

# РАР-FOR 2018

МАТЕРИАЛЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ПАМЯТИ В. А. ЧУЙКО

Часть III



Санкт-Петербург  
2018

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 2018



Материалы

Международной научно-технической конференции  
молодых ученых, специалистов в области  
целлюлозно-бумажной промышленности,  
посвященной памяти В. А. Чуйко

(Санкт-Петербург, 12 ноября 2018 года)

Часть III



**PAP-FOR**  
■ RUSSIA ■

Санкт-Петербург  
2018

УДК 676

ББК 65.9(2)304.18

М 341

Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов в области целлюлозно-бумажной промышленности, посвященной памяти В.А. Чуйко (Санкт-Петербург, 12 ноября 2018 года) / сост. А.Г. Кузнецов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – Ч. III. – 148 с.  
ISBN 978-5-91646-160-2

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

Представленные доклады освещают три основные тематики:

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

Сборник предназначен для тех, 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 в качестве материалов научно-технической конференции.

***Материалы конференции печатаются в авторской редакции.***

ISBN 978-5-91646-160-2

© Высшая школа технологии  
и энергетики СПбГУПТД,  
2018

**Исследование свойств жидкой системы,  
выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии**

**Study of fluid system properties,  
squeezed from larch wood by compression**

Н.В. Виноградов, С.З. Роговина, Э.Л. Аким

N.V. Vinogradov, S.Z. Rogovina, E.L. Akim

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г. Москва

Исследованы жидкие фракции, выделяющиеся при сжатии образцов древесины лиственницы и проанализированы технологические аспекты полученных результатов. Исследование включало изучение свойств выжимаемой жидкости, в частности рН и электропроводности, а также сопоставительный ДТА и ТГА анализ жидкости, опилок лиственницы и водных растворов арабиногалактана (АГ). Установлено, что рН выжимаемой жидкости кислотный; это приводит к дополнительному расходу активной щелочи при варке непроэкстрагированной древесной щепы. При экстракции щепы перед варкой черным щелоком кислые компоненты, обуславливающие пониженное значение рН, нейтрализуются остаточной щелочью черного щелока, что способствует экономии активной щелочи при варке. Повышенная электропроводность выжимаемой жидкости позволяет использовать этот параметр в качестве контроля за процессом водной экстракции при проведении двухступенчатой экстракции (водой и черным щелоком) для перехода ко второй стадии – экстракции черным щелоком. Термогравиметрический анализ показал, что при исследовании опилок методом сканирующей калориметрии наблюдаются растянутые во времени пики: от минус 79,2 до минус 63,3 °С и от минус 15,2 до минус 3,0 °С. Характер этих пиков значительно отличается от характера пиков, наблюдаемых при замерзании водных растворов АГ и, тем более, чистой воды. Полученные данные позволяют предположить, что в лиственнице комплекс «арабиногалактан-вода» играет роль крио-протектора. Это не только позволяет объяснить, как лиственница произрастает в зоне вечной мерзлоты и при сильных морозах от минус 35 до минус 50 °С и при этом не «взрывается» (аналогично сосне) из-за замерзания внутренней воды в капиллярах, но также указывает на то, что в поступающей на варку щепе и в зимних условиях при сибирских морозах комплекс «АГ-вода» остается в жидком состоянии.

Liquids collected during larch wood samples compression were studied and technological applications of results were analyzed. The research included study of squeezed liquid properties such as pH and conductivity, as well as comparison of DTA/TGA data of abovementioned liquid, larch sawdust and arabinogalactan water solutions. It was found out that squeezed liquid has acidic pH that leads to additional active alkali consumption during cooking of unextracted wood chips. During pre-cooking extraction of wood chips with black liquor, acidic components responsible for lowering pH are neutralized with residual alkali of black liquor leading to decreasing amount of active alkali during cooking process. Increased conductivity of squeezed liquid allows one to use conductivity measurements to control water extraction process during two-stage (water and black liquor) extraction before second stage - black liquor extraction. Thermogravimetric analysis has shown that during scanning calorimetry of sawdust the long peaks: from -79,2 to -63,3 °C and from -15,2 to -3,0 °C are presented. Peaks characteristics are considerably differ from arabinogalactan water solutions freezing peaks and especially from water peaks. These data suggests that «arabinogalactan-water» complex in larch acts as cryoprotector. It allows one to explain not only how larch grows in permafrost areas and during low temperatures from -35 to -50 °C does not "explode" as pine from freezing water in capillaries, but also shows that in wood chips for cooking under winter conditions of Siberian frost "arabinogalactan-water" complex remains in liquid state.

Ключевые слова: лиственница, био-рефайнинг, арабиногалактан, сжатие древесины.

Keywords: larch, biorefining, arabinogalactan, wood compression.

Как известно, комплексный проект «Лиственница» направлен на разработку и промышленную реализацию био-рефайнинга древесины лиственницы - инновационной технологии сульфатной варки целлюлозы и комплексной химической переработки ее нецеллюлозных компонентов, прежде всего – арабиногалактана [1-5]. В рамках проекта один из компонентов древесины лиственницы – арабиногалактан стал успешно использоваться в качестве биотоплива. При реализации этой технологии на первых ее стадиях арабиногалактан используется как биотопливо в составе черного щелока. Однако такое его использование не является оптимальным и не может в будущем соответствовать «наилучшим доступным технологиям - НДТ».

Данный факт обусловлен, с одной стороны, тем, что крупнотоннажное производство товарной беленой хвойной целлюлозы из лиственницы ориентировано на существующий мировой рынок, использующий армирующую северную хвойную целлюлозу [2-3, 6-7]. С другой стороны, создание многотоннажного рынка арабиногалактана требует длительных работ по формированию та-

кого рынка и вывода на него нового продукта био-рефайнинга древесины [3, 8-10]. Простейшим способом решения экологических проблем на начальных стадиях реализации принципов био-рефайнинга древесины является использование побочных продуктов био-рефайнинга (арабиногалактана – в случае лиственницы) и отходов (избыточного активного ила – в случае переработки гнилой осины) в качестве биотоплива.

Для исследования свойств жидкой системы, находящейся в капиллярно-пористой структуре древесины лиственницы, были проведены экспериментальные исследования по сжатию кубиков древесины лиственницы со сбором и изучением выдавливаемой жидкости и сопоставлением полученных данных с другими экспериментальными и теоретическими результатами, полученными как в ходе выполнения проекта «Лиственница», так и ранее [1-2, 4].

При проведении экспериментов по сжатию кубиков древесины лиственницы было установлено, что при сжатии из них выделяется жидкость – «сок лиственницы» (рис. 1). Его наибольшее количество выделяется при сжатии в радиальном направлении. С помощью медицинского шприца проводился отбор жидкости, выделяющейся при сжатии из кубиков, взятых из различных областей спила (сердцевинной, пограничной области и заболони). У выделенных из древесины экстрактов определяли рН, электропроводность, а также проводили ДТА и ТГА анализ выжатой жидкости, опилок лиственницы и водных растворов арабиногалактана.



Рисунок 1 – Выделение жидкости при сжатии кубика древесины лиственницы

На основании фундаментальных исследований структуры древесины лиственницы впервые было установлено, что в древесине лиственницы арабиногалактан присутствует в виде аква-комплексов, находящихся в жидком состоянии. Это позволило предложить инновационные методы, как получения волокнистых полуфабрикатов, так и извлечения из щепы арабиногалактана. Эти методы были апробированы в лабораторных и освоены в промышленных масштабах. Таким образом, цели проекта были полностью достигнуты: т.е. в промышленных масштабах были реализованы инновационные технологии получе-

ния волокнистых полуфабрикатов из древесины лиственницы и извлечения арабиногалактана, и разработаны технологии переработки 100 % лиственницы, а также ее смесей с другими видами древесного сырья (в том числе, с мало востребованными породами лиственной древесины). Инновационность разработанных технологий подтверждена патентами РФ [11-24]. В 2014-2017 годах Братский филиал ОАО «Группа «Илим» переработал свыше миллиона кубометров лиственницы и выпустил по инновационной технологии свыше 2 миллионов тонн сульфатной беленой целлюлозы из смеси хвойных пород на сумму свыше 60 миллиардов рублей, при этом доля экспорта составила 86 %.

Как уже отмечалось выше, на основании фундаментальных исследований структуры древесины лиственницы впервые было установлено, что в древесине лиственницы арабиногалактан присутствует в виде аква-комплексов, находящихся в жидком состоянии. Одним из этапов этих исследований было изучение свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии. Сопоставление полученных данных с другими экспериментальными и теоретическими результатами проекта «Лиственница» позволило заключить, что выдавливаемая из древесины лиственницы при сжатии кубиков из сердцевины ствола жидкость представляет собой именно этот аква-комплекс. Этот вывод подтверждается также и совпадением ИК-спектров и совокупностью других данных, полученных в ходе реализации новых технических решений.

Особого рассмотрения заслуживает природа жидкости, выдавливаемой из древесины лиственницы. Как известно, для растворов полимеров наблюдается очень большая зависимость вязкости раствора от концентрации, однако для экстрактов лиственницы [5] наблюдается малая зависимость вязкости от концентрации. Кроме того, энергия активации вязкого течения для такого раствора аналогична соответствующим показателям воды, что позволяет сделать вывод, что жидкость, находящаяся в лиственнице, является не раствором арабиногалактана, а дисперсной системой «арабиногалактан-вода».

Таким образом, анализ всей совокупности данных, полученных в ходе выполнения проекта «Лиственница» (частью которого является и данная работа), позволяет предположить, что в лиственнице находится не раствор арабиногалактана, а дисперсная система, где дисперсионной средой является водный раствор низкомолекулярной фракции арабиногалактана, а дисперсным веществом – высокомолекулярная фракция арабиногалактана. Этот вывод подтверждается также данными А.В. Прановича, согласно которым при фильтрации экстракта лиственницы через полупроницаемые мембраны фильтрат имеет молекулярную массу около 2000 Дальтон, а молекулярная масса концентрата составляет 30000-40000 Дальтон. Это свидетельствует об отделении на полупроницаемой мембране дисперсной фазы от дисперсионной среды.

