical properties of the finished product. The main technological factors influencing the refining of the pulp of high consistence were analyzed in the work.

*Keywords: refining, high consistence, productivity, specific energy consumption, disk refiner.*

#### **References**

1. Matveev B.P. *Issledovanie osnovnyh faktorov processa razmola sul'fatnoj nebelenoj celljulozy v diskovoj mel'nice pri vysokoj koncentracii: dis. kand. tech. nauk* [Investigation of the main factors of the process of grinding kraft unbleached pulp in a disk mill at a high concentration: candidate of technical sciences thesis]. M.: Leningradskij tehnologicheskij institut celljulozno bumazhnoj promyshlennosti, 1974, 158 p. (In Russian).

2. Gao W.H., Chen K.F., Zeng J. Effects of beating on tobacco stalk mechanical pulp. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2012. №46 (34), pp. 277-282.
3. 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.
4. Goncharov V.N Analiz teplovyh processov pri razmole massy vysokoj koncentracii v diskovoj mel'nice [Analysis of thermal processes during grinding of mass of high concentration in a disk mill]. *Mashiny i apparaty celljulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Machines and machines of pulp and paper production]. Leningrad, LTA, 1982, vol.10, pp.48-52. (In Russian).
5. Alashkevich Ju.D., Reshetova N.S. *Teorija i konstrukcija mashin i oborudovanija otrasli: ucheb. posobie* [Theory and design of machinery and equipment of the industry]. Krasnojarsk: SibGTU, 2015, 317 p. (In Russian).
6. Korda I., Libnar Z., Prokop I. *Razmol bumazhnoj massy: ucheb. dlja vuzov* [pulp beating stage]. M.: Lesnaja promyshlennost', 1967, 421 p. (In Russian).
7. Ivanov S.N. *Tehnologija bumagi* [Paper Technology]. M., L.: Goslesbumizdat, 1970, 720 p. (In Russian).

## **БУМАГА И НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН И ФТОРОПЛАСТОВ**

Е.П. Ширшова<sup>1\*</sup>, С.В. Арзамасцев<sup>2</sup>, О.В. Асташкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбГУПТД, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов

E-mail: shep-a@mail.ru

В работе показан способ получения углерод-полимерных композиционных материалов, на основе углеродной бумаги и/или нетканого материала, модифицированных фторопластами. Полученные композиционные материалы, обладая высокой гидрофобностью и одновременно электропроводностью, могут быть использованы в различных электрохимических процессах, в том числе в ячейках водородных топливных элементов.

*Ключевые слова: углеродная бумага, нетканый материал, фторопласт, углерод полимерный композиционный материал, гидрофобность, краевой угол смачивания, пористость, электропроводность.*

Ухудшающаяся экологическая обстановка в нашей стране и в мире заставляет рассматривать альтернативные источники энергии и электричества. Водородная энергетика не является однозначным вариантом замены двигателей внутреннего сгорания, но безотходность и экологичность данной отрасли заставляет продолжать исследования и разработки в этом направлении. Невозможность использования металлов в подобных источниках тока открывает дорогу композиционным и гибридным материалам. Ранее были разработаны с доказанной эффективностью углерод-углеродные пористые композиты (УУКМ), которые применяются в качестве пористых мембран в водородных ячейках [1].

В результате химической реакции в водородных топливных ячейках образуется вода, которая должна быть удалена из среды. Таким образом, композиционные материалы, используемые для производства мембран, должны быть гидрофобными и пористыми, чтобы в реакционную среду не попадала капиллярная влага. Исходя из данных доводов, были предложены и разработаны принципы и методы гидрофобизации углерод-углеродных мембран, что дало хороший эффект [2].

Недостаток таких материалов – цена, которая складывается из стоимости исходных материалов и компонентов, и стоимости обработок по технологическим переходам. Разработка способов получения пористых углерод-полимерных композиционных материалов (УПКМ) на основе углеродной бумаги и/или нетканых материалов с использованием в качестве матриц фторопластов является актуальной темой научно-технологических исследований. Для этого необходимо рассмотреть и выбрать наиболее приемлемый метод совмещения углеродных волокнистых наполнителей с фторопластовыми матрицами, изучить электрофизические свойства полученных материалов.

В качестве объектов исследования были выбраны волокнистые материалы, полученные из бумаги или нетканого материала на основе гидратцеллюлозных волокон-прекурсоров: углеродная бумага отечественного производства (УБРФ), графитированный нетканый материал (ГУНМ), гидрофобизированная углеродная бумага фирмы Тогау (УБ Тогау) в качестве объекта сравнения. В качестве гидрофобизатора и одновременно матрицы предложено применять фторопласт марки Ф-2М.

Совмещение углеволокнистого наполнителя с фторполимерными матрицами может быть осуществлено несколькими способами: 1) сплавлением углеродных волокнистых материалов с порошковыми или волокнистыми фторполимерами; 2) обработкой углеволокнистых наполнителей фторполимерными суспензиями; 3) обработкой растворами фторполимеров [3]. В настоящей работе выбран 3-й способ получения композитов.

Ранее была разработана и внедрена схема (рис. 1а) по получению углерод-углеродных токопроводящих пористых мембран с последующей обработкой гидрофобизирующими составами (рис. 1а). Материалы, полученные по данной схеме, обладают высокой гидрофобностью (угол смачивания 104 – 120°), высокой, до 70%, пористостью и низким электрическим сопротивлением – 30 – 60 мОм·см [4].

Предлагаемая нами схема (рис. 1б) исключает стадию обработки смолой с последующей графитацией, что снижает затраты при получении готовой продукции, так как связующим в получаемом композиционном материале выступает гидрофобизирующий фторполимер.

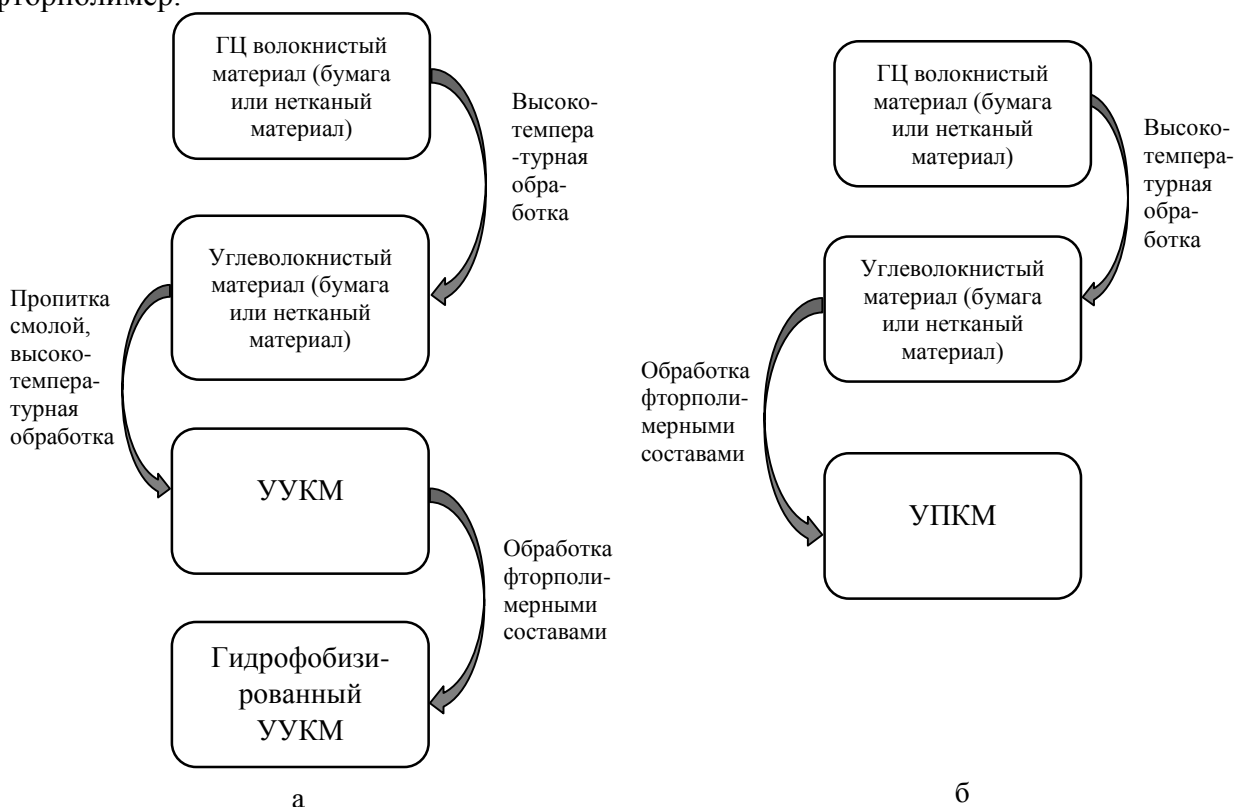


Рисунок – 1 Основные стадии получения углеродных пористых токопроводящих КМ по а – традиционной и б – ресурсосберегающей технологии

Полученные по данной схеме материалы исследовались на гидрофобность, которую определяли по краевому углу смачивания, по фотографиям высаженных капель на поверхности материалов. Равномерность распределения фторопласта не только залог хорошей гидрофобности [5], но и качества материала в целом, так как из-за неравномерности нанесения полимера могут пострадать прочностные характеристики готового композита. Результаты измерений краевых углов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Краевые углы (градусы) до и после обработки растворами фторопласта

Концентрация фторопласта в растворе	УБ РФ	ГУНМ УБ	Toray
Без обработки	44±3	109±3	119±3
1 %	106±3	109±3	120±3
3 %	108±3	124±3	123±3
5 %	119±3	120±3	117±3

Из приведенных данных видно, что все образцы имеют примерно равные углы смачивания, наилучший результат наблюдается на углеродной бумаге, обработанной 5% раствором фторопласта и на нетканом материале после обработки 3% раствором фторопласта. Значения сопоставимы с гидрофобизированной бумагой Toray.



Поверхность полученных материалов изучали при помощи электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390 японской фирмы JEOL. На приведенных снимках (рис. 2) видно, что поверхность образцов, обработанных растворами фторополимера (рис. 2а, б) неоднородна, имеет сквозные отверстия и внешне напоминает лист лотоса под микроскопом, поверхность которого является супергидрофобной и самоочищающейся за счет того, что имеющиеся неровности листа при большом увеличении имеют шероховатую структуру с многочисленными выступами на которых капли воды принимают практически шарообразную форму и даже при небольшом наклоне скатываются с поверхности, захватывая частицы загрязнения [6].

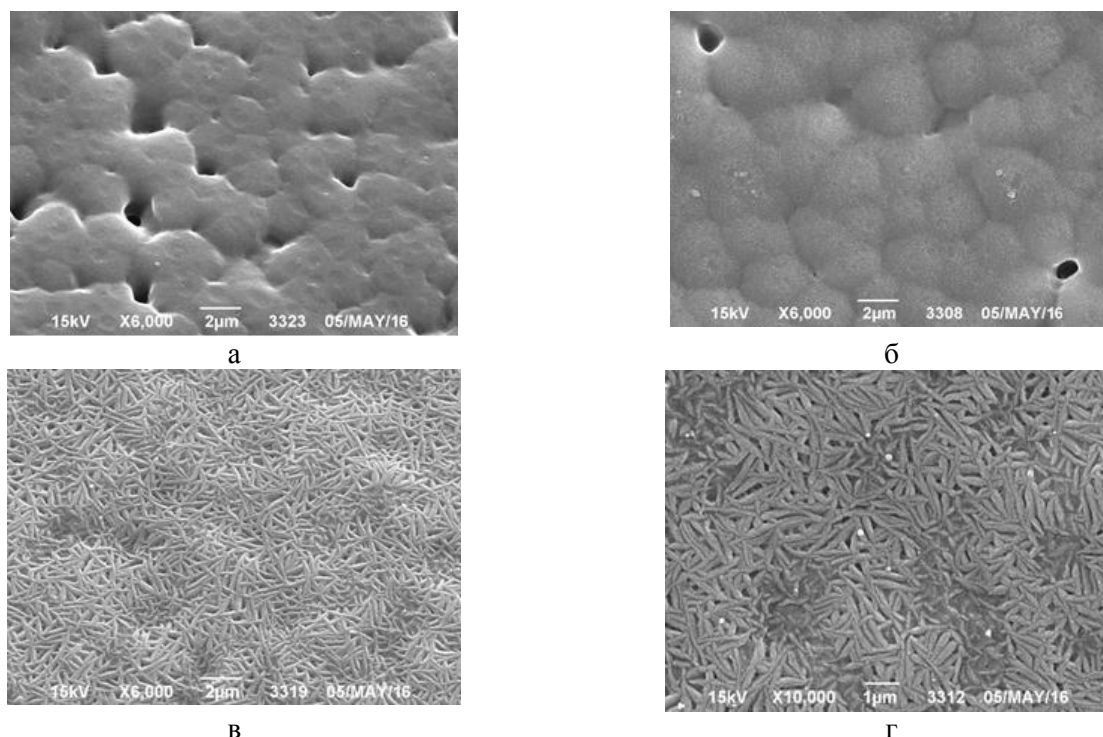


Рисунок 2 – Электронные снимки поверхности, покрытой растворами фторопласта с концентрациями: а – 1%, б – 5%; покрытой водной суспензией с концентрацией в – 5%, г – 10%

Основные свойства разработанных материалов приведены в таблице 2. Видно, что после обработки удельное сопротивление снижается как у углеродных бумаг, так и у нетканых материалов, т.е. увеличивается электропроводность. Значительно снижается водопоглощение, а пористость материалов снижается незначительно, т.е. гидрофобизация не скажется на газопроницаемости при использовании материала в качестве мембран в водородных топливных ячейках.

Таблица 2 – Свойства УПКМ, полученных по ресурсосберегающей технологии до и после обработки фторополимерами

	УБ РФ		ГУНМ		УБ Тогау
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	
Удельное сопротивление, мОм·см	25	15	42	12	5
Угол смачивания, град	110	118	109	120	115
Водопоглощение, %	30	15	36	15	11
Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,398	0,420	0,321	0,397	0,416
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	132	143	141	153	121
Пористость, %	63	52	53	50	61

В работе предложен новый способ получения гидрофобизированных пористых токопроводящих КМ (бумаги и нетканых материалов). У полученных образцов определена гидрофобность, исследованы основные электрофизические свойства. Показано, что гидрофобизация путем пропитки углеродных материалов растворами фторопласта позволяет получить УПКМ с высокими эксплуатационными характеристиками.

#### Список литературы

1. Сальникова П.Ю., Лысенко В.А., Лысенко А.А. Сравнительная оценка технологий и характеристик пористых токопроводящих композитов, используемых в водородных топливных элементах // Химические волокна. 2010. № 1. С. 44 – 48.
2. Лысенко В.А. Газодиффузионные подложки топливных элементов. Промышленный выпуск // Дизайн. Материалы. Технология. 2008. № 4 (7). С. 122 – 128.
3. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 7. С. 619 – 638.
4. Михалчан А.А. Разработка композитов на основе поливинилиденфторида, наполненного углеродными наночастицами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПбГУТД. Санкт-Петербург, 2011. 16 с.
5. Современные проблемы модификации природных и синтетических волокнистых и других полимерных материалов: теория и практика / под ред. А.П. Морыганова, Г.Е. Зикова. СПб.: Научные основы и технологии, 2012. 446 с.
6. Матюхин С.И., Фроленков К.Ю. Форма капель жидкости, помещенных на твердую горизонтальную поверхность // Конденсированные среды и межфазные границы. 2013. Т.15, № 3. С. 292 - 304.

#### PAPER AND NONWOVEN MATERIALS BASED ON CARBON FIBER AND FLUOROPLASTICS

E.P. Shirshova<sup>1\*</sup>, S.V. Arzamastsev<sup>2</sup>, O.V. Astashkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPbSUITD, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> SSTU, Saratov, Russia

E-mail: shep-a@mail.ru

A method for producing carbon-polymer composite materials based on carbon paper and/or non-woven material with modified fluoroplastics. The resulting composite materials, having high hydrophobicity and electrical conductivity, can be used in various electro-chemical processes, including in the cells of hydrogen fuel cells.

*Keywords: carbon paper, nonwoven fabric, fluoroplast, carbon polymer composite material, hydrophobicity, edge angle, porosity, electrical conductivity.*

#### References

1. Sal'nikova P. Yu., Lysenko V.A., Lysenko A.A. Sravnitel'naya ocenka tekhnologij i harakteristik poristyh provodyashchih kompozitov, ispol'zuemyh v vodorodnyh toplivnyh elementah. [Comparative assessment of technologies and characteristics of porous conductive composites used in hydrogen fuel cells]. *Uspekhi himii* [Russian Chemical Reviews], 2010, № 1, pp. 44-48. (In Russian).
2. Lysenko V.A. Gazodiffuzionnye podlozhki toplivnyh elementov. Promyshlennyj vypusk. [Gas-diffusion substrates of fuel cells. Industrial output]. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya*. [Desing. Materials. Technology.], 2008, № 4 (7), pp. 122-128. (In Russian).
3. Bojnovich L.B. Gidrofobnye materialy i pokrytiya: principy sozdaniya, svojstva i primenenie. [Hydrophobic materials and coatings: principles of creation, properties and application]. *Uspekhi himii* [Russian Chemical Reviews], 2008, vol. 77, № 7, pp. 619-638. (In Russian).

4. Mikhalchan A.A. *Razrabotka kompozitov na osnove polivinilidenftorida, napolnennogo uglerodnymi nanochasticami: avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk.* [Development of composites based on polyvinylidene fluoride filled with carbon nanoparticles: abstract of the dissertation]. St. Petersburg: SPbGUTD, 2011, 16 p. (In Russian).
5. *Sovremennye problemy modifikatsii prirodnykh i sinteticheskikh voloknistykh i drugih polimernykh materialov: teoriya i praktika* [Modern problems of modification of natural and synthetic fibrous and other polymer materials: theory and practice]. Ed.: A.P. Moryganova, G.E. Zikova, Spb.: Nauchnye osnovy i tekhnologii [Scientific foundations and technologies], 2012, 446 p. (In Russian).
6. Matyukhin S.I. Forma kapel' zhidkosti, pomeshchennykh na tverduyu gorizonta'lnuyu poverhnost' [The shape of liquid droplets placed on a solid horizontal surface]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granicy* [Condensed Matter and Interphases], 2013, vol. 15, № 3, pp. 292–304. (In Russian).

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТИ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЩЕЛОКОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД  
В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2019-2020 гг.**

А.И. Шишкин, М.С. Строганова\*, А.Ж. Адылова, Х.О. Барххуев  
*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*  
*E-mail: masha199407@list.ru*

В работе приведены результаты оценки эффективности биологической очистки щелокосодержащих сточных вод с учетом воздействия органической нагрузки на величину прироста активной биомассы за август 2019 – август-сентябрь 2020 гг. Решена задача определения доли активной биомассы, находящейся в хлопке активного ила, по показателям ХПК и взвешенным веществам на входе в очистные сооружения и на выходе очищенных сточных вод, ежесуточно в течение 30 дней, с целью уточнения зависимости показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы. Экспериментально определены константы скорости окисления биомассы активного ила при температурном режиме, соответствующем летне-осеннему периоду для оценки эффективности биологической очистки. Определены периоды с одинаковыми константами окисления биомассы активного ила.

*Ключевые слова: щелокосодержащие сточные воды, биологическая очистка биомасса активного ила, БПК, растворенный кислород.*

Целью исследования является оценка эффективности биологической очистки щелокосодержащих сточных вод за летне-осенний периоды 2019-2020 гг. с учетом показателей БПК, O<sub>2</sub> и концентрации активной биомассы.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- обработка и анализ показателей БПК<sub>5</sub>, O<sub>2</sub> и активной биомассы щелокосодержащих сточных вод для последующего исследования;
- расчет концентрации активной биомассы в аэротенке балансовым методом по показателям ХПК и взвешенных веществ до и после очистки и графическое отображение полученных результатов;
- оценка влияния органических соединений щелокосодержащих сточных вод на прирост активной биомассы в аэротенке.

Щелокосодержащие сточные воды образуются от варочных, промывных и очистных цехов. Чем меньше отбор щелоков при производстве, тем больше загрязнены сточные воды этого производства. Основной составляющей взвешенных веществ этих стоков является волокно. Волокно, как правило, содержится в небольших количествах 200–500 мг/л. Показатель рН щелокосодержащих стоков колеблется в диапазоне 4,5–6,0. Трудноокисляемую часть органических загрязнений данного стока составляют лигносульфонаты. Соотношение легкоокисляемой к трудноокисляемой части органики указывает на доминирование первой, БПК<sub>полн</sub> / ХПК много больше 0,5. Если производство имеет цеха по переработке щелоков, то в них по технологии используются биогенные соли, следовательно, в сточных водах содержатся азот и фосфор [1].

Цветность воды обусловлена присутствием сульфатного лигнина, причем, чем выше значение рН, тем выше цветность сточной воды. В сточных водах этого производства содержится до 40% сульфатного лигнина от общей массы органических загрязнений. Эти воды имеют специфический запах метил меркаптана и сероводорода. Легкоокисляемыми веществами сточных вод, которые характеризуются величиной БПК<sub>5</sub>, являются сахара, низкомолекулярные гемицеллюлозы, уксусная и муравьиная кислоты, метанол и т.д. [1].

Для проведения исследовательских работ предстояло получить исходные данные относительно концентрации загрязняющих веществ в сточной воде при разных стадиях очистки сточных вод. Благодаря сотрудничеству с целлюлозными заводами были получены результаты лабораторных исследований сточных вод за август 2019 года и август-сентябрь 2020 года. В число показателей входили такие значения, как БПК<sub>5</sub>, ХПК, концентрация взвешенных веществ, концентрация активного ила в аэротенке, температура. Данные по перечисленным показателям брались из аэротенка и на выходе сточных вод. Методами лабораторного анализа определены значения показателей растворенного кислорода, БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенные вещества в момент очистки сточных вод в аэротенке и во вторичных отстойниках в течение 30 суток.

Определение концентрации активного ила в хлопке во вторичном отстойнике проведено на основе показателей БПК<sub>5</sub>, ХПК и взвешенных веществ на входе в очистные сооружения и на выходе очищенных сточных вод из сооружений.

Состав хлопка активного ила состоит из дисперсных клеток:

- Биомасса – 30%;
- Внеклеточные биополимеры (биофлокулянты: полисахариды 60–80%, белки 10 – 15%, нуклеиновые кислоты РНК и ДНК – до 5 %);
- Взвешенные вещества (растворенные взвешенные вещества, кора, целлюлоза);
- Инертная масса (инвазивная фаза);
- Эндогенная масса (мертвые клетки, продукты автолиза);
- Продукты минерализации – высоконагруженный активный ил, представленный черными зернами, продуктами минерализации при окислении органических веществ, в составе которых не только С, Н, О, но и другие вещества, металлы, минеральные вещества. Свидетельством может служить бентос черного цвета [3].

Хлопок состоит из нескольких клонов – сотни видов клеток, внутри хлопка множество клонов (потомство клеток) – при перемешивании в аэротенке, если отключить перемешивание, то хлопья слипаются под воздействием микротурбулентной пульсации жидкости [3].

Организмы, живущие в хлопке – организмы-гетеротрофы, нитрификаторы, гнилостные бактерии (более 400 видов в активном иле). Средний размер хлопка активного в среднем составляет 50 – 70 микрон [2].

Расчет массовой доли биомассы, находящейся в хлопке активного ила, производится из концентрации взвешенных веществ (ила по сухому весу) из расчета содержания в одном хлопке активного ила 30% биомассы.

Концентрация активной (живой) биомассы в очищенной сточной воде (на выходе вторичных отстойников) производится по следующей формуле 1 [3]:

$$X_a = \frac{\Delta X_a}{\Delta X} \cdot V_{\text{вых}}, \text{ мг/л} \quad (1)$$

где  $\Delta X_a$  – прирост активной биомассы в системе биологической очистки, г/л,

$\Delta X$  – прирост активного ила в системе биологической очистки, г/л,

$V_{\text{вых}}$  – концентрация взвешенных веществ (активного ила) в сточной воде на выходе вторичных отстойников, мг/л.

Прирост активной биомассы в системе биологической очистки определяется как (2):

$$\Delta X_a = \frac{Y_0 \cdot \Delta S}{1 + v\tau_x}; \Delta X = \Delta X_a + \frac{Y_0 \cdot \Delta S + v\tau_x}{1 + v\tau_x} + V_{\text{вх}} \quad (2)$$

где  $Y_0 = 0,45$  г/г ХПК – истинный экономический коэффициент,

$f = 0,2$  – небиodeградируемая часть биомассы активного ила;

$\Delta S = \text{ХПК}_{\text{вх.ф}} - \text{ХПК}_{\text{вых.ф}}$ , г/л – удаление ХПК растворенных органических веществ в системе биологической очистки:

$\text{ХПК}_{\text{вх.ф}} = \text{ХПК}_{\text{вх}} - A_b V_{\text{вх}} = \text{ХПК}_{\text{вх}} - V_{\text{вх}}$ , где  $A_b = 1$  г ХПК/г – удельные ХПК взвешенных веществ сточной воды,

$\text{ХПК}_{\text{вых.ф}} = \text{ХПК}_{\text{вых}} - A_x V_{\text{вых}} = \text{ХПК}_{\text{вых}} - V_{\text{вых}}$ ,

где  $A_x = 1$  г ХПК/г – удельное ХПК активного ила,

$B_{\text{вх}}$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде на входе аэротенка, г/л,  
 $b = 0,17 \cdot 1,072 \cdot T - 15$ , сут<sup>-1</sup> – константа скорости самоокисления биомассы активного ила.

$\tau_x$  – возраст активного ила, считается выводом из системы уравнений 3 [3]:

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{X\tau}{\tau_x} \\ \Delta X = \frac{Y_0 \cdot \Delta S \cdot (1 + b\tau_x)}{1 + b\tau_x} + B_{\text{вх}} \end{cases} \quad (3)$$

где  $X$  – концентрация активного ила в аэротенке, г/л,

$\tau = V / Q$ , сут. – период аэрации,

$V$  – объем аэротенка, м<sup>3</sup>,

$Q$  – расход стоков, м<sup>3</sup>/сут.

В результате расчета были получены данные концентрации активной биомассы за период августа 2019 г. и август-сентябрь 2020 г. Среднемесячные значения показателей, участвующих в определении концентрации активной биомассы в аэротенке балансовым методом по показателям ХПК и взвешенных веществ до и после очистки (табл. 1).

Таблица 1 – Среднемесячные значения показателей для определения концентрации активной биомассы в аэротенке

Месяц	ХПК <sub>вх</sub> , мг/л	ХПК <sub>вых</sub> , мг/л	ВВ <sub>вх</sub> , мг/л	ВВ <sub>вых</sub> , мг/л	БПК <sub>5</sub> <sub>вых</sub> , мг/л	О <sub>2</sub> <sub>вых</sub> , мг/л	T, °C	b, сут <sup>-1</sup>
Август 2019	263	119,25	86	13,3	8,31	4,6	25	0,28
Август 2020	263	122	53,6	11,1	2,2	6,9	25	0,28
Сентябрь 2020	201	49	58,57	12,44	6,5	4,7	23	0,35

В таблице прослеживается изменение константы скорости самоокисления биомассы активного ила с учетом температурных характеристик, а также величин ХПК, взвешенных веществ на входе в очистные сооружения и на выходе очищенных сточных вод после вторичного отстойника.

В результате расчета концентрации активной биомассы в хлопьях активного ила были построены графики зависимости показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за различные периоды работы завода (рис. 1 – 3).

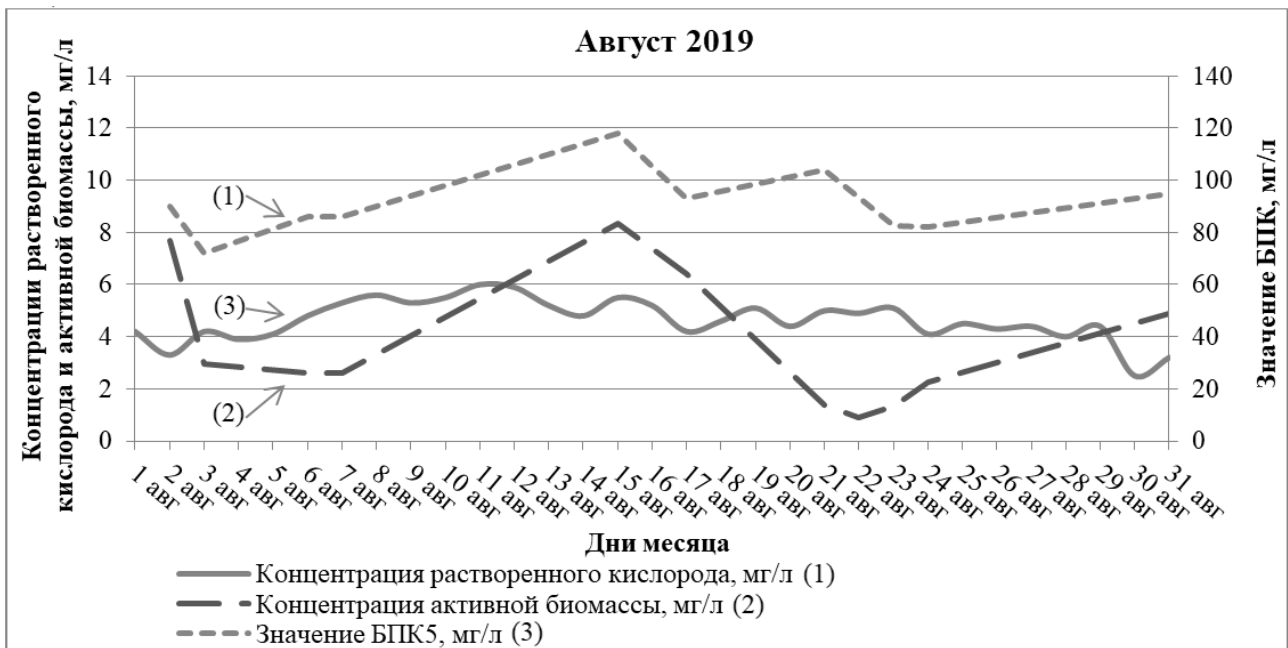


Рисунок 1 – Зависимость показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за август 2019

График зависимости показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за август 2019 года показывает линейную зависимость между БПК<sub>5</sub> и активной биомассой в аэротенке. В течение месяца наблюдается цикличность повышения и понижения концентрации активной биомассы и БПК<sub>5</sub>, к середине месяца концентрация увеличивается, а в начале и в конце уменьшается. Скачки происходят в интервале 6 мг/л для активной биомассы и 20 мг/л для БПК<sub>5</sub> (рис. 1).



Рисунок 2 – Зависимость показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за август 2020

График зависимости показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за август 2020 год показывает линейную зависимость между БПК<sub>5</sub> и активной биомассой в аэротенке. Наблюдается резкий скачок в 10 – 13 числа месяца, так активная биомасса возрастает почти в 6 раз, а БПК<sub>5</sub> с 50 до 100 мг/л (рис. 2).



Рисунок 3 – Зависимость показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и активной биомассы за сентябрь 2020

В сентябре 2020 года зависимость между БПК<sub>5</sub> и активной биомассой имеется, но не так выражена, как в предыдущем месяце. По схожему сценарию наблюдается скачок показателей активной биомассы и БПК<sub>5</sub> в середине месяца (рис. 3).

В процессе проведения исследовательских работ с целью оценки эффективности очистки щелочосодержащих сточных вод проведен комплекс исследований влияния БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенных веществ на прирост активной биомассы на входе в аэротенк и выходе из вторичных отстойников. Были оценены зависимости показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и микроорганизмов при биохимическом окислении органических соединений с учетом ряда изменений технологического процесса и стоков предприятия в течение 35 суток и проведена сравнительная оценка эффективности биологической очистки щелочосодержащих сточных вод в августе за 2019 – 2020 гг.

Величина показателя биомассы ежедневно изменяется с той же тенденцией, что и показатели БПК<sub>5</sub> и растворенный кислород, это указывает на линейную зависимость влияния органических соединений в исследуемых сточных водах на прирост активной биомассы [4 - 6].