В таблице приведены данные по электропроводности и рН жидких фракций, выделенных при сжатии кубиков из различных областей поперечного среза древесины лиственницы. Как видно из приведенных в таблице 1 данных, рН выжимаемой жидкости, особенно из сердцевинной части, находится в кислой области. Как известно, именно в сердцевинной части локализована основная часть АГ. Согласно литературным данным, содержание АГ в древесине в пределах сердцевины возрастает от центра к периферии, а затем резко падает, и в заболони АГ практически отсутствует. Таким образом, можно предположить, что именно кислые компоненты комплекса «арабиногалактан-вода» ответственны за значения рН системы. С технологической точки зрения это приводит к дополнительному расходу активной щелочи при варке непроэкстрагированной древесной щепы. Именно по этой причине в ходе выполнения проекта «Лиственница» было предложено [12, 13, 15, 19] использовать для экстракции черный щелок, или осуществлять экстракцию в две ступени (водой и черным щелоком). При экстракции щепы перед варкой черным щелоком кислые компоненты, обуславливающие это понижение рН, нейтрализуются остаточной щелочью черного щелока, что приводит к экономии при варке активной щелочи. В тоже время повышенная электропроводность выжимаемой жидкости позволяет использовать измерение электропроводности для контроля за процессом водной экстракции при проведении двухступенчатой (водной и черным щелоком) экстракции для перехода ко второй стадии – экстракции черным щелоком [15].

Электропроводность и рН выделенных жидких фракций

Область	рН	Электропроводность, мкСм/см
Сердцевинная	3,72	313
Пограничная зона	5,82	327
Заболонь	5,01	382

**Термогравиметрический анализ образцов древесины лиственницы и комплексов «вода-арабиногалактан».** Для исследования свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии и рассмотрения состояния субстанции, находящейся в древесине лиственницы, был использован метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Рассмотрим результаты анализа древесины лиственницы, «раствора» арабиногалактана, и сока, выжатого из лиственницы.

Термогравиметрический анализ (рис. 2) показал, что при проведении сканирующей калориметрии опилок наблюдаются растянутые во времени пики: от минус 79,2 до минус 63,3 °С и от минус 15,2 до минус 3,0 °С.



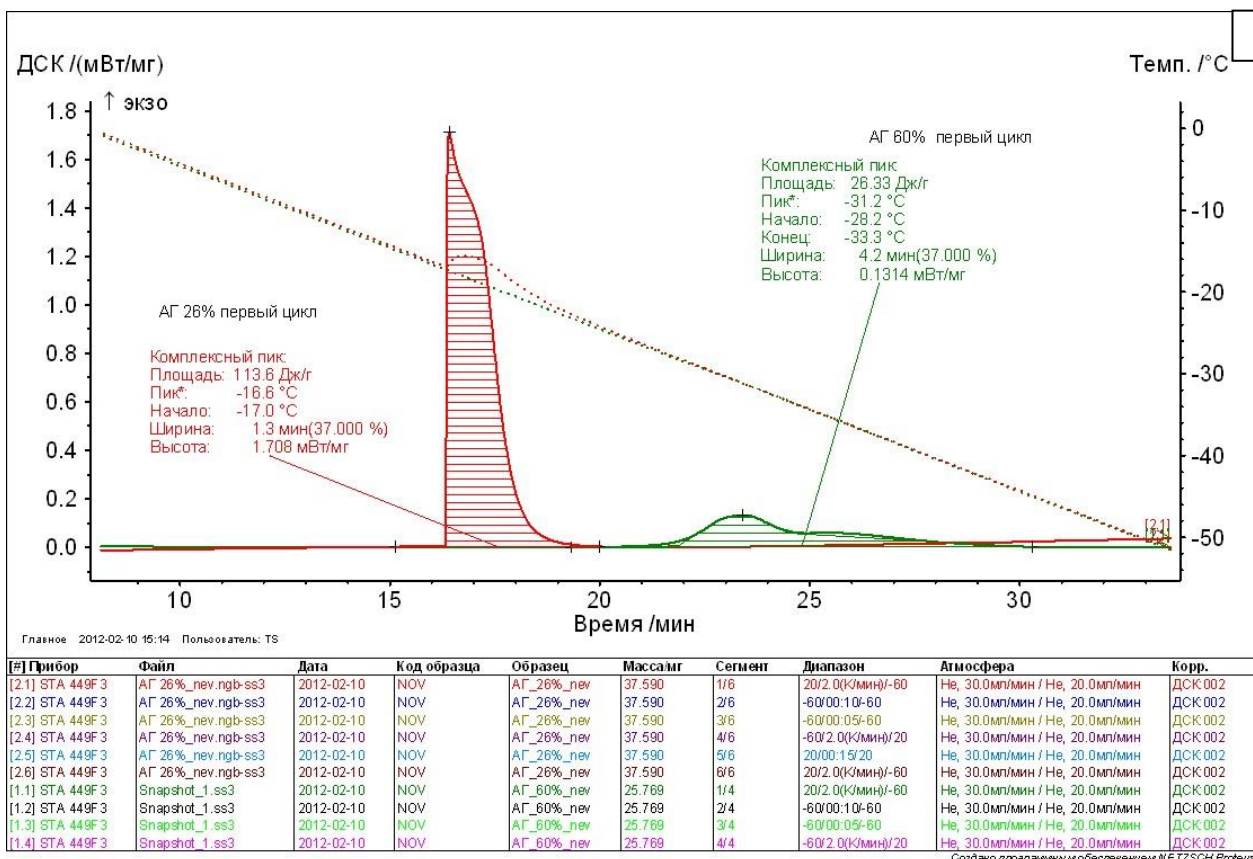
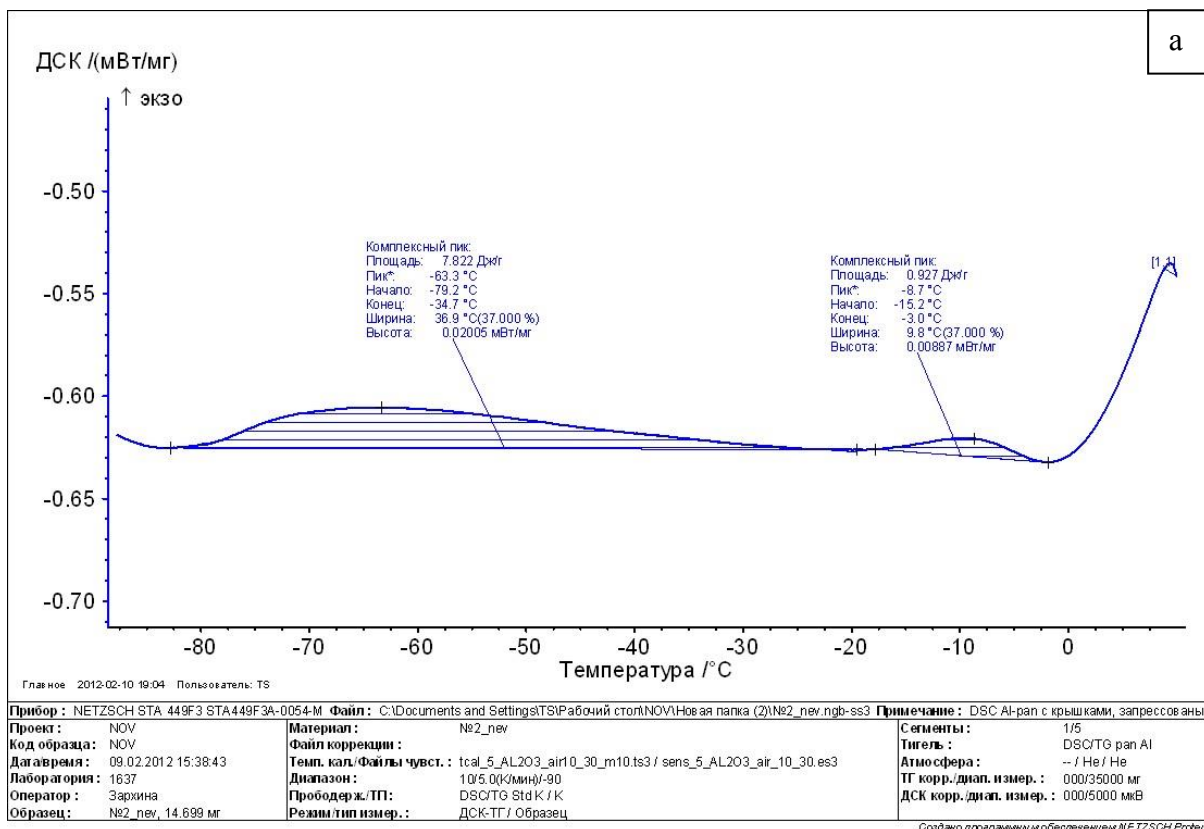


Рисунок 2 - Термогравиметрический анализ (а) образцов древесины лиственницы - опилок, полученных из средней части ядра, (б) образцов системы «арабиногалактан-вода» при содержании АГ 26 и 60 %

Характер пиков значительно отличается от характера пиков, наблюдаемых при замерзании водных растворов АГ и, тем более, чистой воды. Полученные данные позволяют предположить, что в лиственнице комплекс «арабиногалактан-вода» играет роль крио-протектора. Это не только позволяет объяснить, как лиственница произрастает в зоне вечной мерзлоты, а при сильных морозах от минус 35 до минус 50 °С не «взрывается» (аналогично сосне) из-за замерзания внутренней воды в капиллярах, но также показывает, что в поступающей на варку щепе и в зимних условиях при сибирских морозах в щепе комплекс «АГ-вода» остается в жидком состоянии. Таким образом, исследование жидких фракций, выделяющихся при сжатии образцов древесины лиственницы, позволяет использовать полученные результаты при решении технологических задач: обосновать использование метода электропроводности для контроля процесса водной экстракции, снижение расхода активной щелочи на варку при проведении экстракции АГ черным щелоком, возможность непосредственной подачи в зимних условиях щепы лиственницы на экстракцию в пропарочно-пропиточную колонну.