### Заключение

В ходе работы проведен анализ влияния органических соединений щелочосодержащих сточных вод на прирост активной биомассы, необходимый для оценки эффективности систем биологической очистки. По показателям ХПК и взвешенные вещества на входе в очистные сооружения и на выходе очищенных сточных вод проведен расчет массовой доли биомассы, находящейся в хлопке активного ила за летне-осенний период 2019 – 2020 гг.

Экспериментально определены константы скорости окисления биомассы активного ила при температурном режиме, соответствующем летне-осеннему периоду для оценки эффективности биологической очистки. Определены периоды с одинаковыми константами окисления биомассы активного ила – в августе 2019 и 2020 г. среднее значение константы при одинаковой температуре соответствовало 0,28 сут<sup>-1</sup>, в сентябре 2020 г. – константа равна 0,35 сут<sup>-1</sup>, что указывает как на изменение метеорологических характеристик, так и на возможное изменение режима работы очистных сооружений.

Отмечены высокие значения показателей БПК<sub>5</sub>, ХПК, составляющие 5,5 мг/л и 97,3 мг/л в среднем соответственно на выходе очищенных сточных вод, при этом наблюдается превышение норматива ПДК<sub>рыбхоз</sub> в 2,75 раз по БПК<sub>5</sub> и в 6,5 раз по ХПК. Это



указывает на недостаточную биологическую очистку сточных вод, характеризующуюся показателями очистки в 45,3% по ХПК и 93% по БПК<sub>5</sub>.

Сформулированы причины, обуславливающие некачественную биологическую очистку сточных вод:

- Частая смена основного технологического процесса варки целлюлозы на разные марки целлюлозы – активный ил не успевает перестраиваться и подстраиваться под новый состав сточных вод, эффективность очистки ухудшается.
- В поступающих сточных водах содержится недостаточное количество азота и фосфора, необходимого для эффективного протекания биологической очистки.

На основе полученных и проанализированных данных предложены возможные решения данной проблемы:

1. Установка усреднителей для снижения процента органических веществ;
2. Интенсификация аэрации аэротенков и преаэраторов;
3. Увеличение объема аэротенка;
4. Доочистка сточных вод от взвешенных и микроорганизмов, где предполагается установка фильтров с плавающей загрузкой, отстойник-фильтр.

Данные мероприятия позволят снизить содержание ХПК и БПК<sub>5</sub> до предельно допустимых значений в водоеме с эффективностью очистки 98% по ранее проделанным исследованиям [7].

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

#### Список литературы

1. Дягилева А.Б., Лоренцсон А.В., Чернобережский Ю.М. Промышленная экология. СПб.: СПб ГТУ РП, 2012. Часть 2. 109 с.
2. Ломова М.А. Микробиология активных илов для очистки сточных вод целлюлозного производства. М., 1968. 53 с.
3. Наумов А.В. Николаев А.Н. Основы биологической очистки промстоков ЦБП. Л.: ЛТА, 1984. 79 с.
4. Николаев А.Н., Большаков Н.Ю. Модель биологической очистки городских сточных вод в системе аэротенк – вторичный отстойник // Вода и экология: проблемы и решения. 2001. №4. С. 27 – 34.
5. Николаев А.Н., Большаков Н.Ю. Моделирование систем биологической очистки сточных вод // Проблемы сбросов и выбросов загрязняющих веществ, размещение отходов. Тез. докл. X Российск. научн.-практ. конф. СПб.: Знание, 2001. С. 24 – 28.
6. Николаев А.Н., Большаков Н.Ю. Биологическая очистка городских сточных вод: математическая модель // Экология и промышленность России. 2001. С. 13 – 16.
7. Шишкин А.И., Строганова М.С., Антонов И.В., Адылова А.Ж. Повышение уровня экологичности целлюлозного природно-производственного комплекса для обеспечения норм допустимых сбросов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 208 – 232.

# ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ORGANIC COMPOUNDS OF ALKALINE-CONTAINING WASTEWATER ON THE GROWTH OF ACTIVE BIOMASS IN BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEMS

A.I. Shishkin, A.Zh. Adylova, M.S. Stroganova\*, Kh.O. Barkhkhuev  
*Higher school of technology and energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia*  
*E-mail: masha199407@list.ru*

The paper presents the results of evaluating the effectiveness of alkaline-containing wastewater biological treatment, taking into account the impact of organic load on the amount of active biomass growth in August 2019 and August-September 2020. The problem of determining the proportion of active biomass in activated sludge cotton by COD and suspended solids at the entrance to the treatment facilities and at the exit of treated wastewater, daily for 30 days, in order to clarify the dependence of the indicators of BOD<sub>5</sub>, dissolved oxygen and active biomass, is solved. The rate constants of activated sludge biomass oxidation at the temperature regime corresponding to the summer-autumn period were determined experimentally to evaluate the efficiency of biological treatment. Periods with the same oxidation constants of activated sludge biomass were determined.

*Keywords: alkaline-containing wastewater, biological treatment, activated sludge biomass, BOD, dissolved oxygen.*

## References

1. Dyagileva A.B., Lorentson A.V., Chernoberezhskij Yu.M. *Promyshlennaya ekologiya: [Industrial ecology]*. SPbSTUPP. SPb., 2012. Part 2. 109 p. (In Russian).
2. Lomova M.A. *Mikrobiologiya aktivnyh ilov dlya ochistki stochnyh vod cellyuloznogo proizvodstva [Microbiology of active silts for wastewater treatment of cellulose production]*. Moscow, 1968, 53 p. (In Russian).
3. Naumov A.V., Nikolaev A.N. *Osnovy biologicheskoy ochistki promstokov CBP [Fundamentals of biological cleaning of industrial PPI wastewaters]*. Leningrad: LTA, 1984, 79 p. (In Russian).
4. Nikolaev A.N., Bol'shakov N.Yu. Model' biologicheskoy ochistki gorodskih stochnyh vod v sisteme aerotenk-vtorichnyj otstojnik [Model of biological treatment of urban wastewater in the system of aeration tank-secondary sump]. *Water and ecology: problems and solutions*, 2001, №4, pp. 27-34. (In Russian).
5. Nikolaev A.N., Bol'shakov N.Yu. Modelirovanie sistem biologicheskoy ochistki stochnyh vod [Modeling of biological wastewater treatment systems]. *Problems of discharges and emissions of pollutants, waste placement*. St. Petersburg: Znanie, 2001, pp. 24-28.
6. Nikolaev A.N., Bol'shakov N.Yu. Biologicheskaya ochistka gorodskih stochnyh vod: matematicheskaya model' [Biological treatment of urban wastewater: a mathematical model]. *Ecology and industry of Russia*, 2001, pp. 13-16. (In Russian).
7. Shishkin A.I., Stroganova M.S., Antonov I.V., Adylova A.Zh. Povyshenie urovnya ekologichnosti cellyuloznogo prirodno-proizvodstvennogo kompleksa dlya obespecheniya norm dopustimyh sbrosov. [Increasing the level of environmental friendliness of the cellulose natural production complex to ensure the norms of permissible discharges]. *News of the St. Petersburg forestry Academy*, 2020 (232), pp. 208-232. (In Russian).

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ РАСПУШЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В.С. Антонова, И.И. Осовская\*, Г.К. Малиновская

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

*E-mail: iraosov@mail.ru*

Показана возможность получения распушенной целлюлозы из хвойных и лиственных пород древесины с использованием ферментативной обработки целлюлозы перед аэродинамическим способом разделения на волокна. Изучены свойства распушенной целлюлозы при расходе фермента BANZYME L90 0,15 г/кг целлюлозы и времени воздействия 10 мин. Распушенная целлюлоза имеет необходимые свойства для ее применения в качестве абсорбирующего слоя в санитарно-гигиенических изделиях разового использования.

*Ключевые слова: распушенная целлюлоза, фракционирование, ферментативная обработка, впитывающая способность, аэродинамический способ формования, санитарно-гигиенические изделия.*

В настоящее время в России быстрыми темпами растет производство изделий санитарно-гигиенического назначения, используемых в быту, в медицинских целях и для гигиены детей и взрослых.

Современной устойчивой тенденцией в здравоохранении является переход на материалы одноразового использования. Доля отечественных санитарно-гигиенических товаров на потребительском рынке России сегодня достаточно высока и постоянно увеличивается – это средства гигиены для новорожденных детей: детские подгузники, ватные палочки, пеленки, медицинские маски. Однако до сих пор сильные позиции на рынке занимают компании Procter&Gamble (США; бренды Tampax, Always), Celltex (Словакия; бренд Ola!), SCA HygieneProduct (Швеция; бренд Libresse), Bella-TZMO (Польша; бренд Bella), и др. компании. Тем не менее, продукция «исконных» российских предприятий, занимает на рынке существенную долю. Сегодня отличительной особенностью рынка России является рост предпочтений покупателей в сторону более высококачественных и, соответственно, дорогих детских санитарно-гигиенических изделий из распушенной целлюлозы. В США распушенную целлюлозу обычно получают из полностью отбеленной сульфатной целлюлозы из древесины южной сосны [1, 2]. На юго-западе США произрастает этот особый вид сосны с длинными волокнами, которая идет на производство флафф-целлюлозы. На симпозиуме ТЕХПРОМ-2018 [3] компания Georgia-Pacific, один из ведущих мировых производителей целлюлозы, предложила российскому рынку целлюлозу для производства гигиенических изделий. Ранее предполагалось, что будут снижены пошлины на распушенную целлюлозу, что позволило бы отечественным предприятиям снизить себестоимость продукции. Этого не произошло, поэтому для отказа от импортного сырья разработка технологии производства распушенной целлюлозы в России является на сегодняшний день актуальной задачей.

Можно отметить малое число публикаций, касающихся получению высококачественного распушенного материала для санитарно-гигиенических изделий разового использования. В основном имеются зарубежные патенты, например, [1, 2]. Известна российская публикация [4] получения целлюлозы из хвойных пород древесины, в частности, из лиственницы с разной степенью помола. Сравнительная оценка с американской флафф-целлюлозой показала хорошее качество по многим показателям целлюлозы, полученной из лиственницы. Авторы отмечают, что при дополнительной

обработке целлюлоза из древесины лиственницы может быть использована как распушенная целлюлоза.

К изделиям санитарно-гигиенического назначения в зависимости от вырабатываемого из нее ассортимента изделий и области их применения предъявляются ряд требований: прочность при растяжении в сухом и влажном состояниях, впитывающая способность, значение рН водной вытяжки. Основными потребительскими свойствами являются высокая впитывающая способность, мягкость, пухлость, относительно невысокая механическая прочность, достаточно низкая масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, рН водной вытяжки [5].

Целью исследования является получение распушенной целлюлозы из волокон лиственных и хвойных пород древесины аэродинамическим способом.

Объектом исследования служили промышленные образцы сульфатной беленой целлюлозы Архангельского ЦБК. Характеристика этих целлюлоз представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых целлюлоз

Вид целлюлозы	Содержание, масс. %			Зольность, %	Белизна, % ISO	рН водной вытяжки
	α-целлюлоза	Лигнин	Смолы и жиры			
Лиственничная	90,2	следы	0,2	0,4	89	7,0
Хвойная	88,9	следы	0,25	0,5	86	7,0

Дисперсный состав целлюлозных волокон определяли по ГОСТ 7500-85. Среднюю степень полимеризации (СП) определяли при 25°С вискозиметрическим методом, в качестве растворителя использовали железовиннонатриевый комплекс. Впитывающую способность распушенного слоя определяли по ГОСТ Р 52557-2011. Капиллярную впитываемость определяли по ГОСТ 12602-93. Механические испытания полученных отливок определяли по стандартным методикам [6].

Роспуск целлюлозы на отдельные волокна осуществляли в лабораторном диспергаторе типа молотковой мельницы [7-9] с последующим осаждением образовавшейся аэрозвеси на формирующую сетку в виде распушенного слоя, который далее подвергали последовательно мокрому и сухому прессованию на вальцевом прессе и сушке при температуре 105°С до постоянной влажности 5%.

Для сохранения целостности волокна при диспергировании в воздушном потоке на отдельные волокна в работе до диспергирования использована ферментативная обработка целлюлозы. В качестве фермента использовали BANZYME L90 (OY Vanmark AB, Финляндия), хорошо зарекомендовавший себя при традиционной технологии размола [4, 10]. Ферментный препарат был разбавлен в 100 раз. Обработку проводили при температуре 50°С, времени воздействия 10 мин, с расходом фермента 0,05-0,2 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы. После обработки целлюлозу подсушивали до влажности 45%.

Влияние ферментативной предобработки на целостность целлюлозного волокна контролировали по изменению фракционного состава волокон и измерению степени полимеризации целлюлозы. На рис. 1, 2 показано влияние расхода фермента на степень полимеризации целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины. Как видно из рис. 1, 2 при расходе фермента менее 0,15 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы изменение степени полимеризации незначительно. В этом случае значения СП меняются практически в пределах погрешности, которая составляет 5%. Увеличение расхода фермента больше 0,15 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы приводит к деструкции целлюлозы и значительному снижению СП в зависимости от времени обработки ферментом. Как видно из этих рисунков ферментативный гидролиз начинается при расходе фермента 0,15 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы и времени воздействия 10 мин. Эти параметры и были использованы в работе и рассматривалось их влияние на свойства распушенной целлюлозы. Потери волокна при ферментативной предобработке в оптимальных условиях составили 0,5%. Потери волокна при диспергировании целлюлозы, обработанной ферментом в оптимальных условиях,

составило 3,7% для лиственной и 4,5% для хвойной, для необработанной – 13% для лиственной и 15% для хвойной.

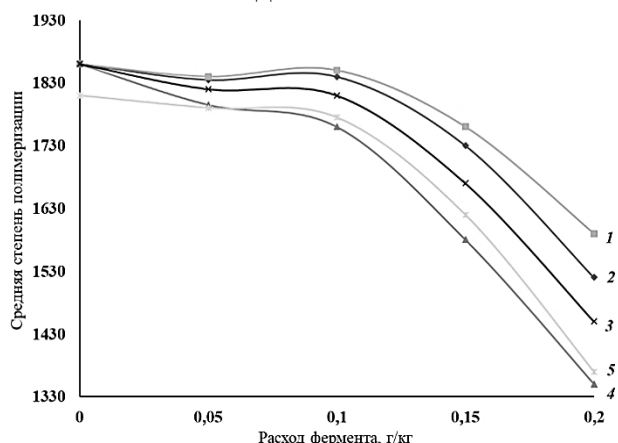


Рисунок 1 – Зависимость средней СП хвойной целлюлозы от расхода фермента:  
1 – необработанная целлюлоза до диспергирования, 2, 3, 4 – целлюлоза до диспергирования (время обработки – 5, 10, 15 мин. соответственно), 5 – целлюлоза после диспергирования (время обработки – 10 мин.)

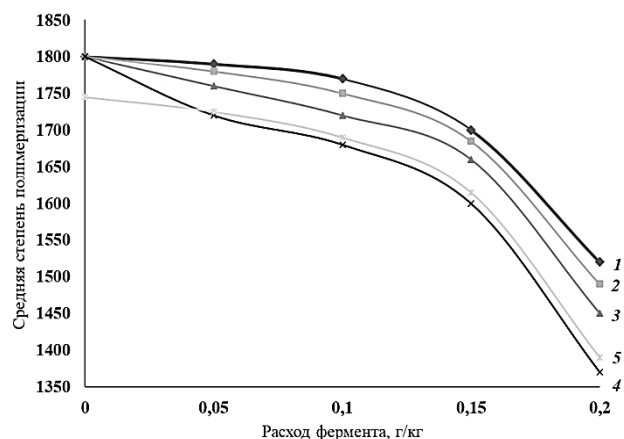


Рисунок 2 – Зависимость средней СП лиственной целлюлозы от расхода фермента:  
1 – необработанная целлюлоза до диспергирования, 2, 3, 4 – целлюлоза до диспергирования (время обработки – 5, 10, 15 мин. соответственно), 5 – целлюлоза после диспергирования (время обработки – 10 мин.)

Роспуск целлюлозы на волокна, обработанной ферментом при оптимальных условиях предобработки, происходит за 7,3 с для лиственной и 8,8 с для хвойной (рис. 3). Сокращение времени диспергирования целлюлозы, обработанной ферментом, почти в 2 раза позволяет сохранить влажность обработанной целлюлозы на уровне 32,5% для лиственной целлюлозы, 30,7% для хвойной (рис. 4) и обеспечить целостность волокна.

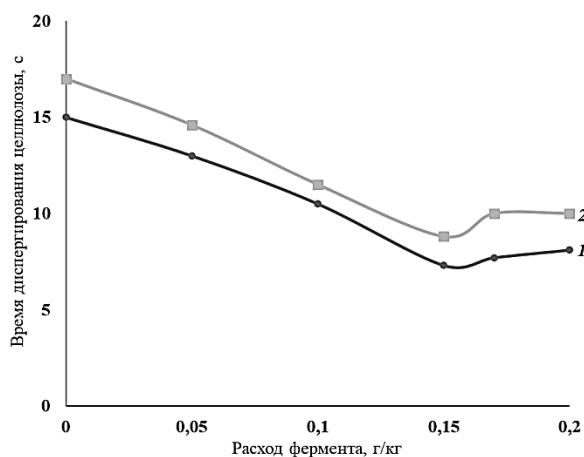


Рисунок 3 – Зависимость времени диспергирования целлюлозы от расхода фермента: 1 – лиственная целлюлоза, 2 – хвойная целлюлоза

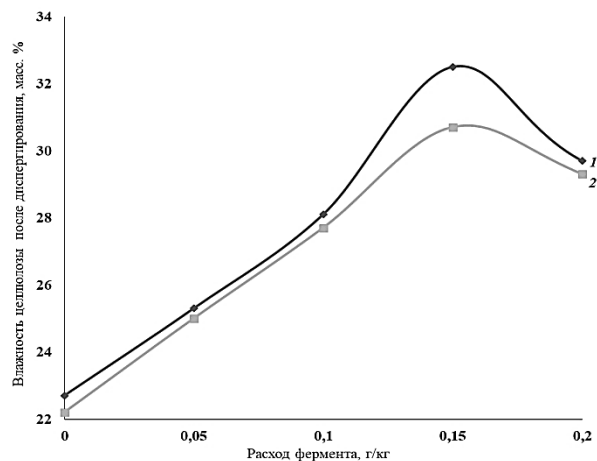


Рисунок 4 – Влияние расхода фермента на влажность целлюлозы после диспергирования: 1 – лиственная целлюлоза, 2 – хвойная целлюлоза

Результаты определения фракционного состава распущенной целлюлозы показали, что без обработки ферментом фракция распущенной лиственной целлюлозы содержит 62% волокон с длиной 0,8-1,4 мм, а хвойной с длиной 1,7-2,5 мм – 75%. При оптимальном расходе фермента фракция распущенной лиственной целлюлозы содержит 70% волокон с длиной 0,8-1,4 мм, а хвойной с длиной 1,7-2,5 мм – 58%.

В таблице 2 представлены результаты измерений свойств распущенной целлюлозы из лиственных и хвойных пород древесины и опытных отливок.

Таблица 2 – Свойства распушенной целлюлозы из лиственных и хвойных пород древесины и опытных отливок

Показатели	Лиственная целлюлоза		Хвойная целлюлоза	
	До обработки ферментом	Обработанная ферментом при оптимальных условиях	До обработки ферментом	Обработанная ферментом при оптимальных условиях
Впитывающая способность распушенной целлюлозы, г	4,1	4,5	3,6	3,9
Капиллярная впитываемость опытной отливки, мм	24,6	29,0	21,1	25,0
Разрывная длина опытной отливки, м	980	1590	1020	1753
рН водной вытяжки	7,0	6,0	7,0	6,0

Как видно из таблицы 2, распушенная целлюлоза имеет необходимую впитывающую способность, капиллярную впитываемость, прочность, нейтральный рН водной вытяжки (ГОСТ Р 52354-2005). Распушенная целлюлоза не имела запаха и посторонних примесей, что обеспечивает возможность ее использования для получения санитарно-гигиенических изделий разового использования (подгузников и медицинских масок). Наиболее эффективные тканевые маски, по мнению авторов работы [11], должны иметь наружный слой из неабсорбирующего материала, не впитывающего жидкости, средний полипропиленовый слой и внутренний слой из абсорбирующего материала, например, из распушенной целлюлозы.

В работе проведено исследование совместного последовательного воздействия на целлюлозу разбавленным раствором серной кислоты и ферментом и дана сравнительная оценка эффективности этого воздействия.

Выявлены оптимальные условия ферментативной предобработки для направленного изменения физико-химических свойств целлюлозных волокон из лиственных и хвойных пород древесины при диспергировании в воздушном потоке, что позволяет обеспечить сохранение волокнистой структуры и целостность целлюлозных волокон.

#### Список литературы

1. Пат. 2641136 РФ. МПК D21H 21/22, D21H 17/37, D21H 17/36, D21H 11/00. Распушенная целлюлоза и сердцевина с высоким содержанием САП / Дж.Е. Сили, Б.А. Филдс, П.М. Фроасс; патентообладатель: Интернэшнл Пэйпа Кампани. Заявлено 12.08.2013; опубл. 16.01.2018. Бюл. № 2.
2. Пат. 2019169799 США. МПК D21H 11/04, D21H 11/20, D21H 15/02, D21H 25/00, D21H 27/00, D21H 27/02. Low coarseness southern softwood pulps / Neogi Amar N., West Hugh, Heineman JR Richard W.; патентообладатель: INT PAPER CO. Заявлено 20.02.2015; опубл. 06.06.2019.
3. ТЕХПРОМА-2018: как оборудовать производство гигиенических изделий // Сырье и упаковка: Бизнес-портал косметической промышленности и индустрии чистоты. Тематический спецвыпуск 2018. URL: <https://cosmetic-industry.com/tehproma-2018-kak-oborudovat-proizvodstvo-gigienicheskikh-izdelij.html> (дата обращения: 25.11.2020).
4. Аким Э.Л., Абрамов И.Н., Коваленко М.В., Сазонова Н.А. Размол как путь направленного изменения физико-механических свойств композиционных материалов на основе целлюлозы из лиственницы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. №6. С. 38-44.

5. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. СПб.: Политехника, 2006. 499 с.
6. Дубовый В.К., Гурьев А.В., Казаков Я.В., Комаров В.И., Коновалова Г.Н., Смолин А.С., Хованский В.В. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 230 с.
7. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб.: СПбГТУРП. 2011. 56 с.
8. Малиновская Г.К., Литвинова Л.В., Дробосюк В.М. Изготовление упаковочной бумаги методом аэродинамического формования // Тара и упаковка. 2011. №1. С. 35-39.
9. Пат. 2100508 РФ. МПК D21H 27/00, D21H 27/10, D21F 11/00, D21B 1/00. Способ аэродинамического изготовления картона и писчей или печатной бумаги / О.А. Терентьев, В.М. Дробосюк; патентообладатель: СПбГТУРП. Заявлено 08.12.1994; опубл. 27.12.1997.
10. Спасенников М.Н., Житнюк В.А., Шипигусев А.А., Былинцева Г.Ф., Белкина Е.В. Инновационный подход к использованию энзимов при производстве целлюлозы высокого выхода // Материалы III Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологии в ЦБП». Пермь, 2015. С. 33-37.
11. Gandhi M., Beyrer C., Goosby E. Maska do more than protect other during COVID-19: Reducing the inoculums of SARS-CoV-2 to protect the Wearer // J GEN INTERN MED 35. 2020. Pp. 3063-3066. DOI:10.1007/s11606-020-06067-8.

## **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING FLUFF PULP FOR OBTAINING SANITARY AND HYGIENIC PRODUCTS FOR SPECIAL PURPOSES**

V.S. Antonova, I.I. Osovskaya\*, G.K. Malinovskaya

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

*E-mail: iraosov@mail.ru*

The possibility of obtaining fluff cellulose from coniferous and deciduous wood species using enzymatic treatment of cellulose before the aerodynamic method of separation into fibers is shown. The properties of fluffed cellulose were studied at a consumption of the enzyme BANZYME L90 of 0.15 g / kg of cellulose and an exposure time of 10 minutes. Fluffed cellulose has the necessary properties for its use as an absorbent layer in sanitary and hygienic products of single use.

*Keywords: fluff pulp, fractionation, enzymatic treatment, absorbency, aerodynamic molding method, single-use sanitary products.*

### **References**

1. Seeley James E., Fields Brand A., Fraas Peter M. *Raspushennaya cellyuloza i serdcevina s vysokim sodержaniem SAP* [Fluff pulp and the core with a high content of SAP]. Patent RF no. 2641136, 2018. (In Russian).
2. Neogi Amar N., West Hugh, Heineman JR Richard W. *Low coarseness southern softwood pulps*. Patent US no. 2019169799, 2019.
3. TECHPROM-2018: how to equip the production of hygiene products. *Raw materials and packaging: A business portal for the cosmetics industry and the cleanliness industry. Thematic special issue 2018*. URL: <https://cosmetic-industry.com/tehproma-2018-kak-oborudovat-proizvodstvo-gigienicheskikh-izdelij.html> (accessed 25.11.2020). (In Russian).
4. Akim E.L., Abramov I.N., Kovalenko M.V., Sazonova N.A. Razmol kak put' napravlennogo izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh svojstv kompozicionnykh materialov na osnove cellyulozy iz listvennicy [Beating as a way of directed change of physical and mechanical properties of

- composite materials based on larch cellulose]. *Cellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2012, no. 6, pp. 38 – 44. (In Russian).
5. *Tekhnologiya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 t. T II. Proizvodstvo bumagi i kartona. CH. 2. Osnovnye vidy i svojstva bumagi, kartona, fibry i drevesnyh plit* [Technology of pulp and paper production. In 3 vol. Vol. II: Production of paper and cardboard. Part 2. Main types and properties of paper, cardboard, fiber and wood boards]. SPb.: Politekhnik, 2006, 499 p. (In Russian).
  6. Dubovj V.K., Gur'ev A.V., Kazakov Ya.V., Komarov V.I., Konovalova G.N., Smolin A.S., Hovanskij V.V. *Laboratornyj praktikum po tekhnologii bumagi i kartona: ucheb. posobie* [Laboratory workshop on the technology of paper and paperboard]. SPb: Izd-vo Politekhn. unta, 2006, 230 p. (In Russian).
  7. Drobosyuk V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya bumagi aerodinamicheskim sposobom* [Technology of paper production in an aerodynamic way]. SPb: SPbGTURP, 2011, 56 p. (In Russian).
  8. Malinovskaya G.K., Litvinova L.V., Drobosyuk V.M. *Izgotovlenie upakovchoj bumagi metodom aerodinamicheskogo formovaniya* [Production of packaging paper by aerodynamic molding]. *Tara i upakovka* [Tare and packaging], 2011, no. 1, pp. 35 – 39. (In Russian).
  9. Terent'ev O.A., Drobosyuk V.M. *Sposob aerodinamicheskogo izgotovleniya kartona i pischej ili pechatnoj bumagi* [Method of aerodynamic production of cardboard and writing or printing paper]. Patent RF no. 2100508, 1997. (In Russian).
  10. Spasennikov M.N., Zhitnyuk V.A., Shipigusev A.A., Bylinceva G.F., Belkina E.V. *Innovacionnyj podhod k ispol'zovaniyu enzimov pri proizvodstve cellyulozy vysokogo vyhoda* [Innovative approach to the use of enzymes in the production of high-yield cellulose]. *Materialy III Vserossijskoj otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologii v TSBP»* [Proceedings of the III All-russian industry scientific and practical conference «Prospects for the development of engineering and technology in the pulp and paper industry»], 2015, pp. 33 – 37. (In Russian).
  11. Gandhi M., Beyrer C., Goosby E. *Maska do more tnan protects other during COVID-19: Reducing the inoculums of SARS-CoV-2 to protect the Wearer. J. GEN INTERN MED, 2020 (35), pp. 3063-3066. DOI:10.1007/s11606-020-06067-8.*



## ПРИМЕНЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПРИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ФОРМОВАНИИ БУМАГИ

В.А. Гаваза<sup>1\*</sup>, Г.К. Малиновская<sup>1</sup>, Е.Г. Смирнова<sup>1</sup>, А.К. Хрипунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург

E-mail: valeriaborokova@yandex.ru

В настоящее время растет интерес к изучению и использованию бактериальной целлюлозы в разных областях промышленности.

Целью исследования являлось повышение прочности бумаги при аэродинамическом способе формования, а также замена химических связующих веществ в композиции бумаги на природные наноконпоненты.

Наносуспензию бактериальной целлюлозы с концентрацией 0,1% наносили на поверхность сформованного аэродинамическим способом волокнистого слоя с одной стороны с использованием антиадгезионного материала.

Проведены механические испытания образцов бумаги из не размолотых волокон хвойной целлюлозы.

Установлено, что применение в композиции бумаги бактериальной целлюлозы в количестве 0,3–1,4% от массы волокна способствует повышению показателей механической прочности бумаги. Разрывное усилие увеличилось в 1,5 раза, сопротивление излому – более чем в 6 раз по сравнению с необработанными образцами бумаги.

Полученные данные будут использованы при разработке реставрационных видов бумаги с повышенной износостойкостью и апробированы в процессе реставрации ветхих листов документов методом аэродинамического формования.

*Ключевые слова:* бактериальная целлюлоза, аэродинамическое формование бумаги, разрывная длина, капиллярная впитываемость.

В настоящее время растет интерес к изучению и использованию бактериальной целлюлозы в связи с тем, что она обладает уникальными структурными и механическими свойствами и является высокочистым продуктом из-за отсутствия лигнина и гемицеллюлоз, по сравнению с растительной целлюлозой [1-2]. Бактериальную целлюлозу используют в медицинской практике и пищевой промышленности, при производстве термостойкой бумаги и в реставрационных работах по сохранению исторических документов и рукописей [3- 6]. Несмотря на сложность получения бактериальной целлюлозы проводятся исследования по применению бактериальной целлюлозы в целлюлозно-бумажной промышленности.

Бактериальная целлюлоза характеризуется наличием тончайших микрофибрилл, обладает высокой пористостью и сорбционной способностью и имеет высокую механическую прочность. Авторы [7] отмечают замедление обезвоживания бумажной массы при введении незначительных количеств бактериальной целлюлозы при мокром отливе.

При аэродинамическом формовании бумаги (АДФ) используется ограниченное количество воды, так как целлюлозные волокна осаждаются на формирующей сетке из потока воздуха при сохранении влажности сформованного слоя на уровне 30% [8]. Дополнительное увлажнение сформованного слоя до влажности 70% обеспечивает возможность образования межволоконных связей без введения упрочняющих добавок. Однако с целью повышения механической прочности бумаги, как и в традиционном способе формования бумаги, применяют растворы связующих веществ, такие как катионный крахмал или натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы.

Целью исследования являлось изучение влияния добавок бактериальной целлюлозы на повышение прочности бумаги при аэродинамическом способе формования, а также

замена химических связующих веществ в композиции бумаги на природные наноконпоненты.

В работе использовалась бактериальная целлюлоза, синтезированная штаммом бактерий *Komagataeibacter xylinus* B-13015 Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов. Бактериальная целлюлоза предоставлена лабораторией Института высокомолекулярных соединений РАН в виде наносuspензии бактериальной целлюлозы. Нано-гель пленка бактериальной целлюлозы после биосинтеза очищалась от питательной среды многократным кипячением в 0,5% водном растворе NaOH и промывалась дистиллированной водой до нейтральной реакции. Нано-гель пленку размалывали в дезинтеграторе при 15000 об/мин в течение 10 мин. Наносuspензию бактериальной целлюлозы разбавляли до концентрации 0,1%.

На рис. 1 представлена схема лабораторной установки периодического действия для формирования образцов бумаги аэродинамическим способом.

В качестве полуфабрикатов для получения бумаги аэродинамического формирования применяли листовую сульфатную хвойную беленую целлюлозу марки ХБ-1 (Россия, Архангельский ЦБК). Масса образца бумаги составляла 130 г/м<sup>2</sup>.