#### Список литературы

1. Аким Э.Л. Био-рефайнинг лесной биомассы. Леса России. Санкт-Петербург, 2018. С. 73-76.
2. Инновационные технологии в российском лесном секторе. Путь к «зеленой» экономике. UNECE. Нью-Йорк и Женева, 2012.
3. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects. Taylor & Francis Group, 2017. NY. 462 p.
4. Аким Э.Л. Взаимодействие целлюлозы и других полисахаридов с водными системами // Научные основы химической технологии углеводов / А.Г. Захаров и др. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 528 с.
5. Бочек А.М. и др. Инновационные технологии в российском лесном секторе. Путь к «зеленой» экономике. UNECE. Нью-Йорк и Женева, 2012. С. 23-30.
6. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года. Рим: ЕЭК ООН, 2012. – 106 с.
7. Forest Products Annual Market Review 2017-2018 - Forestry and Timber. UNECE.
8. Ежегодный обзор рынка лесных товаров 2016-2017. Женева: ЕЭК ООН, 2017. – 135 с.
9. Wertz J.-L., Deleu M., Coppee S., Richel A. Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries. Taylor & Francis Group, 2018.

10. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda for 2020. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Annex to the Strategic Research and Innovation Agenda. CEPI.
11. National Research agenda 2007-2030. Russian forest-based sector. 2007.
12. Патент РФ 2472887. Способ комплексной переработки древесины лиственницы / Э. Л. Аким и др., опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.– 5 с.
13. Патент РФ 2472888. Способ получения сульфатной целлюлозы из древесины лиственницы / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.– 7 с.
14. Патент РФ 2472889. Способ экстракции щепы лиственницы / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.– 6 с.
15. Патент РФ 2474636. Устройство для комплексной переработки щепы древесины лиственницы / Э.Л. Аким и др.; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4.– 5 с.
16. Патент РФ 2475576. Способ экстракции щепы лиственницы / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.– 7 с.
17. Патент РФ 2477346. Способ получения сульфатной целлюлозы из древесины лиственницы / Э.Л. Аким и др.; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7 .– 6 с.
18. Патент РФ 2493307. Способ обработки растительных целлюлозосодержащих материалов / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.– 7 с.
19. Патент РФ 2490383. Способ обработки смеси щепы из разных пород древесины перед сульфатной варкой / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 23.– 6 с.
20. Патент РФ 2491379. Способ получения сульфатной целлюлозы из смеси щепы разных пород древесины / Э.Л. Аким и др.; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.– 7 с.
21. Патент РФ 2493308. Способ получения сульфитной целлюлозы из смеси щепы разных пород древесины / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.– 7 с.
22. Патент РФ 2493309. Аппарат для обработки растительных целлюлозосодержащих материалов / Э.Л. Аким и др.; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.– 7 с.
23. Патент РФ 2499857. Способ получения сульфатной целлюлозы для химической переработки / Э.Л. Аким и др.; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33.– 6 с.
24. Патент РФ 2524904. Способ получения сульфатной целлюлозы / А.Д. Сергеев, Э.Л. Аким и др.; опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22.– 4 с.

**Сохранение чистоты теплообменной поверхности в процессах варки  
и выпаривания черного щелока**

**Preservation of the cleanliness of the heat exchange surface in the processes of  
cooking and evaporation of black liquor**

К.В. Полякова, О.Т. Чебанова, О.В. Федорова, В.Г. Казаков  
K.V. Polyakova, O.T. Chebanova, O.V. Fedorova, V.G. Kazakov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Чистота теплообменной поверхности в производстве целлюлозы имеет большое значение. Существует много способов борьбы с накипью, но все они недостаточно эффективны. Наши исследования показали, что применение кремнийорганической жидкости дает положительные результаты. Гидрофобизирующие кремнийорганические жидкие полимеры замедляют накипеобразование при теплообмене в инкрустирующих растворах, улучшают протекающие тепловые и физико-химические процессы. Благодаря этому методу можно привести работу теплообменных аппаратов к безнакипному режиму, что положительно скажется на производственном процессе.

The cleanliness of the heat exchange surface in the production of cellulose is of great importance. There are many ways to deal with scale, but they are not effective enough. Our studies have shown that the use of organosilicon liquid gives positive results. Hydrophobizing organosilicon liquid polymers slow down the scale formation during heat exchange in incrusting solutions, improve the thermal and physico-chemical processes. Thanks to this method, it is possible to bring the operation of heat exchangers to a non-scale mode, which positively affect the production process.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, образование накипи, кремнийорганическая жидкость.

Keywords: heat exchangers, the formation of scale, organosilicon liquid.

В качестве особой проблемы в производстве целлюлозы следует выделить сохранение чистоты теплообменной поверхности. Степень чистоты непосредственно влияет на коэффициент теплопередачи и соответственно, на производительность процессов варки технологической щепы и упаривания черного щелока. Поэтому для поддержания теплообменной поверхности в эксплуатационно - приемлемом состоянии применяют различные способы.

Одним из таких способов является ввод золы электрофильтров в черный щелок перед его сжиганием. Здесь используется эффект переноса кристаллизации с теплообменной поверхности на затравочные кристаллы.

Этот же эффект регулирования кристаллизации методом затравки используется при нагреве щелока в циркуляционных теплообменниках процесса варки технологической щепы.

Однако, эти методы имеют свои недостатки, такие как эксплуатационные затруднения при обслуживании варочных котлов, низкий съем пара с  $1 \text{ м}^2$  теплообменной поверхности, повышенный расход пара, коррозия выпарных аппаратов первых корпусов из-за гидролиза серосодержащих соединений черного щелока, снижение производительности выпарных батарей вследствие ограничения температуры греющего пара. Все эти недостатки вызваны интенсивным образованием кальциевых солей в системе верхней циркуляции зоны нагрева варочного котла. Признаком возникновения накипи на трубках подогревателей является падение температуры щелока на линии выхода из подогревателей. Наряду с образованием накипи в циркуляционных теплообменниках, осложнения при эксплуатации вызывают также образование завесаний («мостов») в котле и забивание циркуляционных сит осадком [1].

Они интенсивно зарастают накипью сложного химического и минералогического состава: карбонатами и сульфатами кальция, и органическими соединениями в результате их термической полимеризации в условиях повышенных температур и концентраций черного щелока. Для очистки теплообменных поверхностей грязным конденсатом корпуса выпарных батарей промывают через 3-6 суток. Для удаления не отмываемой конденсатом накипи используют ингибированную соляную кислоту.

В настоящее время среднеэксплуатационная производительность выпарных батарей вследствие указанных недостатков составляет 50-70 % от проектной производительности.

Целью экспериментальной работы является повышение производительности процесса варки технологической щепы и упаривания черного щелока, уменьшение адгезии осадка с металлической поверхностью, повышение коррозионной устойчивости металла, контактирующего с раствором черного щелока, снижение энергетических и эксплуатационных затрат.

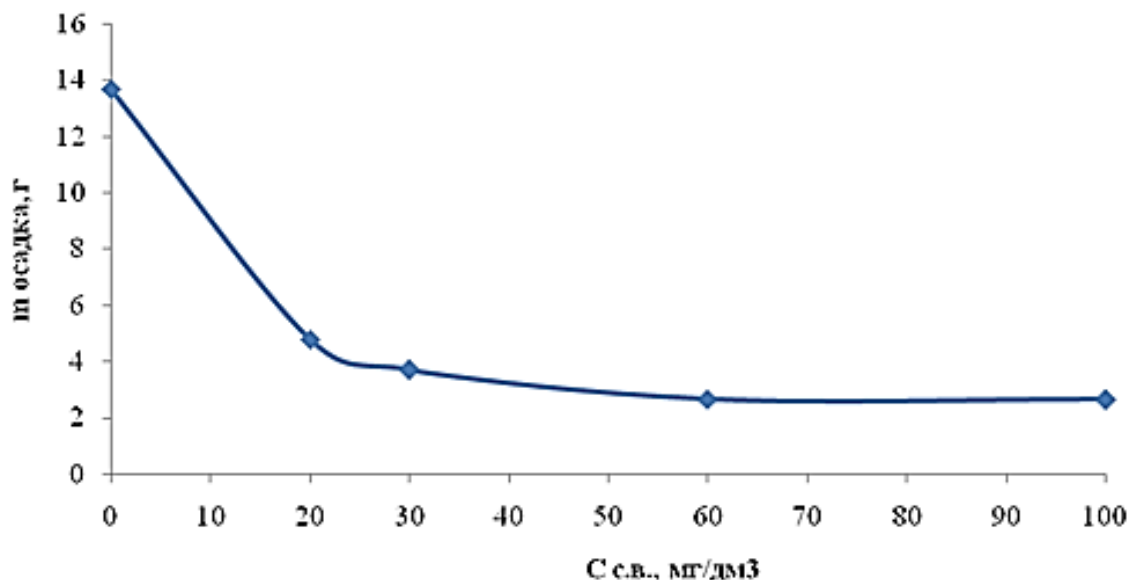
В черный щелок вводят гидрофобные жидкие кремнийорганические соединения, хорошо совмещающихся с щелочными растворами. При контакте с металлическими поверхностями, эти полимеры создают гидрофобную жидкую пленку, которая препятствует отложению накипи на теплообменных поверхностях. При скоростях потока движущейся жидкости можно подобрать

экспериментально такую концентрацию гидрофобной жидкости, при которой ослабленная связь накипи с металлической поверхностью через жидкую пленку разрушается и процесс можно вести в безнакипном режиме.