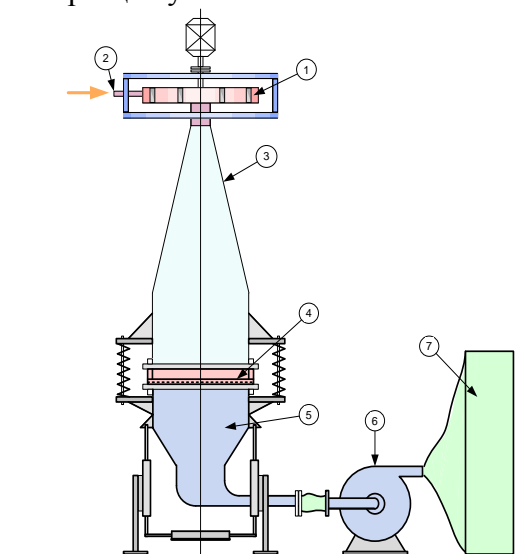


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки получения образцов бумаги методом аэродинамического формирования: 1 – диспергатор; 2 – канал подачи волокнистого материала; 3 – формующая шахта; 4 – выдвижная рамка со съемной сеткой; 5 – воздухоотборный патрубок; 6 – воздухоотборный вентилятор; 7 – фильтр

Введение наносuspензии бактериальной целлюлозы проводили на поверхность сформованного образца бумаги, имеющего плотность 25 кг/м<sup>3</sup>. Для нанесения суспензии бактериальной целлюлозы использовали антиадгезионный материал - парафил (Parafil RT-30), который плотно прилегал к водонасыщенному сукну (рис. 2). На парафил наносили слой наносuspензии бактериальной целлюлозы. Слой суспензии равномерно распределяли по поверхности парафила. Количество нанесенной на парафил бактериальной целлюлозы дозировали в диапазоне 0,3–1,5 % от массы сформованного образца бумаги [9].

Способ обработки волокнистого слоя бактериальной целлюлозой схематически представлен на рис. 2, 3.

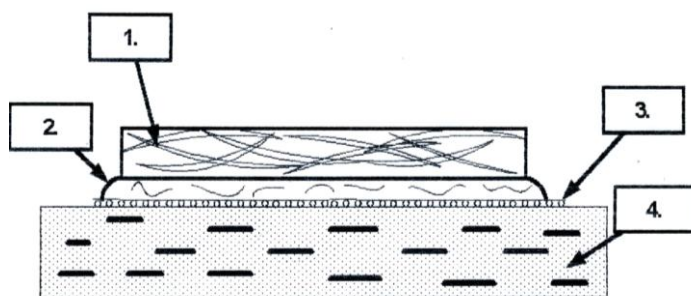


Рисунок 2 – Первая операция нанесения слоя бактериальной целлюлозы:  
 1 – волокнистый слой аэроформования; 2 – слой водной суспензии БЦ;  
 3 – антиадгезионный материал (парафил); 4 – сукно, насыщенное водой

На водонасыщенное сукно накладывали антиадгезионный материал, на него наносили слой водной суспензии бактериальной целлюлозы. При концентрации 0,05-0,1% слой суспензии бактериальной целлюлозы практически не растекалась. Вода из суспензии бактериальной целлюлозы, благодаря присутствию под антиадгезионным материалом водонасыщенного сукна, не отфильтровывалась и, соответственно, слой бактериальной целлюлозы не сгушался. На слой водной суспензии бактериальной целлюлозы укладывали сформованный волокнистый слой (1).

На рис. 3 представлена схема следующей операции. На волокнистый слой помещали сухое сукно (5) и всю «композицию» подавали в вальцовый пресс (6) для механического отжима воды при линейном давлении 20 кг/см. В прессе осуществляли вертикальный отбор воды из верхнего водонасыщенного сукна в сухое нижнее сукно, исключая разрыв волокнистого слоя. Отжимаемая из сукна вода переносила суспензию бактериальной целлюлозы на поверхность волокнистого слоя.

С образца бумаги снимали парафил и влажные сукна, образец прессовали в сухих прессовых сукнах при линейном давлении 120 кг/см и сушили на горке при 100° С.

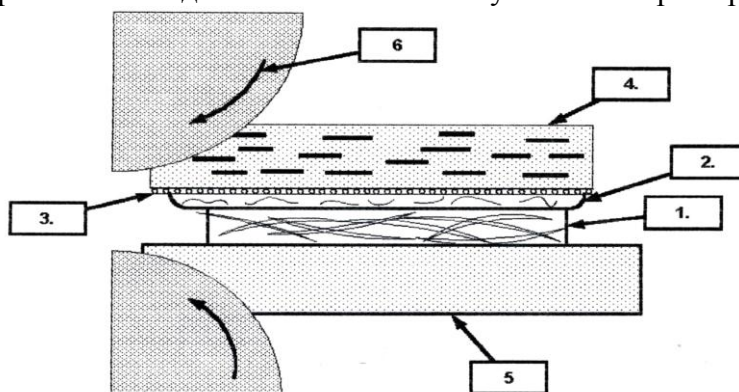


Рисунок 3 – Схема увлажнения в вальцовом прессе: 1 – волокнистый слой аэроформования; 2 – слой водной суспензии бактериальной целлюлозы; 3 – антиадгезионный материал (парафил); 4 – сукно, насыщенное водой; 5 – сухое сукно; 6 – вальцовый пресс

Проведены механические испытания образцов бумаги из неразмолотых волокон хвойной целлюлозы с поверхностным покрытием наносуспензией бактериальной целлюлозы.

Результаты испытаний образцов бумаги в зависимости от количества введенной бактериальной целлюлозы на поверхность волокнистого слоя представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы показал, что применение в композиции бумаги бактериальной целлюлозы в количестве 0,3 – 1,2% от массы волокна способствует повышению показателей механической прочности бумаги: разрывная длина образцов бумаги из хвойной целлюлозы увеличилось в 1,5 раза, сопротивление излому – более чем в 7 раз по сравнению с необработанными образцами бумаги.

Снижение значений капиллярной впитываемости бумаги коррелирует с данными по увеличению разрушающего усилия образцов.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов бумаги

№ п/п	Содержание БЦ в образце, %	Разрушающее усилие, Н	Разрывная длина, м	Сопротивление излому, число двойных перегибов	Капиллярная впитываемость, мм
1	0	22,0	1050	6	122
2	0,3	24,1	1200	12	114
3	0,6	26,8	1300	18	106
4	0,9	30,1	1500	24	102
5	1,2	30,5	1600	47	93

Выводы:

1. Проведена поверхностная обработка суспензией бактериальной целлюлозы волокнистого слоя, сформованного аэродинамическим способом.
2. Показано, что суспензия бактериальной целлюлозы может быть использована как связующее вещество: наблюдается повышение значений разрушающего усилия и сопротивления излому образцов бумаги.
3. Полученные данные будут апробированы в процессе реставрации ветхих листов документов методом аэродинамического формования.

#### Список литературы

1. Zhijiang C., Jaehwan K. Bacterial Cellulose / poly (ethylene glycol) composite characterization and evaluation of biocompatibility // Cellulose, 2010. vol. 17. Pp. 83-91.
2. Keshk SMAS. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications // J. Bioprocess Biotech, 2014. Vol. 4. No. 2.
3. Surma-Slusarska B., Presler S., Danielewicz D. Characteristics of Bacterial Cellulose Obtained from Acetobacter Culture for Application in Papermaking // FIBES & TEXTILES in Eastern Europe, 2008. Vol. 16. No. 4 (69). Pp. 108-111.
4. Пат. 2415221 Н.М. Журавлева, Б.И. Сажин, Е.Г. Смирнова, А.К. Хрипунов, А.А. Ткаченко, опубл. 27.03.2011, Бюл. № 9.
5. Резник А.С. Повышение термостабильности компонентов высоковольтной бумажно-пропитанной изоляции путем структурной модификации целлюлозной бумаги: дис.... к.т.н. СПб., 2017. 212 с.
6. Смирнова Е.Г. Повышение устойчивости бумаги к старению формированием ее композиционного состава: дис. д.т.н. СПб., 2014. 311 с.
7. Смирнова Е.Г., Лоцманова Е.М. Применение бактериальной целлюлозы в композиции бумажной массы для механизированной реставрации старинных документов // Вестник СПГУПТД. 2019. № 2. С. 83-88.
8. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб.: СПбГТУРП, 2011. 56 с.
9. Заявка на изобретение № 2020124464 от 14.07.2020. Способ получения бумаги аэродинамического формования / Смирнова Е.Г., Малиновская Г.К., Хрипунов А.К., Мигунова А.В. СПб.: СПбГУПТД.

## APPLICATION OF BACTERIAL CELLULOSE FOR AERODYNAMIC PAPER FORMING

V.A. Gavaza<sup>1\*</sup>, G.K. Malinovskaya<sup>1</sup>, E.G. Smirnova<sup>1</sup>, A.K. Khripunov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Macromolecular Compounds RAS, St. Petersburg, Russia

E-mail: [valeriaborokova@yandex.ru](mailto:valeriaborokova@yandex.ru)

At present, there is a growing interest in the study and use of bacterial cellulose in various fields of industry. The aim of the study was to increase the strength of paper in the aerodynamic method of forming, as well as to replace chemical binders in the paper composition with natural nanocomponents. A nanosuspension of bacterial cellulose with a concentration of 0.1% was applied to the surface of the airlaid fibrous layer on one side using an anti-adhesive material. Mechanical tests of paper samples made of unmilled softwood cellulose fibers were carried out. It has been established that the use of bacterial cellulose in the paper composition in the amount of 0.3 - 1.4% of the fiber weight increases the mechanical strength of the paper. Breaking force increased 1.5 times, fracture resistance - more than 6 times compared to untreated paper samples. The data obtained will be used in the development of restoration types of paper with increased wear resistance and tested in the process of restoration of worn sheets of documents using the method of aerodynamic molding.

*Keywords: bacterial cellulose, aerodynamic paper forming, breaking length, capillary absorbency.*

### References

1. Zhijiang C., Jaehwan K. Bacterial Cellulose / poly (ethylene glycol) composite characterization and evaluation of biocompatibility. *Cellulose*, 2010, vol. 17, pp. 83-91.
2. Keshk SMAS. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications. *J. Bioprocess Biotech*, 2014, vol. 4, no. 2.
3. Surma-Slusarska B., Presler S., Danielewicz D. Characteristics of Bacterial Cellulose Obtained from Acetobacter Culture for Application in Papermaking. *FIBES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2008, vol. 16, no. 4 (69), pp. 108-111.
4. Zhuravleva N.M., Sazhin B.I., Smirnova E.G., Khripunov A.K., Tkachenko A.A. Patent RF no. 2415221, 2011. (In Russian).
5. Reznik A.S. *Increase of thermal stability of components of high-voltage paper-impregnated insulation by structural modification of cellulose paper*: dis. Ph.D. SPb, 2017. 212 p. (In Russian).
6. Smirnova E.G. *Increasing the resistance of paper to aging by the formation of its composition*: dis. Doctor of Technical Sciences. SPb, 2014, 311 p. (In Russian).
7. Smirnova E.G., Lotsmanova E.M. The use of bacterial cellulose in the composition of paper pulp for mechanized restoration of old documents. *Vestnik SPGUTD*, 2019, no. 2, p. 83-88. (In Russian).
8. Drobosyuk V.M. *The technology of paper making by the aerodynamic method*. SPb: SPbGTURP, 2011, 56 p. (In Russian).
9. Smirnova E.G., Malinovskaya G.K., Khripunov A.K., Migunova A.V. *A method for producing air-formed paper*. Application no. 2020124464, 2020. (In Russian).

## ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

В.В. Марценюк\*, А.А. Лысенко, Я.В. Костюхина, И.А. Кулик

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
Санкт-Петербург*

*E-mail: vadim.martsenyuk@yandex.ru*

На основе термопластичных волокнообразующих полимеров (полиакрилонитрил, поливинилиденфторид, полиоксидаiazол) получены пленочные нанокомпозиты. В качестве наполнителей использовали: углеродные нанотрубки и технический углерод. Термические свойства и их изменение исследовали методом дериватографии и дифференциально-сканирующей калориметрии. Установлено, что введение углеродных нанотрубок в количестве 0,1 масс. % в полиакрилонитрил приводит к повышению термической устойчивости композита. Начало термодеструкции полиоксидаiazольных пленок, содержащих 7,5 масс. % технического углерода снижается. Показано, что наполнение поливинилиденфторидных пленок углеродными нанотрубками (2 масс. %) позволяет повысить температуру начала их разложения и температуру полного сгорания образца в большей степени относительно пленок с техническим углеродом при таком же содержании углеродных частиц.

*Ключевые слова: термические свойства, пленочные композиты, дериватография, дифференциально-сканирующая калориметрия, полиакрилонитрил, поливинилиденфторид, полиоксидаiazол, технический углерод, углеродные нанотрубки.*

Полимерные материалы (ПМ) и получаемые на их основе полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят применение в большом количестве областей науки и техники [1], медицины [2], строительства [3] и т.д. Как известно [4], существует множество классификаций ПКМ, и одной из них является классификация по типу наполнителя, исходя из которой ПКМ можно разделить на непрерывно-наполненные и дисперсно-наполненные композиты. Первые, в свою очередь, чаще всего применяются в качестве армирующих материалов или в тех случаях, когда необходимо добиться анизотропии свойств, например, прочностных. Дисперсно-наполненные композиты позволяют за счет выбора конкретного типа (вида) наполнителя повысить, например, термостойкость или снизить, например, электрическое сопротивление, придать необходимые и уникальные свойства.

Возможность целенаправленно варьировать свойства ПКМ позволяет создавать не только композиты с заданными характеристиками, но и расширить области использования таких материалов. Благодаря направленному регулированию термических свойств и связанных с ними превращений можно не только повысить термостойкость и увеличить температурный интервал эксплуатации ПМ [5], но и получить новые материалы, например, с пониженной горючестью, то есть с повышенным кислородным индексом [6].

Исследование и изучение термических свойств ПКМ, наполненных различными микро- и наночастицами, представляет собой сложный и трудоемкий процесс. По-видимому, поэтому до сих пор не сформировалось единого мнения и видения того, как углеродные и иные наноразмерные частицы влияют на термические и теплофизические свойства полимерных композитов. Вместе с тем довольно сложно обобщить и систематизировать имеющиеся литературные данные исследователей, так как полученные результаты иногда носят противоречивый характер. В связи с вышесказанным, авторы данной работы ставят перед собой цель исследовать термические свойства пленочных материалов из

волоконобразующих полимеров и композитов на их основе, содержащих углеродные нанодисперсии в строго идентичных условиях.

Методом полива были получены пленочные нанокompозиты на основе волоконобразующих полимеров и углеродных дисперсий. Выбор пленочных материалов в качестве объектов исследования целесообразен не только потому, что получать такие материалы достаточно просто, но и в том плане, что отработка режимов получения наполненных волокон-композитов всегда осуществляется в первую очередь на модельных образцах, которые представляют собой ни что иное как пленочные композиты. Выбранные в качестве объектов исследования полимеры растворяются в доступных растворителях (табл. 1) с образованием устойчивых растворов, которые не претерпевают превращений и изменений под действием ультразвука или повышенной температуры (до 80°C).

Таблица 1 – Матрицы для получения пленочных нанокompозитов

Наименование	Полиакрилонитрил (ПАН)	Поливинилиденфторид (ПВДФ)	Полиоксадиазол (ПОД)
Элементарное звено	$\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}} \right]_n$	$\left[ \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{F} \end{array} \right]_n$	$\left( \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} \begin{array}{c} \text{N}=\text{N} \\    \\ \text{O} \end{array} \right)_n - \left( \text{C}_6\text{H}_4 - \text{N}=\text{N} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} \begin{array}{c} \text{N}=\text{N} \\    \\ \text{O} \end{array} \right)_m$
Растворитель	Диметилформамид (ДМФА) ГОСТ 20289-74	Диметилформамид (ДМФА) ГОСТ 20289-74	Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ГОСТ 2184-2013

Способ получения пленочных нанокompозитов можно представить в виде блок-схемы (рис. 1). Она представляет собой обобщенный вариант получения пленочных нанокompозитов, где для каждого случая выбирается свой полимер и соответствующий растворитель. Первой стадией способа является диспергирование наполнителя в растворителе. Затем в получившейся суспензии растворяют полимер при повышенной температуре и ультразвуковом воздействии. Полученный компаунд выливают на стеклянную подложку. После испарения растворителя пленочный композит вынимают из формы и проводят его механическую обработку.



Рисунок 1 – Блок-схема получения пленочных нанокompозитов

Нанокompозиты широко применяются в качестве наполнителей для изменения или придания композитам различных свойств, таких как придание электропроводящих свойств [7], повышение прочностных свойств [8] изменения теплопроводности [9] и т.д. Поэтому в качестве наполнителей для пленочных композитов были выбраны две самые распространенные по количеству проведенных исследований углеродные дисперсии, а именно: технический углерод (ТУ) и углеродные нанотрубки (УНТ), микрофотографии которых представлены на рис. 2.



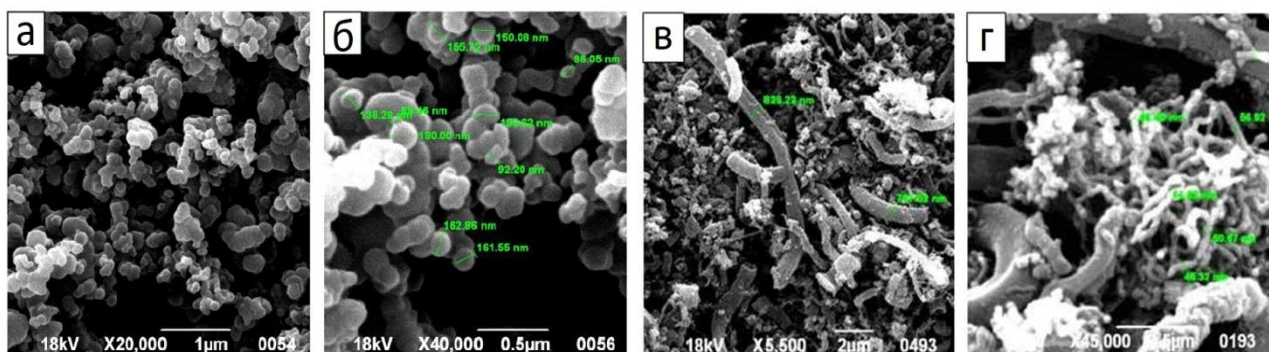


Рисунок 2 – Фотографии ТУ (а, б) и УНТ (в, г) с электронного микроскопа JSM 6390 фирмы JEOL (Япония).

Термические свойства по кривым термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциально-термического анализа (ДТА) пленочных нанокомпозитов исследовали на дериватографе марки Q – 1500D (Венгрия) в среде кислорода воздуха. Термогравиметрический анализ и дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) проводили на термическом анализаторе Labsys Evo (Франция) в среде аргона.

### Полиакрилонитрильные пленки, наполненные углеродными нанотрубками

Введение 0,1 масс. % УНТ в полимерную матрицу из ПАН приводит к увеличению термической устойчивости композиционного материала (рис. 3б) по сравнению с исходным полимером (рис. 3а). Пики на кривой ДТА, характерные для чистого ПАН, в данном случае смещены на 10 градусов в область более высоких температур. Наибольшее падение массы композита происходит при 575°C, в то время как для полимера пик наибольшего выделения тепла наблюдается при 560°C.

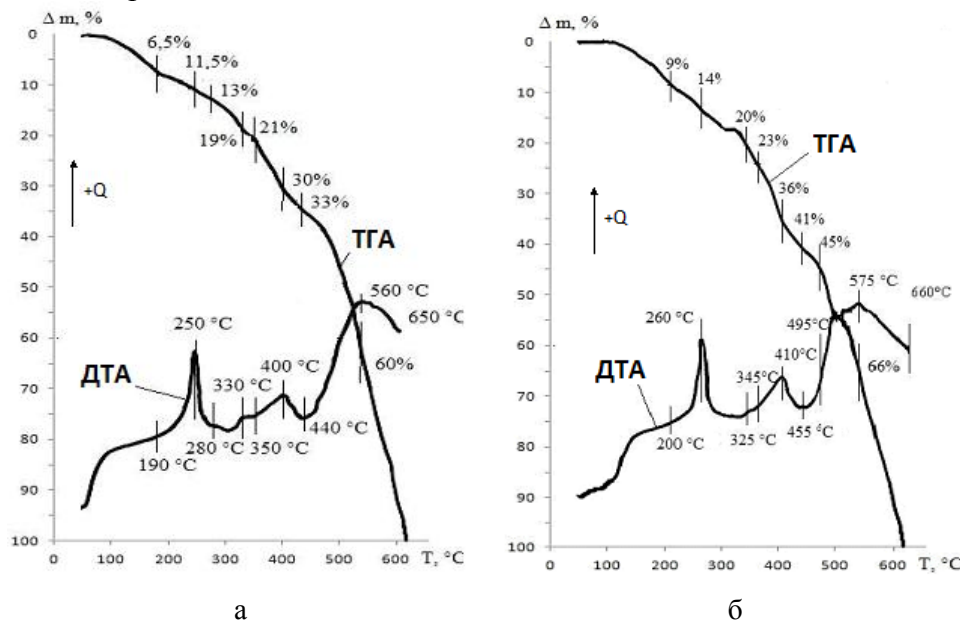


Рисунок 3 – Дериватограммы ненаполненной ПАН пленки (а) и пленки, содержащей 0,1 масс. % УНТ

### Полиоксадиазольные пленки, наполненные техническим углеродом

ПОД волокна и пленки относятся к классу термостойких ПМ и довольно устойчивы к воздействию высоких температур (до 350 – 400°C), о чем можно судить по кривым ТГА и ДСК анализов. Вместе с тем, исследования показали, что ПОД пленки, наполненные ТУ, менее термостабильны (рис. 4б), чем немодифицированные (рис. 4а). Температура начала термодеструкции ненаполненных ПОД пленок составляет 400°C, а при содержании ТУ 7,5 масс. % – 350°C.



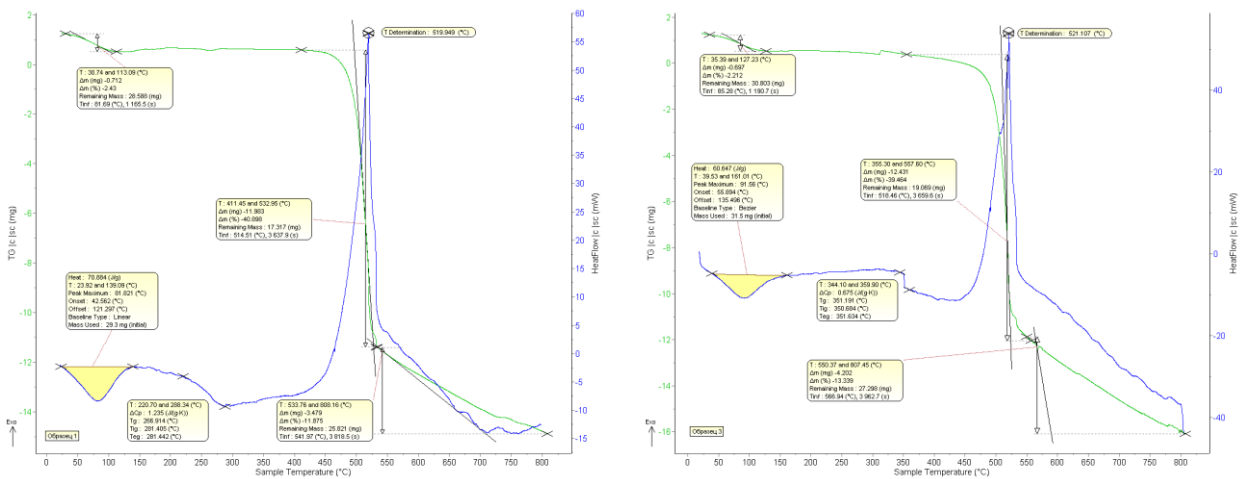


Рисунок 4 – Результаты ТГА/ДСК анализа исходных (а) и наполненных ТУ (б) ПОД пленок

### Пленки из поливинилиденфторида, наполненные углеродными нанотрубками и техническим углеродом

Максимум тепловыделения ненаполненного ПВДФ по кривой ДТА (рис. 5а) приходится на температуру 530°C и потеря массы при этом составляет 72,5%. Образец полностью сгорает при температуре 620°C. Температура начала разложения композита, содержащего 2 масс. % ТУ (рис. 5б), увеличивается с 430°C до 450°C, потеря массы при этом составляет 5,5%. Температура максимума на кривой ДТА для этого же композита составляет 545°C (потеря массы 69%). Полное сгорание образца с 2 масс. % ТУ происходит при температуре 645°C. Температура начала разложения композита, содержащего 2 масс. % УНТ (рис. 5в), составляет 465°C (потеря массы 7%). Максимальное выделение тепла при термодеструкции данного композита происходит при 560°C (потеря массы 72%).

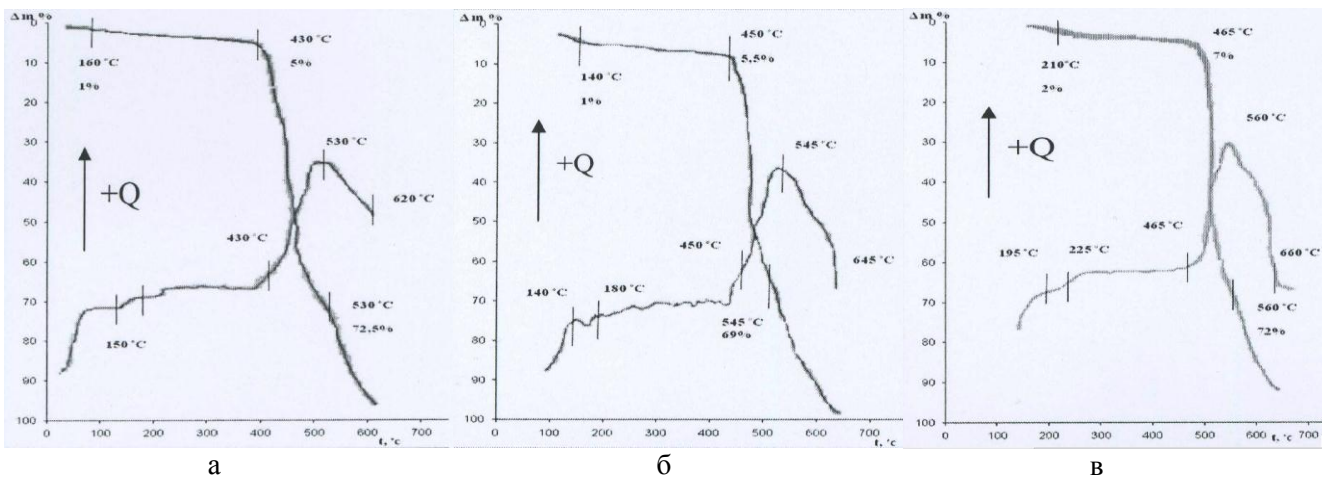


Рисунок 5 – Дериватограммы пленочных композитов на основе ПВДФ без наполнителя (а), содержащих 2 масс. % ТУ (б) и содержащих 2 масс. % УНТ

Как видно из представленных данных, при введении углеродного наполнителя в полимер максимум тепловыделения смещается в область более высоких температур. Подобное явление обусловлено разницей в температурах термического разложения полимерной матрицы и углеродных частиц, сгорание которых происходит при температурах выше 500°C.

Термическая деструкция образцов, содержащих углеродные наночастицы, происходит при более высоких температурах по сравнению с ненаполненными полимерами. Однако, сравнивая все характерные точки температур, можно сделать вывод о том, что введение частиц ТУ в полимер позволяет в большей степени повысить термостойкость композитов, чем введение УНТ. Подобное различие может быть обусловлено различием в коэффициенте

теплопроводности углеродных наночастиц, в связи с чем прогрев образцов происходит по-разному. Вместе с тем, увеличение концентрации углеродного наполнителя в полимерной матрице приводит к снижению термостойкости ПКМ, как это показано на примере ПОД, наполненного 7,5 масс. % ТУ.

Представленные данные позволяют определить роль и влияние некоторых углеродных наполнителей на термические свойства и связанные с ними характеристики волокнообразующих полимерных материалов. Технический углерод и углеродные нанотрубки в малых концентрациях позволяют повысить термостойкость пленочных композитов, а начало характерных термических превращений, протекающих при определенных температурах, сместить в область более высоких температур.

#### Список литературы

1. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии. 2013. 720 с.
2. Хрульков А.В., Тимошков П.Н., Язвенко Л.Н., Усачева М.Н. Композиционные материалы медико-биологического назначения (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника. 2018. № 3 – 4 (30). С. 33 – 40.
3. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалев Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5 – 1. С. 245 – 256.
4. Технология полимерных композиционных материалов. Дисперсно-наполненные композиционные материалы. Лабораторные работы: методические указания / Сост. О.В. Асташкина, А.Ю. Кузнецов, А.А. Лысенко – СПб.: СПбГУПТД. 2019. 52 с.
5. Василец Л.Г., Золотарев В.М., Чулеева Е.В. Пожаробезопасные полимерные композиционные материалы на основе олефиновых сополимеров. Регулирование технологических, физико-механических и теплофизических свойств // Кабели и провода. 2018. № 3 (371). С. 20 – 28.
6. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М.: Химия. 1974. 276 с.
7. Марков А.В., Гущин В.А., Марков В.А. Термоэлектрические характеристики электропроводящих композитов на основе смесей кристаллизующихся и аморфных полимеров с техническим углеродом // Пластические массы. 2019. № 1 – 2. С. 44 – 47.
8. Ашрапов А.Х., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Хозин В.Г. Исследование поливинилхлоридных композиций с углеродными нанотрубками // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2011. Т. 3, № 3. С. 13 – 24.
9. Павлычева Е.А. Исследование физико-механических свойств полимерного теплоизоляционного покрытия пониженной плотности // Инженерный вестник Дона. 2020. № 4 (64). 36 с.

#### **THERMAL PROPERTIES OF FILM COMPOSITES FILLED BY CARBON NANOPARTICLES**

V.V. Martsenyuk\*, A.A. Lysenko, Y.V. Kostyukhina, I.A. Kulik

*Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia*

*E-mail: vadim.martsenyuk@yandex.ru*

Film nanocomposites were obtained on the basis of thermoplastic fiber-forming polymers (polyacrylonitrile, polyvinylidene fluoride, polyoxadiazole). The fillers used were carbon nanotubes and carbon black. Thermal properties and their changes were studied by derivatography and differential scanning calorimetry. It was found that the introduction of carbon nanotubes in an amount of 0.1 wt. % in polyacrylonitrile leads to an increase in the thermal stability of the composite. The beginning of thermal destruction of polyoxadiazole films containing 7.5 wt. % of

carbon black is reduced. It is shown that filling polyvinylidene fluoride films with carbon nanotubes (2 wt.%) Makes it possible to increase the temperature of the onset of their decomposition and the temperature of complete combustion of the sample to a greater extent, relative to films with carbon black, with the same content of carbon particles.