Эксперимент проводили следующим образом, в черный щелок нижнего циркуляционного теплообменника подают разное количество кремнийорганической жидкости от 10 до 100 мг/кг а.с.в. гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (в пересчете на сухое вещество). Зависимость образования осадка в черном щелоке при упаривании раствора от концентрации кремнийорганической жидкости а.с.в. представлена на рисунке. Уже при добавлении 20 мг/дм<sup>3</sup> наблюдается резкое уменьшение осадка с 13,8 до 5 г, а начиная с 60 мг/дм<sup>3</sup> наступает безнакипный режим [2].

Образование накипи на теплообменной поверхности предотвращается путем образования гидрофобизирующей жидкой пленки на металлической поверхности контакта с кристаллизующимся раствором. Дополнительный эффект достигается за счет сокращения греющего пара от внешнего источника путем стабилизации температуры щелока на выходе из циркуляционных теплообменников.

Для обеспечения процессов нагревания и упаривания щелоков сульфатной целлюлозы концентрацию кремнийорганической жидкости увеличивают до 100-500 мг Si-O/кг а.с.в. Расход выше 500 мг Si-O/кг а.с.в. не целесообразен, большие затраты приводят к заметному росту термического сопротивления гидрофобизирующей пленки.



Зависимость образования осадка черного щелока, m осадка, г, от концентрации кремнийорганики, С с.в., мг/дм<sup>3</sup>

Применение гидрофобизирующих жидкостей ведет к безнакипному режиму в рекуперативных теплообменниках [3]. Решается проблема стабилизации работы циркуляционных теплообменников и реакционной

аппаратуры в процессе варки технологической щепы. Открывается возможность увеличения производительности выпарных батарей путем увеличения общего температурного напора в батарее. Существенно снижается адгезия образующихся отложений к металлической поверхности. Это позволяет отказаться от применения вредных химических реагентов для чистки теплообменной и реакционной аппаратуры и заменить их на механическую чистку, например, гидромонитором. Снизить энергетические затраты пара в процессах упаривания черных щелоков и топлива в процессе сжигания черного щелока. Последнее достигается путем повышения концентрации черного щелока перед его сжиганием.

#### Список литературы

1. Костылева Е. Новые металлсодержащие кремнийорганические соединения. Издательство: LAP Lambert Academic Publishing, Германия. – 2014. – С. 124.
2. Казаков В.Г., Федорова О.В., Субботина К.О. Ингибитор накипеобразования: материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов «Современные задачи промышленных технологий в теплоэнергетическом и лесопромышленном комплексах» СПб. – 2016 г. – с. 14.
3. Дормешкин О. Б. Метод эффективности действия реагентов-ингибиторов накипеобразования, Журнал Химия и технология неорганических материалов и веществ №3. – 2013. – С. 67-70.

**Прочность и деформативность формованных изделий из отходов  
сортирования сульфатной целлюлозы**

**Strength and deformation of molded products from pulp processing waste**

А.В. Поташев

A.V. Potashev

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск

Представлены результаты исследования физико-механических характеристик при растяжении, сжатии и изгибе образцов формованных изделий из отходов производства целлюлозы.

The result of studies of the physico-mechanical properties on tensile, compression and bending structure of molded products from pulp processing waste.

Ключевые слова: бумажное литье, волокно, целлюлоза, отходы грубого сортирования.

Keywords: molded pulp, fiber, cellulose, coarse screenings waste.

В настоящее время в качестве первичной упаковки и вспомогательных упаковочных средств все более широко используются формованные изделия из растительных волокон, отличающиеся по составу, форме и способу изготовления. Данный вид изделий в отечественной практике и научно-технической литературе традиционно обозначается термином «бумажное литье», который в ГОСТ Р 53636-2009 [1] определен как «листы волокнистой массы, отлитые из целлюлозы для изготовления бумаги». Он соответствует международному термину – «molded pulp products» или просто – «molded pulp».

Сырьем для изготовления формованных изделий служат целлюлозные волокна из древесины и однолетних растений, а также волокна макулатуры. Возможность широкого использование вторичного сырья обуславливает растущую востребованность формованных изделий как ресурсосберегающих и экологических материалов.

В качестве еще одного потенциального источника волокна для производства формованных изделий в исследованиях автора рассматриваются отходы грубого сортирования (так называемая «сучковая масса») от производства сульфатной целлюлозы. Данные отходы являются многотоннажными (до 0,5...1,0 % от брутто-массы целлюлозы после варки) и



могут повторно направляться на варку, утилизироваться в многотопливных котлах, рафинироваться и возвращаться в основной поток массы либо использоваться в композиции технических и тароупаковочных картонов. Однако преимущественно они складываются на полигонах промышленных отходов [2].

Автором предложен способ переработки отходов сортирования сульфатной целлюлозы в формованные изделия и получен патент на изобретение [3].

Целью данного исследования является комплексная оценка деформационно-прочностных свойств лабораторных образцов формованных изделий из отходов грубого сортирования сульфатной целлюлозы при растяжении, сжатии и изгибе. Изделия получены с использованием разработанного способа.

Исходные образцы сучковой массы представляют собой древесное вещество, не разделившееся после варки целлюлозы на отдельные волокна. Соответственно свойства данных волокон могут быть оценены только после их гидромеханической обработки.

Производственную сучковую массу подвергали разволокнению в лабораторном центробежном размалывающем аппарате при концентрации 6 %. Разработку волокон отходов проводили до степени помола 16, 18 и 20 °ШР. Далее из полученной волокнистой суспензии концентрацией 1 % изготавливали образцы формованных изделий, имеющих форму усеченной пирамиды. Масса 1 м<sup>2</sup> стенки изделия составляла 400 г. Геометрические размеры и вид полученных лабораторных образцов представлены на рис. 1.

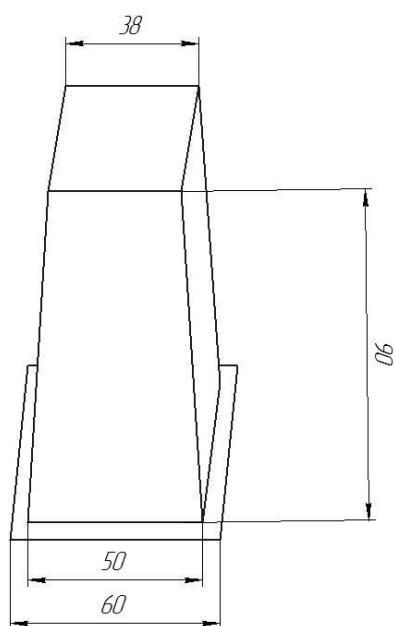


Рисунок 1 – Геометрические размеры и вид образцов

Вначале были определены основные структурно-размерные характеристики исследуемых образцов – толщина и плотность стенок (рис. 2 и 3).

Следует отметить, что при увеличении степени разработки волокон от 16 до 18 °ШР, толщина образцов для отходов сортирования лиственной целлюлозы снижается на 28 % при увеличении плотности на 20 %, а в случае отходов сортирования хвойной целлюлозы на 10 и 7,5 % соответственно, что неизбежно отражается на уровне физико-механических свойств, как материала, так и самого формованного изделия.

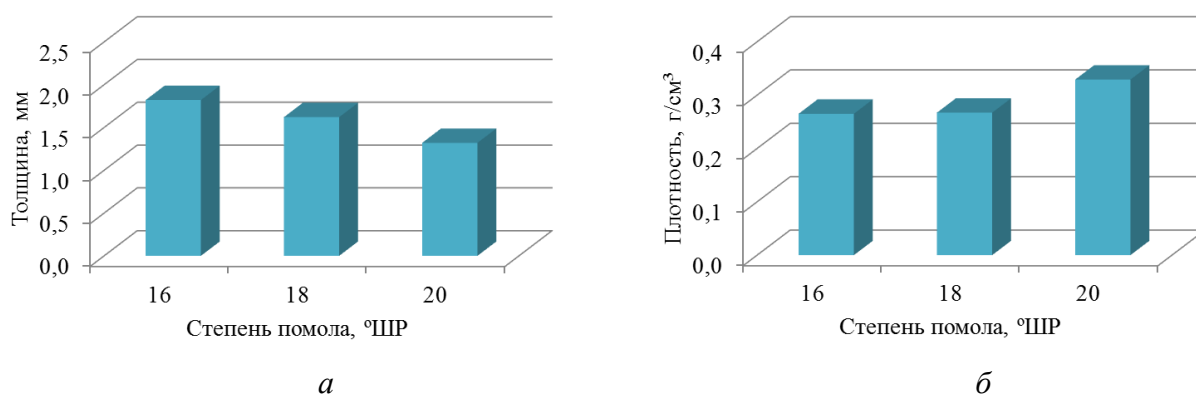


Рисунок 2 – Структурно-размерные характеристики образцов формованных изделий из отходов сортирования лиственной (а, б) сульфатной небеленой целлюлозы