*Keywords: thermal properties, film composites, derivatography, differential scanning calorimetry, polyacrylonitrile, polyvinylidene fluoride, polyoxadiazole, carbon black, carbon nanotubes.*

### References

1. Mikhailin Yu.A. *Voloknistye polimernye kompozitsionnye materialy v tekhnike* [Fibrous Polymer Composite Materials In Engineering]. SPb: Nauchnye osnovy i tekhnologii. 2013. 720 p. (In Russian).
2. Khrul'kov A.V., Timoshkov P.N., Yazvenko L.N., Usacheva M.N. Kompozitsionnye materialy mediko-biologicheskogo naznacheniya (obzor) [Composite Materials For Biomedical Purposes (Review)]. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*. 2018. № 3 – 4 (30). Pp. 33 – 40. (In Russian).
3. Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalev E.S. Sovremennye polimernye kompozitsionnye materialy i ikh primenenie [Modern Polymer Composite Materials And Their Application]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. № 5 – 1. Pp. 245 – 256. (In Russian).
4. Astashkina O.V., Kuznetsov A.Yu., Lysenko A.A. *Tekhnologiya polimernykh kompozitsionnykh materialov. Dispersno-napolnennye kompozitsionnye materialy. Laboratornye raboty: metodicheskie ukazaniya* [Polymer Composite Materials Technology. Dispersed-Filled Composite Materials. Laboratory Work: Guidelines]. SPb.: SPBGUPTD. 2019. 52 p.
5. Vasilets L.G., Zolotarev V.M., Chuleeva E.V. Pozharobezopasnye polimernye kompozitsionnye materialy na osnove olefinovykh sopolimerov. Regulirovanie tekhnologicheskikh, fiziko-mekhanicheskikh i teplofizicheskikh svoystv [Fireproof Polymer Composite Materials Based On Olefin Copolymers. Regulation Of Technological, Physical-Mechanical And Thermophysical Properties]. *Kabeli i provoda*. 2018. № 3 (371). Pp. 20 – 28. (In Russian).
6. Konkin A.A. *Uglerodnye i drugie zharostoikiye voloknistye materialy* [Carbon And Other Heat-Resistant Fibrous Materials]. M: Khimiya. 1974. 276 p. (In Russian).
7. Markov A.V., Gushchin V.A., Markov V.A. Termoelektricheskie kharakteristiki ehlektroprovodyashchikh kompozitov na osnove smesei kristallizuyushchikhsya i amorfnykh polimerov s tekhnicheskim uglerodom [Thermoelectric Characteristics Of Electrically Conductive Composites Based On Mixtures Of Crystallizing And Amorphous Polymers With Carbon Black]. *Plasticheskie massy*. 2019. № 1 – 2. Pp. 44 – 47. (In Russian).
8. Ashrapov A.Kh., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K., Khozin V.G. Issledovanie polivinilkhlordnykh kompozitsii s uglerodnymi nanotrubbkami [Research Of PVC Compositions With Carbon Nanotubes]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal*. 2011. Vol. 3. № 3. Pp. 13 – 24. (In Russian).
9. Pavlycheva E.A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv polimernogo teploizolyatsionnogo pokrytiya ponizhennoi plotnosti [Investigation Of Physical And Mechanical Properties Of Low-Density Polymer Thermal Insulation Coating]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2020. № 4 (64). P. 36. (In Russian).

## УСТОЙЧИВОСТЬ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ХВОИ

Е.А. Петрова\*, Е.Ю. Демьянцева

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

*E-mail: kateri.petrova2018@yandex.ru*

В современном мире остро стоит вопрос комплексного использования древесины. В последние годы возросли объемы производства изделий из древесины, но деревообрабатывающая и лесохимическая промышленность использует только 50% дерева, а остальные 50% утилизируют как отходы.

Комплексное использование лесных ресурсов предполагает переработку древесных отходов, которые образовались в процессе заготовки древесины и ее переработки. На данный момент все больше внимания привлекает изучение и пути использования всей биомассы дерева, в том числе и хвои. Основную массу хвои составляют нерастворимые полисахариды и лигнин, наибольшую ценность представляют экстрактивные вещества, значительную часть которых обладает биологически активными свойствами. Работа направлена на изучение способа выделения биологически активных веществ из древесной зелени водным экстрагированием в присутствии поверхностно-активных веществ, определение коллоидно-химических характеристик полученных экстрактов. В работе на основании коллоидно-химических исследований были оценены поверхностно-активные свойства хвойных водных экстрактов ели европейской и сосны обыкновенной. Получены эмульсии на основе хвойных водных экстрактов и косметического масла, определена их устойчивость с перспективой дальнейшего их применения в различных сферах народного хозяйства. Результаты исследований станут основой разрабатываемой технологии создания устойчивых микроэмульсий, обладающих биологически активными свойствами.

*Ключевые слова: комплексное использование древесины, биомасса, хвоя, переработка, биологически активные вещества, эмульсия.*

Для оценки ценности хвои как сырья для промышленной переработки был проведен анализ состава хвои, который показал наличие аскорбиновой кислоты (сосна – 0,009 г/л; ель – 0,03 г/л), пантотеновой кислоты (3,8-13,7 мкг/г), каротина, витаминов группы В, антоциановых соединений, накапливающиеся больше зимой и ранней весной, около 5% дубильных веществ, алкалоидов. В состав эфирного масла входят смоляные кислоты.

В работе были получены водные экстракты хвои ели и сосны. Экстрагирование проводилось в течении 3 часов при температуре 100°C. Добавка поверхностно-активного вещества (ПАВ) полисорбата-80 при экстрагировании позволила увеличить количество полученных водорастворимых веществ из хвои ели на 1%, а сосны на 16%. Разный эффект связан со структурой древесины хвойных веток. Структура ели более рыхлая, поэтому процесс диффузии веществ происходит лучше, поэтому при добавлении поверхностно-активных веществ значительного усиления экстракции из хвои сосны не происходит. Кроме того, было обнаружено, что при длительном хранении в экстрактах с добавлением полисорбата-80 не происходит размножения микроорганизмов. Известно, что основными веществами, обуславливающими эмульгирующую способность, являются жирные кислоты (олеиновая, линолевая и др.), белки (альбумин) и этерифицированные стеринны, входящие в состав древесной зелени хвойных пород. Присутствие в одной цепи гидрофобных и гидрофильных групп обеспечивает распределение молекул определенным образом на границе раздела фаз масло-вода, вода-газ. Ориентация гидрофильных групп к воде, а гидрофобных – к маслу на границе раздела фаз в виде прочного адсорбционного слоя снижает поверхностное натяжение в дисперсных системах и делает их агрегативно устойчивыми.

В работе были оценены поверхностно-активные свойства экстрактов. Тензиометрическим методом отрыва кольца Дю Нуи получены изотермы поверхностного натяжения хвойных водных экстрактов (рис. 1). Вид данных изотерм указывает на наличие в данных экстрактах веществ, обладающих поверхностно-активными свойствами [1].

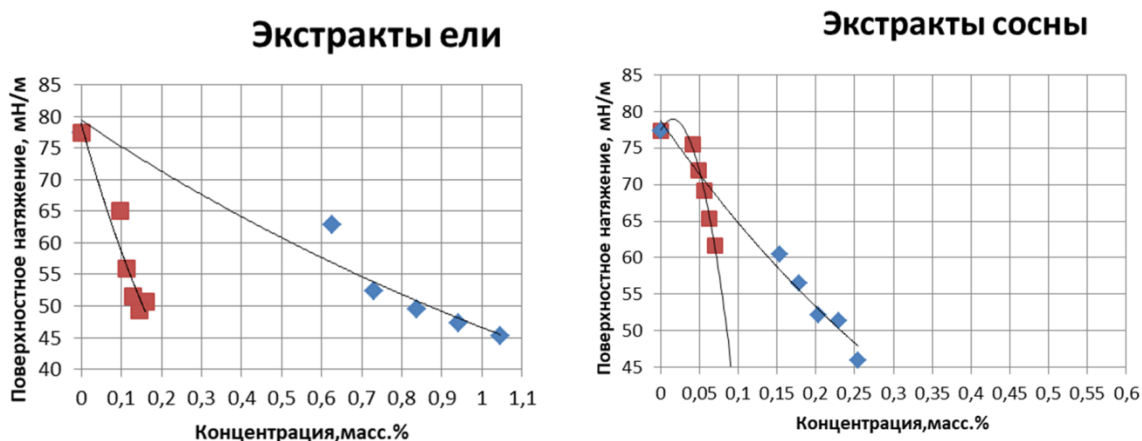


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного натяжения экстрактов ели и сосны от концентрации веществ: ♦ – водный экстракт; ■ – экстракт с полисорбатом-80

Исходя из данных изотермы поверхностного натяжения была рассчитана поверхностная активность полученных экстрактов, которая составила для водных растворов сосны 39 мДж\*м/кг и 28 мДж\*м/кг для ели. Поверхностная активность экстрактов с добавлением полисорбата-80 для сосны составила 68 мДж\*м/кг, а для ели – 58 мДж\*м/кг. Такая активность обуславливает эмульгирующую способность данных систем, при добавлении полисорбата-80 эмульгирующая способность экстрактов увеличивается.

Для получения эмульсий в качестве гидрофобного компонента был выбран масляный экстракт персика. Эмульгирование проводили с помощью микроизмельчителя со скоростью 2000 об/мин в течение 30 минут. В таблице 1 приведены данные по времени расслоения полученных эмульсий.

Таблица 1 – Время расслоения эмульсии

Хвойный экстракт	Время расслоения эмульсии, мин	
	без эмульгатора	с эмульгатором
Ель	65	85
Сосна	75	95

Полученные при данных условиях эмульсии нестабильны. Добавка полисорбата-80 незначительно увеличивает стабильность систем.

Были сделаны микрофотографии (рис. 2) эмульсии при 80-кратном увеличении:

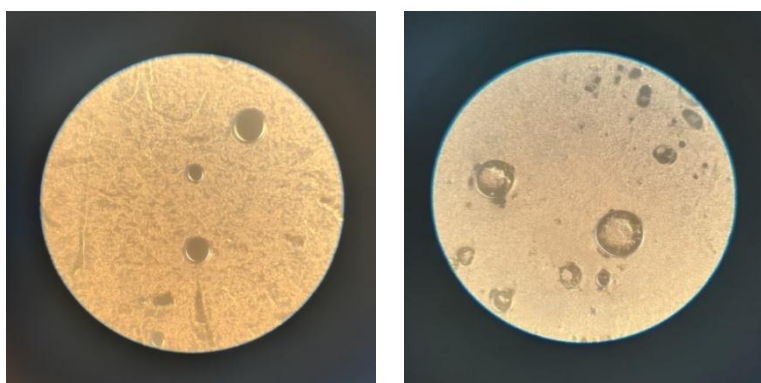


Рисунок 2 – микрофотографии эмульсии при 80х увеличении: ель (слева) и сосна (справа)

На основе микрофотографий были измерены средние размеры дисперсной фазы, которые составили для ели – 90-100 мкм, для сосны – 50-150 мкм. Для эмульсии сосны характерно полидисперсное распределение капель масла. Для производства стабильных эмульсий на основе водных хвойных экстрактов может быть рекомендовано увеличение частоты вращения и времени при получении, а также дополнительное введение стабилизаторов.

Результаты исследовательской работы могут быть использованы для оптимизации процессов комплексной переработки древесного сырья в лесохимическом производстве с перспективой получения ценных биологически активных веществ для медицины, сельского хозяйства, косметической и пищевой промышленности.

#### Список литературы

1. Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи: учебно-методическое пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 24 с. URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/24.pdf> (дата обращения 10.12.2020).

### **STABILITY OF EMULSIONS BASED ON WATER-SOLUBLE SUBSTANCES OF WOOD NEEDLES**

E.A. Petrova\*, E.Yu. Demiantseva

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

*E-mail: kateri.petrova2018@yandex.ru*

In the modern world, the issue of the integrated use of wood is acute. In recent years, the production of wood products has increased, but the woodworking and wood-chemical industry uses only 50% of the wood, and the remaining 50% is disposed of as waste.

The integrated use of forest resources involves the use of the entire biomass of a tree, the processing of wood waste generated in the process of timber harvesting and processing. At the moment, more and more attention is being paid to the study and ways of using the entire biomass of a tree, including needles. The bulk of the needles is made up of insoluble polysaccharides and lignin, extractive substances are of the greatest value, a significant part of which are classified as biologically active substances. The work is aimed at studying a method for isolating biologically active substances from woody greenery by water extraction in the presence of surfactants, determining the colloidal-chemical characteristics of the obtained extracts. In this work, on the basis of colloidal-chemical studies, the surfactant properties of coniferous water extracts of European spruce and Scots pine were evaluated. Emulsions based on coniferous water extracts and cosmetic oil have been obtained, their stability has been determined with the prospect of their further use in various spheres of the national economy. The research results will become the basis for the developed technology for creating stable microemulsions with biologically active properties.

*Keywords:* complex use of wood, biomass, needles, processing, biologically active substances, emulsion.

#### **References**

1. Osovskaya I.I., Demiantseva E.Yu., Andranovich O.S. *Opredelenie poverkhnostnogo natyaghenia metodom otriva koltsa Du-Nui: ychebno-metodicheskoe posobie* [Determination of surface tension by the Du-Nui ring tearing method]. Moscow, HSTE SPbSUITD, 2016, 24 p. URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/24.pdf> (accessed 10.12.2020).

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТБЕЛКИ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

И.А. Федоскин\*, Е.Д. Софронова, В.А. Липин

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

*E-mail: van575@yandex.ru*

Для удовлетворения спроса на целлюлозу и бумагу, а также соблюдения экологического законодательства требуется безопасное производство целлюлозы с точки зрения воздействия на окружающую среду. Целлюлозно-бумажная промышленность постоянно меняет процесс отбеливания, чтобы свести к минимуму использование хлора и соединений на его основе, удовлетворить нормативные требования и требования рынка. Рассматриваются варианты совершенствования технологии отбеливания, а также представлен экологически безопасный процесс отбеливания целлюлозы древесины лиственных пород. Кислородсодержащие соединения позволяют снизить использование соединений на основе хлора в процессе отбеливания целлюлозы.

*Ключевые слова: Целлюлоза, отбеливание, лиственные породы, озонирование, диоксид хлора, ферменты, пероксид водорода, окислительное щелочение, делигнификация.*

Мировая тенденция такова, что породы древесины лиственных пород заменяют породы древесины хвойных пород. Из наиболее важных с промышленной точки зрения видов эвкалипт, который в основном выращивается в Португалии, Испании и Южной Америке, все больше доминирует на мировом рынке древесины лиственных пород из-за высоких темпов роста и выхода целлюлозы. Древесина эвкалипта оказалась одной из наиболее подходящих пород для производства всех типов высококачественной белой целлюлозы благодаря своей мягкости, непрозрачности и пористости. В Северной Европе (особенно в Финляндии) для производства целлюлозы в основном используется береза [1, 2].

Растворимая целлюлоза, также известная как целлюлоза химического назначения, производится в большом количестве для получения вязких продуктов, эфиров целлюлозы (ацетаты и нитраты) и других продуктов на основе целлюлозы, включая нано- и микрокристаллическую целлюлозу. Производство хлопка в последние годы сокращается; таким образом, оно не сможет удовлетворить будущий спрос на производство целлюлозных продуктов. Альтернативой может служить целлюлоза из лиственных пород древесины.

Процесс отбеливания целлюлозы – это многоступенчатая последовательная процедура, выполняемая с двумя или более химическими веществами для достижения высокой степени белизны целлюлозы.

Процесс отбеливания является неотъемлемой частью производства бумаги и оказывает значительное влияние на качество конечного продукта. Отбеливание – это этап, на котором образуются основная часть загрязняющих веществ, попадающих в сточные воды. Использование экологически чистых отбеливающих агентов может оказаться лучшим выбором для снижения отрицательного воздействия на безопасность жизнедеятельности человека и окружающую среду. Если целлюлозно-бумажная промышленность не будет соответствовать международным стандартам, рынок экспорта РФ может столкнуться с нежелательными результатами в будущем. Поэтому совершенно необходимо внедрять новые технологии для более чистого и экономичного производства целлюлозы.

Соединения на основе хлора являются важными отбеливающими химическими веществами, но их использование связано с образованием хлорорганических соединений. При отбеливании лигнин и другие вещества, присутствующие в древесине, вступают в реакцию с соединениями на основе хлора. Производные хлора претерпевают множество химических реакций, приводящих к образованию высокотоксичных и не поддающихся биологическому

разложению загрязнителей. Хлорсодержащие соединения остаются основными стойкими органическими загрязнителями, образующимися при отбелке. Общие сбросы этих соединений постоянно накапливаются, что создает угрозу для окружающей среды.

Сброс хлорсодержащих соединений является важной проблемой, и исследовательские работы в течение многих лет направлены на сокращение токсичных соединений и объема сточных вод за счет модифицирования процесса отбелки целлюлозы.

Отбелка целлюлозы ECF, проводимая с помощью диоксида хлора, обеспечивает много преимуществ по сравнению с альтернативными методами. Целлюлоза, полученная с помощью процесса отбелки ECF, была самой яркой и самой прочной целлюлозой. Диоксид хлора является селективным отбеливающим агентом и, таким образом, сохраняет качество целлюлозного волокна. ECF-технология доминирует в процессе отбелки, ее доля составляет около 95% в производстве мировой беленой целлюлозы. В процессе отбелки ECF количество органических соединений хлора минимально, но все же они образуются. Следовательно, существует необходимость в дальнейшем изменении технологии отбелки ECF.