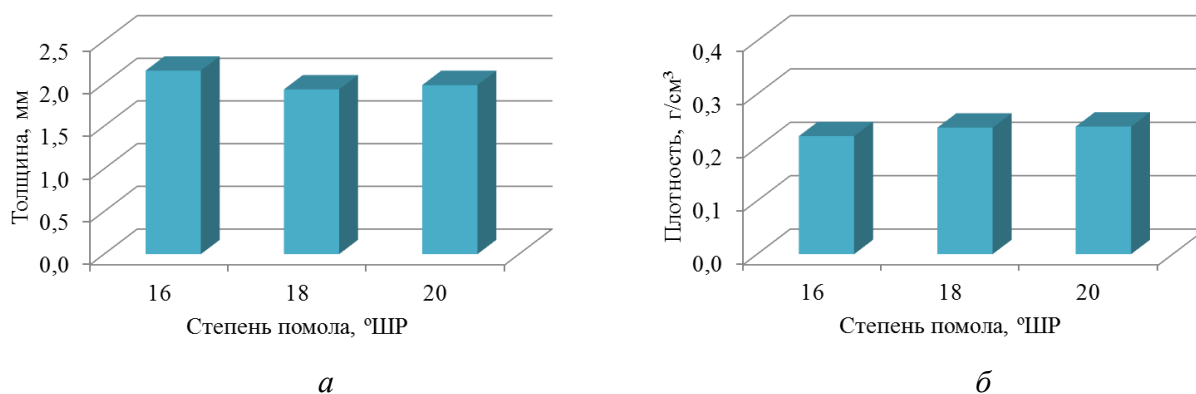


Рисунок 3 – Структурно-размерные характеристики образцов формованных изделий из отходов сортирования хвойной (а, б) сульфатной небеленой целлюлозы

Далее были определены основные прочностные характеристики структуры материала и полученных образцов формованных изделий, их выбор обусловлен необходимостью оценки сопротивления структуры формованных изделий различным внешним воздействиям (растяжение, сжатие, изгиб), возникающим при упаковывании, хранении и транспортировке потребительской продукции. При этом образцы для определения деформативности и прочности структуры самого материала вырезались из боковых стенок полученных лабораторных изделий.

Установлены значения основных характеристик, определяемых при одноосном статическом растяжении с постоянной скоростью: нагрузка разрушения ( $F$ ), жесткость при растяжении ( $S_t$ ), энергия, поглощаемая при растяжении образца ( $TEA$ ), разрушающее напряжение ( $\sigma_p$ ), деформация разрушения ( $\varepsilon_p$ ) и модуль упругости ( $E_t$ ).

Значения характеристик при растяжении, сжатии ( $ECT$ ) и изгибе ( $S_b$ ) образцов материала формованных изделий, полученных из отходов сортирования лиственной и хвойной сульфатной небеленой целлюлозы, в зависимости от степени помола представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики прочности и деформативности при растяжении, сжатии и изгибе материала стенок формованных изделий

Степень помола, °ШР	Характеристики								
	время размола, мин	$F$ , м	$E_t$ , МПа	$S_t$ , Н/м	$\sigma_p$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %	$TEA$ , МПа	$ECT$ , кН/м	$S_b$ , Н/см <sup>2</sup>
Изделия из отходов сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы									
16	8	75	300	470	2,80	1,27	34,3	0,90	6,2
18	10	85	325	525	3,54	1,74	60,1	1,08	6,8
20	12	130	530	700	6,51	1,81	91,9	1,38	7,3
Изделия из отходов сортирования хвойной сульфатной небеленой целлюлозы									
16	10	70	180	410	2,14	2,00	59,3	0,90	5,9
18	14	80	245	475	2,78	1,94	64,0	1,18	6,4
20	18	110	260	520	3,74	2,24	100,2	1,26	7,6

Из представленных данных видно, что максимальный уровень прочностных характеристик достигается на верхней границе принятого диапазона степени помола. При увеличении степени разработки волокон от 16 до 18 °ШР для образцов из отходов сортирования лиственной целлюлозы наблюдается лишь незначительный прирост прочностных и деформационных показателей при стабильной плотности материала. При достижении степени помола 20 °ШР плотность структуры изделий возрастает на 20 % и происходит резкое увеличение уровня деформативности и прочности материала изделия.

Для образцов из отходов сортирования хвойной целлюлозы существенного прироста прочностных показателей с увеличением степени разработки волокон не наблюдается. При этом плотность образцов сохраняется примерно на одном уровне.

Достижение полученных показателей прочности в случае отходов сортирования лиственной целлюлозы, исходя из продолжительности размола, занимает в 1,5 раза меньше времени в сравнении с отходами сортирования хвойной целлюлозы.

При этом следует отметить, что прочностные характеристики образцов из отходов сортирования лиственной целлюлозы имеют уровень примерно в два раза выше соответствующих показателей образцов из отходов сортирования хвойной целлюлозы на верхней границе принятого диапазона степени помола. Однако их способность к деформированию (изменение деформации разрушения  $\varepsilon_p$ ) имеет другую направленность. По мнению авторов, данный уровень деформационно-прочностных свойств исследуемых материалов, объясняется специфическими структурно-морфологическими характеристиками волокон отходов сортирования сульфатной небеленой целлюлозы.

В данном случае волокна при степени помола 20 °ШР, полученные из отходов хвойной целлюлозы, не имеют существенного преимущества по длине волокна (1,12 мм) от волокон, полученных из отходов лиственной целлюлозы (0,78 мм). Результаты измерения основных характеристик волокон, выполненные с помощью анализатора Fiber Tester, представлены в более ранних работах авторов [4]. Такое нетрадиционное распределение структурно-морфологических характеристик волокон, объясняется тем, что в отходах грубого сортирования хвойной сульфатной небеленой целлюлозы в основном присутствуют сучки, в то время как отходы сортирования лиственной целлюлозы состоят в основном из непроварившейся крупной щепы.

Далее были проведены испытания самого формованного изделия на одноосное статическое сжатие с постоянной скоростью с определением значений основных характеристик: нагрузка разрушения ( $F$ ), удлинение ( $\Delta l$ ), энергия, поглощаемая при сжатии образца ( $TEA$ ), разрушающее напряжение ( $\sigma_p$ ), деформация разрушения ( $\varepsilon_p$ ) и модуль упругости ( $E_t$ ). Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики прочности и деформации при сжатии лабораторных образцов формованных изделий

Степень помола, °ШР	Характеристики						
	время размола, мин	$F$ , м	$\Delta l$ , мм	$E_t$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %	$TEA$ , МПа
Изделия из отходов сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы							
16	8	110	8,2	5,67	0,28	8,2	1065
18	10	170	8,5	7,52	0,47	9,5	1980
20	12	235	10,6	10,15	0,81	11,7	4125
Изделия из отходов сортирования хвойной сульфатной небеленой целлюлозы							
16	10	140	10,0	4,74	0,23	11,1	1675
18	14	155	11,2	4,17	0,36	12,5	1995
20	18	160	10,8	4,41	0,37	12,0	2160

Сопротивление сжатию образцов формованных изделий, в отличие от характеристик сопротивления растяжению, преимущественно зависит от

толщины материала и его плотности, при этом не прослеживается четкая зависимость от структурно-размерных характеристик волокон. Соответственно максимальными деформационно-прочностными характеристиками обладают образцы, полученные из отходов сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы, для которых, как и в случае с растяжением, наблюдается резкое повышение уровня данных показателей при увеличении степени разработки волокон. Применительно к образцам изделий, полученных из отходов сортирования хвойной целлюлозы, подобного существенного прироста прочности не наблюдается, а деформационные характеристики сохраняются на одном уровне.

### **Выводы**

1. В качестве альтернативного источника сырья для производства формованных изделий возможно использование отходов грубого сортирования сульфатной небеленой целлюлозы, которые являются экологически безопасным сырьем и способны к повторной переработке.
2. Формованные изделия, полученные из отходов сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы, имеют ряд преимуществ. Во-первых, в настоящее время по объему производства основным полуфабрикатом является лиственная сульфатная целлюлоза. Во-вторых, волокна из отходов сортирования хвойной сульфатной небеленой целлюлозы обладают более низкими структурно-морфологическими характеристиками, что, как следствие, приводит к пониженной механической прочности структуры материала. В-третьих, скорость достижения заданной степени помола, лиственной сучковой массы в 1,5-2 раза выше по сравнению с хвойной.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 53636-2009. Целлюлоза, бумага, картон. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 65 с.
2. ИТС 1-2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. – Введ. 01.07.2016.
3. Пат. 2634235 Рос. Федерации: Способ переработки отходов сортирования сульфатной целлюлозы в формованные изделия / Гурьев А.В., Поташев А.В.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». - № 2016144373; заявл. 11.11.2016; опубл. 24.10.2017.

4. Поташев А.В., Гурьев А.В. Физико-механические свойства структуры формованных изделий из отходов сортирования сульфатной целлюлозы // Системы, методы, технологии. – 2017. – № 3 (35). – С. 120 – 126.

---

*При выполнении исследований использовано оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова), созданного при финансовой поддержке Минобрнауки России.*

**«Сегежская звезда» или пусконаладка БДМ-11**

**"Segezha star" or commissioning of PM-11**

Д.А. Прохоров

D.A. Prokhorov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В статье изложены результаты освоения и пуска новой машины для мешочной бумаги на Сегежском ЦБК.

The article presents the results of the development and launch of a new machine for sack paper on Segezha PPM.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, мешочная бумага, сульфатная целлюлоза, фирма Voith.

Keywords: paper machine, sack paper, kraft pulp, Voith firm.

Ключевым событием 2017 года в мире российской целлюлозно-бумажной отрасли стал запуск новой бумагоделательной машины – БДМ11 для выработки мешочной бумаги на Сегежском целлюлозно-бумажном комбинате (СЦБК). Выделяет это торжественное событие и делает его поистине историческим еще и тот факт, что последний подобный проект по строительству новой БДМ с нуля в России был реализован 25 лет назад, запуском БДМ-8 в Балахне для выпуска газетной бумаги.

В соответствии с подписанным в 2015 году контрактом между АО «Сегежский ЦБК» и концерном «Voith» на сумму более 80 млн. евро, спроектирована и поставлена, а также успешно запущена в эксплуатацию новая бумагоделательная машина производительностью 110 тыс. тонн/год, обрезной шириной полотна 4250 мм, скоростью 800 м/мин, способная выпускать все виды мешочных бумаг в диапазоне 50 – 115 г/м<sup>2</sup>.

Сегежский ЦБК является единственным в России производителем мешочной высокопористой бумаги повышенной прочности. Модернизация комбината проходит в три этапа. Первым этапом, предшествующим строительству новой машины, стала модернизация варочной установки №4 целлюлозного завода в 2015 году, что позволило поднять производительность по варке до 1150 тонн/сутки. В рамках второго этапа модернизации комбината была установлена и запущена осенью 2017 года новая БДМ-11. Третий этап заключается в установке нового многотопливного котла (МТК) в 2018 году

производительностью 120 тонн пара в час. Это позволит комбинату применять древесные отходы и осадок сточных вод в качестве топлива.

Повышение эффективности работы действующего оборудования имеет актуальное значение не только для рентабельности работы Сегежского ЦБК, но и для перспективного развития отрасли в целом для всей страны, а также оказывает позитивное воздействие на экономическую и социальную ситуацию в регионе – республике Карелия. С введением в эксплуатацию БДМ-11 появилась потребность в обслуживающем персонале и инженерах, было открыто порядка 140 рабочих мест. Обеспеченность собственным древесным сырьем и географическое положение республики в то же время создает конкурентные преимущества комбинату, позволяя оперативно реагировать на потребности производства и контролировать стоимость сырья.

Период пуско-наладки новой машины продолжался менее трех месяцев, и 26 октября 2017 года БДМ-11 успешно была запущена в эксплуатацию. А 8 ноября 2017 года состоялось торжественное открытие, в котором приняли участие Секретарь совета безопасности РФ Николай Патрушев, председателя совета директоров АФК «Система» Владимир Евтушенков, Глава Республики Карелия Артур Парфенчиков и президент компании «Voith» по проектам в регионе ЕМЕА Герберт Грай.

Для меня, как инженера пуско-наладки Voith, было большой честью принимать участие в этом интересном и экономически важном проекте, взаимодействуя в нашей мультинациональной команде инженеров, технологов, монтажников и пуско-наладчиков с коллегами из Германии, России, Бразилии, Хорватии, Финляндии, Швеции, Польши, Франции, Китая, Австрии и Швейцарии. Моей зоной ответственности была пуско-наладка некоторого оборудования сушильной части, в т.ч. увлажнителя ModulePro, а также участие в оптимизации работы продольно-резательного станка (ПРС). Стоит отметить высокий уровень автоматизации и укомплектованность машины техническими новинками. Так, например, сеточная часть машины оснащена напорным ящиком с разбавлением MasterJet, а механизм осцилляции DuoShake на грудном валу стимулирует распределение и выравнивание волокон за счет вибраций на сетке, в результате чего улучшается формование бумаги и, следовательно, снижается анизотропия бумаги [1]. Прессовая часть, куда полотно поступает из формующей части, оснащена башмачным прессом NircoFlex с расширенной зоной прессования. Сушильная часть новой машины двухъярусная, многоцилиндровая с каскадной системой пароснабжения в предварительной сушильной части и с применением термокомпрессоров в досушивающей части. Сопловый увлажнитель ModulePro наносит по всей ширине полотна в каждой зоне регулирования водовоздушную смесь с



изменяемым количеством разбрызгиваемой воды, воздействуя тем самым на поперечный профиль влажности. Специально разработанные форсунки с высоким теплоотводом и равномерной теплоотдачей колпаков скоростной сушки MCB-Cans, путем равномерной подачи предварительно нагретого циркулирующего воздуха и равномерного отсасывания испарений, интенсифицируют процесс сушки бумаги [2]. Устройство микрокрепирования бумаги Clurak с использованием эластичного полимерного материала позволяет получить максимально однородный профиль бумаги в поперечном и продольном направлении.

Успешная пуско-наладка новой БДМ-11 стала результатом совместной работы команды «Voith» и Сегежского ЦБК и позволила отправить на экспорт в ОАЭ уже первые тонны «Сегежской звезды» - именно так охарактеризовали бумагу с новой машины сотрудники службы качества комбината.

В период пуско-наладки был достигнут показатель гарантированной производительности машины по намоту. Стоит отметить быстрый переход в период тонкой настройки и оптимизации оборудования с дальнейшим выходом на гарантийные показатели. Уже в начале 2018 года, большая часть из 23 гарантийных показателей на новой машине была достигнута в первые месяцы работы оборудования. Успешно достигнуты и другие показатели, а именно: пористость, прочность, сопротивление на разрыв, эксцентricность и телескопичность катушек с ПРС и др. Основными сортами вырабатываемой продукции являются SKS и SKE, а также SKSHR и SKENR, основное отличие между которыми заключается в различном показателе деформации при разрушении.

На 2018 год запланирован выход БДМ-11 на проектную скорость по намоту, что обеспечит увеличение мощностей комбината на 30 %, до 360 тыс. тонн мешочной бумаги в год. БДМ-11 производства немецкого концерна «Voith» выведет СЦБК на второе место в мире по производству мешочной бумаги из небеленой сульфатной хвойной целлюлозы.

Ввод в эксплуатацию высокотехнологичного и экологически чистого производства позволяет выпускать качественные и востребованные продукты, в числе которых производство бумажной упаковки для тарированного цемента, сухих строительных смесей, продуктов химической промышленности, пищевой индустрии, а также производство бумажных сумок и пакетов для предприятий розничной торговли.

Впрочем, БДМ-11 набирает обороты и не планирует останавливаться на достигнутом. В планах – расширение ассортимента производимой продукции. Уже в мае 2018 года на новой машине выпустили пилотную партию сверхпрочной бумаги премиум-качества маркировки SKEi 4 с показателем

механической прочности на 15 % больше, чем у обычного сорта SKE, а в июне 2018 были выпущены первые мешки из белой бумаги собственного производства.

#### Список литературы

1. Dr. Curt Haefner-Verlag GmbH. Taschenbuch Papiertechnologie. Heidelberg. 2007. 436 S .
2. Dissertation von Martin Tietz. Durchströmungstrocknung von Papier. Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) von der Fakultät für Chemieingenieurwesen der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH). 1992. Hannover.167 S.

**Особенности проектирования интерфейса АСУ газораспределительной сети мегаполиса с учетом эргономических требований**

**Features of ACS interface design of the metropolis gas distribution network taking into account ergonomic requirements**

В.И. Рожков, А.А. Лахай

V.I. Rozhkov, A.Lakhai

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

При создании интерфейса АСУ с использованием SCADA-технологий разработчики программного продукта зачастую игнорируют требования эргономики. Это приводит к увеличению времени на восприятие нештатных ситуаций диспетчерами газораспределительных станций и принятию ими решений по устранению аварийных ситуаций в пунктах газораспределительной сети города. Построение алгоритмов деятельности операторов-диспетчеров с использованием обобщенного структурного метода позволило выявить причины этого явления, построить оптимальные информационные модели, улучшить качество диалога между операторами и системой человек-машина, сократить время принятия решений при обнаружении нештатной ситуации.

When creating an ACS interface using SCADA technologies, software developers often ignore the requirements of ergonomics. This leads to an increase in the time for the perception of emergency situations by the dispatchers of gas distribution stations, their decision-making to eliminate emergency situations at the points of the gas distribution network of the city. Construction of algorithms for dispatcher operators using a generalized structural method allowed to identify the causes of this phenomenon, to build optimal information models, to improve the quality of the dialogue between operators and the man-machine system, to reduce the time of decision-making in case of emergency situations.

Ключевые слова: интерфейс АСУ, проектирование.

Keywords: ACS interface, design.

**Перечень принятых сокращений:** ГРП - газорегуляторный пункт, ГРС – газораспределительная станция, ТФЕ – типовая функциональная единица, ОСМ – обобщенный структурный метод.

С появлением и развитием микропроцессорной техники процесс автоматизации технологических процессов становится все более актуальным.

Внедрение новых программных продуктов с использованием SCADA-систем, позволяющих разрабатывать интерфейсы операторов различных АСУ технологическими процессами, существенно облегчило труд разработчиков программного продукта. К сожалению, привлечение инженеров для разработки новых интерфейсов АСУ выявило отсутствие у них не только знаний в области эргономики, незнание эргономических требований к разработке информационных моделей интерфейса и в целом программного продукта, но и знаний особенности деятельности диспетчеров-операторов АСУ ТП. Следствием этого является появление программного обеспечения с низкими эргономическими характеристиками [1].

Операторам АСУ ТП при работе с низкокачественным интерфейсом приходится затрачивать больше времени на поиск и обнаружение неисправностей техники, распознавание ситуаций, выявление отклонений параметров в аварийных или нештатных ситуациях. Это ведет к задержке принятия решений, что неотвратимо сказывается на качестве обслуживания оборудования и может привести к губительным последствиям как для самой АСУ ТП, так и окружающей среде [2].

На кафедре «Автоматизации технологических процессов и производств» Высшей школы технологии и энергетики (г. Санкт-Петербург) под руководством доцента кафедры к.т.н. Рожковым В.И. студентом – заочником выпускного курса Лахай А.А. было проведено исследование качества интерфейса АСУ газораспределительной сети (ГС) мегаполиса, рассмотрена структура деятельности операторов-диспетчеров в процессе выполнения функциональных обязанностей по поддержанию параметров газа в газораспределительной сети в заданных пределах, управлением технологическими процессами газорегуляторных пунктов (ГРП), действиям по нештатным ситуациям. При этом ГРП рассматривались как системообразующие элементы газовой сети.

В процессе проведения эргономической экспертизы существующего интерфейса АСУ ГС были выявлены характерные отступления от эргономических требований [3, 4], что привело к ухудшению эргономических характеристик программного продукта.