Отбелка целлюлозы, проводимая с последовательностью отбелки без соединения на основе хлора – TCF – предусматривает использование в качестве отбеливающего вещества кислорода, ферментов, пероксида водорода и др. Однако целлюлозу, отбеленную с помощью процесса отбелки TCF, невозможно отбелить до высокой степени белизны без ухудшения качества целлюлозного волокна. Вследствие этого производство целлюлозы с использованием отбелки TCF в мировом производстве беленой целлюлозы не превышает 5%.

Снижение образования хлорорганических соединений может быть достигнуто за счет оптимизации процесса, специальных химических добавок или предварительной обработки. Модифицированная последовательность отбелки может привести к минимизации токсичных соединений, объема сточных вод и выбросов в атмосферу наряду с хорошим качеством продукции.

Для уменьшения или полного прекращения образования высокотоксичных хлорорганических соединений, которые загрязняют сточные воды и готовый продукт, отбелку целлюлозы целесообразно вести по технологиям ECF-light и, кроме того, использовать биотехнологии. В этом случае в схеме отбелки ECF используют кислородную отбелку, отбелку озоном, пероксидом водорода, ферменты и др.

Кислородная отбелка – это широко известная технология, имеющая мировое значение благодаря своим экологическим, техническим и экономическим преимуществам. Это промежуточный этап отбелки, который снижает содержание лигнина на 40-50%. После кислородной стадии потребность в отбеливающих химикатах снижается в последующем процессе отбелки, что, следовательно, снижает объемы загрязнения. Однако удаление лигнина из пульпы свыше 50% приводит к деградации полисахаридов в пульпе и приводит к ухудшению вязкости и прочностных свойств пульпы. Это происходит из-за недостаточной селективности кислородной делигнификации. Таким образом, кислородная отбелка ограничивала удаление лигнина до 50%, при превышении этого предела физическая прочность целлюлозы ухудшается [3].

Озон – очень сильный окислитель, вступающий в реакцию со всеми химическими составляющими, присутствующими в целлюлозной массе. Отбелка озоном хорошо зарекомендовала себя для древесной массы лиственных пород и рассматривается как одна из лучших доступных технологий с экологической точки зрения. В настоящее время деревообрабатывающие предприятия по всему миру производят более 10 миллионов тонн озонной беленой целлюлозы [4].

Озонная отбелка – это одна из перспективных практик отбелки «зеленой» целлюлозы для последовательностей отбелки как TCF, так и ECF на начальных стадиях. Озон рассматривается также, как и кислород, для частичной замены диоксида хлора для производства более экологичной целлюлозы, чем по стандартной технологии отбелки ECF.



Все виды химической (растворимой) целлюлозы могут быть получены с использованием отбеливания озоном.

Удаление лигнина из пульпы с помощью биологических средств – это привлекательная технология снижения содержания хлора в химикатах для отбеливания целлюлозы. Ксиланазы и лакказы рассматриваются для биологической отбеливания химической целлюлозы и обеспечивают множество экологических преимуществ. Так, ксиланазы поглощают осажденный ксилан на поверхности волокна и делают лигнин доступным для реакции с отбеливающими химическими веществами. Ферментативная обработка увеличивает отбеливаемость целлюлозы и снижает дозировку отбеливающих химикатов на последующих стадиях отбеливания.

Наиболее оптимальной системой отбеливания целлюлозы, в том числе для получения растворимой целлюлозы, является технология, включающая последовательность ступеней отбеливания: озонирование – отбеливание диоксидом хлора – горячее облагораживание с добавлением пероксида водорода – совместная отбеливание пероксидом водорода и кислородом.

Применительно к переработке листовых пород древесины была разработана новая технология отбеливания ECF-light, включающая озонирование, отбеливание диоксидом хлора, окислительное щелочение, отбеливание пероксидом водорода и кислоту. Данная технология отличается высокой избирательной способностью окислять лигнин и разрушать красящие вещества, практически не разрушает целлюлозу [5, 6].

#### Список литературы

1. Patt R., Kordsachia O., Fehr J. European hardwoods versus Eucalyptus globulus as a raw material for pulping // *Wood Sci Technol*. 2006. V. 40. Pp. 39–48. DOI: 10.1007/s00226-005-0042-9.
2. Köpcke V. Conversion of Wood and Non-wood Papergrade Pulps to Dissolving-grade Pulps. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2010. 67 p.
3. Sharma N., Nishi K. Bhardwaj N.K., Prashad R.B. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A review // *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 256.
4. Kaur D., Bhardwaj N.K., Lohchab R.K. Effect of incorporation of ozone prior to ECF bleaching on pulp, paper and effluent quality // *Journal of Environmental Management*. 2019. V. 236, Pp. 134-145. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.089.
5. Орлова А.В., Софронова Е.Д., Липин В.А. Отбеливание целлюлозы для химической переработки по технологии ECF LIGHT // Сборник материалов XXIII Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады 2018. СПб.: Типография Любавич, 2019. С. 118-122.
6. Пат. 2724362 РФ. МПК8 D21C 9/16. Способ отбеливания целлюлозы / В.А. Липин, Е.Д. Софронова, А.В. Орлова; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет (промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД))». Заявлено 04.07.2019; опублик. 23.06.2020. Бюл. № 18. 6 с.

## MODERN TECHNOLOGIES OF SULPHATE CELLULOSE BLEACHING FROM HARDWOOD

I.A. Fedoskin\*, E.D. Sofronova, V.A. Lipin

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

*E-mail van575@yandex.ru*

To meet the demand for pulp and paper, as well as to comply with environmental regulations, safe pulp production is required from an environmental point of view. The pulp and paper industry is constantly changing the bleaching process to minimize the use of chlorine and chlorine-based compounds to meet regulatory and market requirements. Options for improving the bleaching technology are considered, and an environmentally friendly process for bleaching hardwood cellulose is presented. Oxygenated compounds reduce the use of chlorine compounds in the bleaching process.

*Keywords: Cellulose, bleaching, hardwood, ozonation, chlorine dioxide, enzymes, hydrogen peroxide, oxidative alkalization, delignification.*

### References

1. Patt R., Kordsachia O., Fehr J. European hardwoods versus Eucalyptus globulus as a raw material for pulping. *Wood Sci Technol*, 2006. V.40. Pp. 39–48. DOI: 10.1007/s00226-005-0042-9.
2. Köpcke V. *Conversion of Wood and Non-wood Papergrade Pulps to Dissolving-grade Pulps* Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm, 2010. 67 p.
3. Sharma N., Nishi K. Bhardwaj N.K., Prashad R.B. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. V.256.
4. Kaur D., Bhardwaj N.K., Lohchab R.K. Effect of incorporation of ozone prior to ECF bleaching on pulp, paper and effluent quality, *Journal of Environmental Management*. 2019. V. 236, Pp. 134-145. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.089.
5. Orlova A.V., Sofronova E.D., Lipin V.A. *Otbelka cellyulozy dlya himicheskoy pererabotki po tekhnologii ECF LIGHT* [Bleaching of cellulose for chemical processing using ECF LIGHT technology]. *Sbornik materialov XXIII Mezhdunarodnogo Bios-foruma i Molodezhnoy Bios-olimpiady 2018*. SPb.: Tipografiya Lyubavich, 2019. Pp. 118-122. (In Russian).
6. Lipin V.A., Sofronova E.D., Orlova A.V. *Sposob otbelki cellyulozy* [Method for cellulose bleaching]. Pat. RF no. 2724362, 2020. (In Russian).

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К СТАРЕНИЮ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЭВКАЛИПТА

О.Т. Чебанова<sup>1\*</sup>, Е.С. Быстрова<sup>2</sup>, Е.М. Лоцманова<sup>2</sup>, Е.Г. Смирнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ФЦКБФ РНБ, Санкт-Петербург

E-mail: olya.02.11.97@yandex.ru

Исследована устойчивость к искусственному световому старению лабораторных образцов бумаги из целлюлозы эвкалипта. Определены механические и оптические свойства образцов бумаги из эвкалиптовой целлюлозы по сравнению с образцами бумаги из сульфатной беленой лиственной целлюлозы.

*Ключевые слова: эвкалиптовая целлюлоза, искусственное световое старение бумаги, показатель сопротивления излому, коэффициент отражения света.*

В настоящее время целлюлоза из древесины эвкалипта занимает около 35% общего рынка мирового производства целлюлозы и в будущем ее потребление будет расти, что обусловлено ее низкой себестоимостью [1].

Целлюлоза из древесины эвкалипта активно применяется в композиции печатных видов бумаги, она придает бумаге непрозрачность, белизну, гладкость и шелковистость на ощупь. Документы, напечатанные на этой бумаге, будут поступать в библиотечные и архивные фонды. Поэтому исследование устойчивости к старению бумаги, изготовленной из эвкалиптовой целлюлозы (Бразилия), является актуальной задачей.

Для исследования устойчивости к старению бумаги из эвкалиптовой целлюлозы (Бразилия) применяли световое старение образцов бумаги, которое проводили под воздействием ультрафиолетовой лампы ДРТ-1000 (дуговой, ртутной, высокого давления). Лучистый поток мощностью 120 Вт воздействовал на образцы бумаги. Общее время исследования 10 часов. Оптические показатели образцов измеряли с интервалом в 2 часа на спектрофотометре Эльрефо [2,3].

В качестве образца сравнения была взята сульфатная беленая лиственная целлюлоза марки ЛС-1 (Архангельский ЦБК). Целлюлозу марки ЛС-1 и эвкалиптовую целлюлозу подвергали размолу в мельнице ЦРА до  $30 \pm 2^\circ \text{ШР}$ . Затем на листоотливном аппарате Репид-Кеттен изготавливали образцы бумаги массой  $80 \text{ г/м}^2$ .

Из показателей механической прочности был выбран показатель сопротивления бумаги излому, т. к. известно [4], что этот показатель наиболее чувствителен при старении бумаги. При световом старении наблюдается резкое снижение показателей сопротивления излому в первые 4 часа у обоих образцов (рис. 1), после чего показатель практически не меняется.

Об изменении белизны образцов бумаги в процессе светового старения судили по коэффициенту отражения света (R), полученного с помощью спектрофотометра Эльрефо.

Чем больше R, тем больше образец отражает свет, следовательно, тем он более светлый.

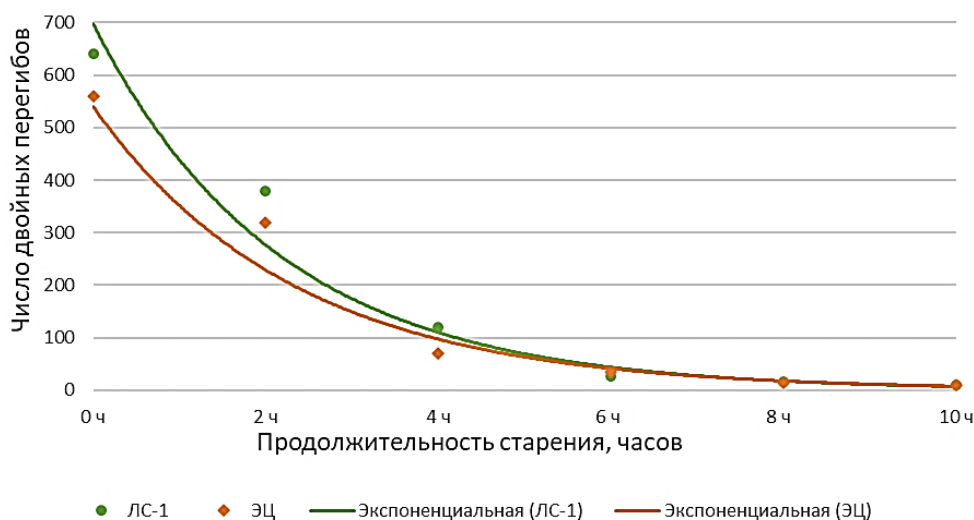


Рисунок 1 – Зависимость сопротивления излому бумаги от продолжительности светового старения

Как видно на рис. 2, образцы бумаги из эвкалиптовой целлюлозы изначально и на протяжении всего светового старения имеют коэффициент отражения на 4% выше, чем у образцов бумаги из лиственной целлюлозы, что свидетельствует об их более высокой белизне.

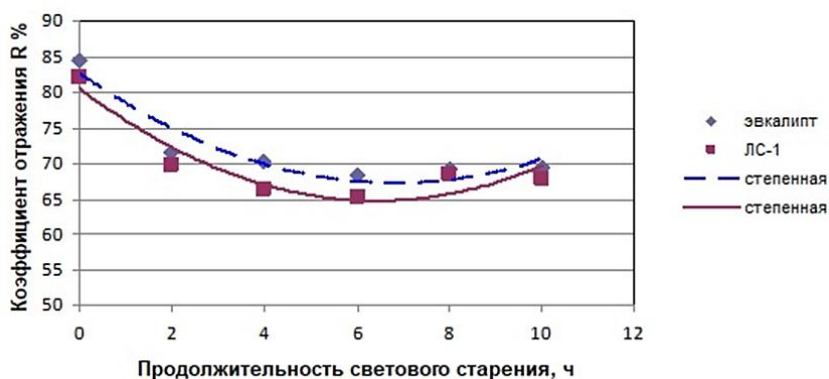


Рисунок 2 – Зависимость изменения коэффициента отражения бумаги от продолжительности светового старения

#### Выводы:

1. Закономерность изменения показателя сопротивления излому при световом старении одинакова для бумаги из сульфатной блененой лиственной целлюлозы и бумаги из эвкалиптовой целлюлозы;
2. Белизна образцов бумаги из эвкалиптовой целлюлозы (по коэффициенту светоотражения) более устойчива к световому старению, чем белизна образцов бумаги из сульфатной блененой лиственной целлюлозы.

#### Список литературы

1. РОДИКОН: Эвкалиптовая бумага. URL: <https://rodikon.ru/evkaliptovaya-bumaga.html> (дата обращения 17.12.2020).
2. R. Bruce Arnold. ASTM Paper Aging Research Program. Pennsylvania: The American Institute for Conservation, 2000. URL: <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-01.html> (дата обращения 21.12.2020).
3. Matija Strlič, Jana Kolar. Ageing and stabilisation of paper. Ljubljana: National and University Library, 2005.
4. Фляте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесная промышленность, 1976. 648 с.

## RESEARCH ON AGING RESISTANCE OF EUCALYPTUS WOOD PULP

O.T. Chebanova<sup>1\*</sup>, E.S. Bystova<sup>2</sup>, E.M. Lotsmanova<sup>2</sup>, E.G. Smirnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, Russia

<sup>2</sup>Federal Center for Conservation of Library Collections, Russian National Library, Russia

E-mail: olya.02.11.97@yandex.ru

Resistance to artificial light aging of laboratory paper samples made of eucalyptus cellulose was studied. Mechanical and optical properties of paper samples made of eucalyptus cellulose were determined in comparison with paper samples made of sulfate bleached hardwood pulp.

*Keywords: eucalyptus cellulose, artificial ageing of paper, measure the resistance to fracture, light reflection coefficient.*

### References

1. *RODICON: Eucalyptus paper*. URL: <https://rodikon.ru/evkaliptovaya-bumaga.html>. (accessed 17.12.2020).
2. R. Bruce Arnold. *ASTM Paper Aging Research Program*. Pennsylvania, The American Institute for Conservation, 2000. URL: <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-01.html>. (accessed 21.12.2020).
3. Matija Strlič, Jana Kolar. *Ageing and stabilisation of paper*. Ljubljana, National and University Library, 2005.
4. Fljate D.M. *Svojstva bumagi* [Paper Properties]. Moscow, Lesnaja promyshlennost', 1976, 648 p. (In Russian).

**Научное издание**

Материалы

II Международной научно-технической конференции  
молодых учёных и специалистов ЦБП

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

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

(Санкт-Петербург, 23 ноября 2020 года)

Том I

Техн. редактор Е.О. Гарновская  
Компьютерная верстка К.К. Пензина,  
Е.В. Проскурина, О.К. Соколова

Темплан 2020 г., поз. 138

---

Подп. в печать 28.12.20. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1. Объем 7,31 печ. л.  
7,31 уч.-изд. л. Тираж 20 экз. Изд. № 138.

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, СПб.,  
ул. Ивана Черных, 4.