Одной из основных причин низкого качества интерфейса является нарушение последовательности выполнения этапов разработки и внедрения АСУ ТП. В соответствии с ГОСТ 19.102-77 разработка программного продукта должна происходить на завершающем этапе создания системы с выполнением всех необходимых эргономических требований по созданию информационных моделей интерфейса. В реальной жизни проблема создания системы автоматизации газорегуляторных пунктов (ГРП) газовой сети города возникла

тогда, когда было построено и введено в эксплуатацию большое количество объектов. Только после этого были начаты разработки программного обеспечения и интерфейса АСУ ГРП города. До этого момента контроль и управление ГРП производилось в основном вручную или локальными системами контроля и управления отдельных районов. С вводом новых объектов ГРП производится их подключение к уже существующей системе автоматизации.

В результате работы разработчиков ПО АСУ ГС были реализованы следующие виды интерфейсов.

При опросе диспетчеров и внимательном изучении представленных интерфейсов с учетом эргономических требований было выявлено ряд замечаний, которые являются критичными для данного вида деятельности операторов-диспетчеров АСУ ГС, а именно:

1. Программа перегружена элементами управления.
2. Пользователю требуется вводить дополнительную информацию для оценки состояния системы и принятия решения.
3. Программа имеет многодокументный интерфейс, что уменьшает скорость обработки информации.
4. Интерфейс отражает внутреннюю структуру реализации и мышления разработчиков программы, а не диспетчеров, управляющих АСУ.
5. Взаимное размещение объектов (пиктограмм) на экране зачастую не совпадает с их логической связью и/или с их важностью.
6. Отсутствует возможность автоматизировать подготовку необходимой документации для выдачи аварийным партиям заказов-нарядов на устранение нештатных ситуаций в ГРП.

Кроме того, структура существующего интерфейса такова, что при проведении поиска и диагностики неисправности или контроле отклонения параметров газа в аварийном ГРП оператору требуется затратить достаточно большое время на его поиск на экране монитора. При вызове необходимого ГРП на экран выводится типовая схема оборудования, которая ни коим образом не отображает технологическую структуру и состав автоматики реального аварийного объекта. Это несоответствие приводит к необходимости затрачивать дополнительное время на выявление отличий аварийного ГРП от типового, что неизбежно ведет к ошибкам оператора при диагностике неисправности.

С точки зрения работы операционной системы при поиске неисправного ГРП диспетчеру приходится перелистывать страницы с перечнем ГРП (до 10 страниц), что приводит к загрузке каждый раз новой страницы. При этом излишне затрачиваются ресурсы компьютера, а в большей степени ресурсы

вычислительной сети на открывание страницы, что приводит к замедлению работы интерфейса.

Для оценки качества работы операторов-диспетчеров ГРП был составлен перечень выполняемых ими функций по поиску и устранению неисправностей по нештатным ситуациям.

После проведения анализа существующего интерфейса АСУ ГС с учетом эргономических требований были разработаны новые варианты интерфейса, что повлекло за собой изменение структуры действий операторов в процессе выполнения ими работы по нештатным ситуациям.

Затем на основе представленных функций были разработаны алгоритмы деятельности (АД) операторов. За основу для составления алгоритмов деятельности операторов с использованием старого интерфейса были взяты типовые инструкции диспетчеров АСУ ГС. В качестве элементной базы построения алгоритмов было предложено использовать типовые функциональные единицы (ТФЕ) обобщенного структурного метода (ОСМ) профессора Губинского А.И.

Для примера расчета был взят АД оператора по поиску неисправности по сигналу «Низкое выходное давление». При сравнении существующего алгоритма, с использованием старого интерфейса, и нового, с учетом обновленного интерфейса АСУ ГС, выполненного с учетом эргономических требований, видно, что структура деятельности оператора после введения нового интерфейса существенно изменилась.

Применение ОСМ позволяет получать количественные характеристики своевременного и безошибочного выполнения оператором АД  $\beta_{\text{общ}}$ , времени его выполнения  $M_{\text{общ}}$  и дисперсию времени  $D_{\text{общ}}$ . Итоговые значения количественных характеристик деятельности оператора по нештатной ситуации «Низкое выходное давление» по 1-му и 2-му алгоритмам представлены в таблице.

Как видно из полученных в результате расчета данных существенно улучшились показатели качества АД оператора по данной нештатной ситуации, а именно:

1. Вероятность безошибочного и своевременного выполнения АД повысилась на ~5 %.
2. Время выполнения АД снизилось на ~31 %.

При работе операторов в составе смены диспетчеров зачастую возникают вопросы взаимодействия между ними, перераспределение функций внутри коллектива, подключение к работе старшего смены при принятии ответственных решений. В рамках данного исследования эти вопросы остались вне зоны внимания. Однако при последующей работе в этом направлении

предусмотрено исследование взаимодействие операторов в составе команды, определение оптимального распределения функций между ними.

Количественная оценка деятельности операторов с использованием ОСМ существующего и нового вариантов интерфейсов

Итоги расчета АД по существующему интерфейсу			Итоги расчета АД по новому интерфейсу		
Вероятность своевременного и безошибочного выполнения алгоритма, $\beta_i$	Время выполнения алгоритма, $M_i$ , Сек	Дисперсия времени выполнения алгоритма, $D_i$ , Сек	Вероятность своевременного и безошибочного выполнения алгоритма, $\beta_i$	Время выполнения алгоритма, $M_i$ , Сек	Дисперсия времени выполнения алгоритма, $D_i$ , Сек
0,937	846	139,5	0,978	586,6	102,5

В рамках совершенствования структуры деятельности старшего диспетчера предложено автоматизировать процесс выдачи заказов-нарядов старшим аварийных команд для ускорения времени подготовки необходимой отчетной документации. Это потребует ввод определенных данных перед началом смены, однако существенно сократить время оформления документов при появлении нештатной ситуации.

В целом внедрение всего комплекса изменений позволит получить интеллектуальный интерфейс, в котором каждый оператор будет работать только в своем, строго ограниченном секторе системы ГС, без допуска в смежные сектора.

В результате выполнения данного исследования получены следующие результаты:

1. Доказана важность и необходимость применения эргономических требований при проектировании интеллектуальных интерфейсов АСУ, а также при проведении эргономической экспертизы существующих для повышения качества работы операторов-диспетчеров ГС города.
2. Доказана возможность применения обобщенного структурного метода для оценки качества деятельности операторов-диспетчеров АСУ ГС.
3. Доказана возможность применения ОСМ для оценки качества интерфейса за счет построения и количественной оценки АД.

#### Список литературы

1. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник / А.Н. Адаменко,

А.Т. Ашеров, И.Л. Бердников и др.; под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. М.: Машиностроение. – 1993. – С. 528.

2. Ицкевич Э.Л. Способы оценки эффективности систем автоматизации, журнал «Автоматизация в промышленности № 3, 2009. С. 3-9.
3. ISO 9241-125:2017 Ergonomics of human-system interaction - Part 125: Guidance on visual presentation of information.
4. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. М.: ИПК Издательство стандарт, 2008. 12 С.



**Пропитка технологической щепы варочным раствором в загрузочной циркуляции котла установки непрерывной варки целлюлозы**

**Impregnation, industrial chips and cooking liquor in the boot of the circulation of the boiler installation of continuous cooking of cellulose**

В.П. Сиваков, А.В. Вураско, И.А. Партин

V.P. Sivakov, A.V. Vurasko, I.A. Partin

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Цель работы – исследование совмещения транспортирования и пропитки технологической щепы в загрузочной циркуляции установок непрерывной варки целлюлозы. В работе исследованы изменения плотности технологической щепы при деформации суспензии «щепа-щелок» в экспериментальной установке. Установлено, что при объемном сжатии деформация суспензии «щепа-щелок» возрастает с увеличением продолжительности сжатия, давления и снижением жидкостного модуля, а также период продолжительности изменения плотности щепы до плотности варочного раствора. Рассчитаны параметры трубопровода загрузочной циркуляции для обеспечения наряду с транспортированием пропитки технологической щепы.

The aim of this work is the study of combining transportation and impregnation slurry technological chips in the boot circulation equipment of continuous pulp cooking. The study examined changes in the density of industrial chips with the deformation of the suspension «chips-lye» in the experimental setting. It is established that at volumetric compression deformation of the suspension «chips-lye» increases with increasing duration of compression, pressure reduction and liquid module, and the duration of the change in the density of chips to a density of the brew solution. Calculated parameters of the pipe boot to provide circulation along with the transportation technology of impregnation of technological chips.

Ключевые слова: пропитка, деформация, плотность, модель, загрузочная циркуляция.

Keywords: impregnation, deformation, density, model, boot circulation.

В эксплуатируемых трактах загрузки обеспечивают следующие параметры суспензии «щепа-щелок». На входе в трубопровод загрузочной циркуляции варочного котла (ВК): жидкостный модуль  $D = 20...34 \text{ дм}^3/\text{кг}$ ; температура  $T = 105...115 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление  $P = 1,0...1,3 \text{ МПа}$ ; время обработки

суспензии в тракте загрузки (питательная труба, питатель высокого давления (ПВД), трубопровод загрузочной циркуляции 0,5..1,0 мин.); длина трубопроводов загрузочной циркуляции от ПВД до загрузочного устройства ВК 20...90 м; диаметр 200...400 мм. В тракте загрузки ВК технологическую щепу подогревают паром до  $T = 105...115$  °С, повышают плотность щепы, удаляют из щепы воздух и газы.

Зона пропитки суспензии «щепа-варочный раствор» расположена в верхней части ВК. В зоне пропитки суспензия «щепа-варочный раствор» имеет следующие параметры:  $T_{\text{п}} = 115...125$  °С; давление  $P_{\text{п}} = 1,0...1,2$  МПа; время нахождения технологической щепы в зоне пропитки  $t_{\text{п}} = 30...60$  мин.; жидкостный модуль  $D_{\text{п}} = 3,0...3,5$  дм<sup>3</sup>/кг; размеры зоны пропитки ВК: диаметр  $D_{\text{п}} = 3,5...5$  м, высота  $h_{\text{п}} = 7...10$  м.

Из сравнения параметров суспензии в трубопроводе ВК и в зоне пропитки следует, что они незначительно отличаются по давлению и температуре и существенно отличаются по жидкостному модулю и времени нахождения в сравниваемых режимах.

В варочных установках с горизонтальными варочными трубами параллельно проводят процесс транспортирования и технологические процессы пропитки и варки суспензии, что сокращает время цикла варки целлюлозы.

Габаритные размеры трубопровода загрузочной циркуляции можно увеличить для обеспечения более длительного времени обработки суспензии давлением, температурой, варочным раствором без значительных расходов на проектные технологические и конструктивные расходы и подготовку документации. Не представляет затруднений также вопросы изготовления пропиточно-транспортирующего трубопровода загрузки ВК, монтажа и пусконаладочных работ. Для реализации пропиточно-транспортирующего трубопровода загрузки актуален не изученный вопрос изменения плотности технологической щепы при сжатии суспензии в каналах ротора ПВД и трубопроводе загрузочной циркуляции.

Известно, что плотность технологической щепы примерно в 2,1...2,6 раза меньше плотности варочного раствора. В начальный период создания суспензии «щепа-щелок» происходит ее расслаивание. В верхней части зоны пропитки образуется слой из менее плотной технологической щепы. Происходит нарушение обработки технологической щепы варочным раствором [1, 2].

Для изучения процесса деформации суспензии и уплотнения технологической щепы в каналах ротора ПВД и трубопроводе загрузочной циркуляции выполнены экспериментальные исследования на модели ПВД [3-5].

Исследование изменения деформации сжатия суспензии производилось при варьировании трех основных факторов в следующих уровнях: время  $Z_1 = 10 \dots 20$  с; давление  $Z_2 = 1 \dots 1,2$  МПа; жидкостной модуль суспензии  $Z_3 = 4,5 \dots 7,7$  дм<sup>3</sup>/кг. Пределы изменения основных факторов соответствуют режиму работы ПВД.

Суспензия заданного жидкостного модуля загружалась в испытательный цилиндр (рис. 1). При деформации суспензии происходит усадка объема суспензии по высоте. Испытательный цилиндр рассчитан на давление 30 МПа, а максимальное давление в модели 2 МПа. Поэтому принимаем, что испытательный цилиндр не деформируется.

Деформацию сжатия  $\Delta y_m$  суспензии в модели измеряли по ее усадке.

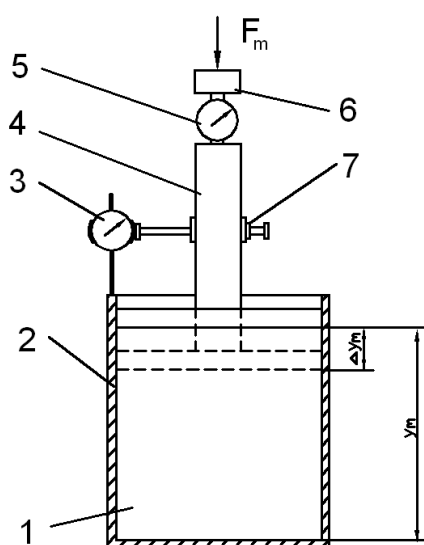


Рисунок 1 – Схема к расчету изменения плотности суспензии в испытательном цилиндре:

- 1 – суспензия; 2 – корпус цилиндра; 3 – микрометр; 4 – поршень; 5 – динамометр; 6 – винтовое нагружающее устройство; 7 – штатив;  $F_m$  – нагрузка на поршень

Исключение «грубых ошибок» измерений в опытах производилось по критерию Стьюдента. По критерию Кохрена, при доверительной вероятности 0,9 установлена воспроизводимость эксперимента.

По методу полного факторного эксперимента определено уравнение линейной регрессии:

$$\varepsilon = 7,875 + 0,375x_1 + 0,625x_2 - 0,875x_3. \quad (1)$$

По критерию Фишера установлено, что уравнение (1) адекватно определяет исследуемую функцию. Показано, что при объемном сжатии деформация суспензии возрастает с увеличением времени сжатия, внешнего давления и снижением жидкостного модуля суспензии.

Жидкую фазу суспензии рассматриваем как несжимаемую. Тогда при деформации сжатия уменьшается объем только твердой фазы (щепы).

Отношение объемов щелока и щепы с постоянными свойствами для одного жидкостного модуля суспензии величина постоянная. Объем технологической щепы  $V_{\text{мщ}}$  в модели до деформации суспензии при жидкостном модуле  $D_{4,5} = 4,5 \text{ дм}^3/\text{кг}$

$$V_{\text{мщ}} = V_m/2,88 = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $V_m = 7,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$  – объем суспензии в модели;

2,88 – отношение объемов щелока и щепы при модуле  $D_{4,5}$ .

Уменьшение объема суспензии в модели при деформации сжатия.

$$\Delta V_m = \frac{\pi d_m^2}{4} \Delta h_m = 9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3, \quad (3)$$

где  $d_m = 0,08 \text{ м}$  – внутренний диаметр канала модели;

$\Delta h_m = 0,018 \text{ м}$  – минимальная высота суспензии в модели, зафиксированная в эксперименте. В качестве передаточных функций при переходе от параметров деформации суспензии к аналогичным параметрам ПВД и трубопровода загрузки применены масштабы теории подобия.

Деформацию суспензии  $\Delta \lambda$  по высоте в канале ротора ПВД при сжатии определяем по формуле:

$$\Delta \lambda = \Delta y_m n_y, \quad (4)$$

где  $\Delta y_m$  – деформация суспензии в цилиндре модели;  $\Delta y_m = 0,018 \text{ м}$ ;

$n_y$  – масштаб геометрического подобия высоты канала ротора  $\ell$  и высоты  $h$  суспензии в цилиндре модели;

$$n_y = \frac{\lambda}{y_m} = \frac{0,48}{0,156} = 3,06, \quad (5)$$

$y_m$  – высота суспензии в цилиндре модели;  $y_m = 0,156 \text{ м}$ ;

$\lambda$  – высота канала ротора;  $\lambda = 0,48 \text{ м}$ ;

тогда  $\Delta \lambda = \Delta y_m n_y = 3,06 \cdot 0,018 = 0,055 \text{ м}$ .

Относительная деформация суспензии в канале ротора ПВД

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l \cdot 100}{l} = \frac{0,55 \cdot 100}{0,48} = 11,46 \% . \quad (6)$$

Объем  $V_{\text{мщ}1}$ , занимаемой щепой в модели после деформации сжатия при несжимаемой жидкой фазе суспензии, определяем по формуле

$$V_{\text{мщ}1} = V_{\text{мщ}} - \Delta V_m = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3. \quad (7)$$

Масса технологической щепы  $m_{\text{мщ}}$  до и после деформации сжатия в модели постоянна, так как объем суспензии герметизирован:

$$m_{\text{мщ}} = \rho_1 V_{\text{мщ}1} = 0,114 \text{ кг}, \quad (8)$$

где  $\rho_1 = 418 \text{ кг/м}^3$  – плотность пропаренной древесины.

Плотность технологической щепы  $\rho_{\text{мщ1}}$  после деформации сжатия в модели

$$\rho_{\text{мщ1}} = \frac{m_{\text{мщ}}}{V_{\text{мщ1}}} = \frac{0,114}{1,82 \cdot 10^{-4}} = 626 \text{ кг/м}^3. \quad (9)$$

После деформации сжатия суспензии в модели, а также в канале ротора ПВД, плотность технологической щепы в модели увеличивается на  $\Delta\rho_{\text{мщ}}$

$$\Delta\rho_{\text{мщ}} = \frac{\rho_{\text{мщ1}} - \rho_1}{\rho_1} \cdot 100 = \frac{626 - 418}{418} \cdot 100 = 49,85 \%. \quad (10)$$

Поскольку относительные деформации суспензии в модели  $\varepsilon_{\text{м}}$  и в канале ротора ПВД  $\varepsilon_{\text{р}}$  отличаются незначительно принимаем, что плотность технологической щепы в канале ротора после деформации сжатия равна аналогичному значению в модели  $\rho_{\text{мр}} = \rho_{\text{щ}} = 626 \text{ кг/м}^3$ .

Проведены исследования по определению периода времени для изменения плотности пропаренной технологической щепы ( $\rho_{\text{щ}} = 418 \text{ кг/м}^3$ ) до плотности варочного раствора ( $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ ). Суспензию «щепа–щелок» деформировали в модели ПВД (рис. 1) при постоянных  $D = 20 \dots 34 \text{ дм}^3/\text{кг}$  и  $P = 1,2 \text{ МПа}$ . Установлено, что плотность технологической щепы из сосны ( $\rho_{\text{щ}} = 418 \text{ кг/м}^3$ ) достигает плотности варочного раствора за  $3 \dots 5,3$  минуты от начала деформации.

В качестве примера определим продолжительность пропитки технологической щепы в трубопроводе загрузочной циркуляции ВК (рис. 2) при следующих исходных данных:

- жидкостный модуль суспензии  $D = 20 \text{ дм}^3/\text{кг}$ ;
- давление в суспензии  $P = 1,2 \text{ МПа}$ ;
- насос высокого давления производительностью  $\Pi = 0,071 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- диаметры ( $d$ ) и длины трубопровода загрузки ( $L$ ), принятые в расчете, приведены в итоговой табл. 1.

Продолжительность пропитки суспензии в трубопроводе  $t$ , мин. (от выгрузки из ПВД до загрузки в ВК) определяем по формуле:

$$t = \frac{\pi d^2}{240\Pi} L, \quad (11)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$L$  – длина трубопровода, м;

$\Pi$  – производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

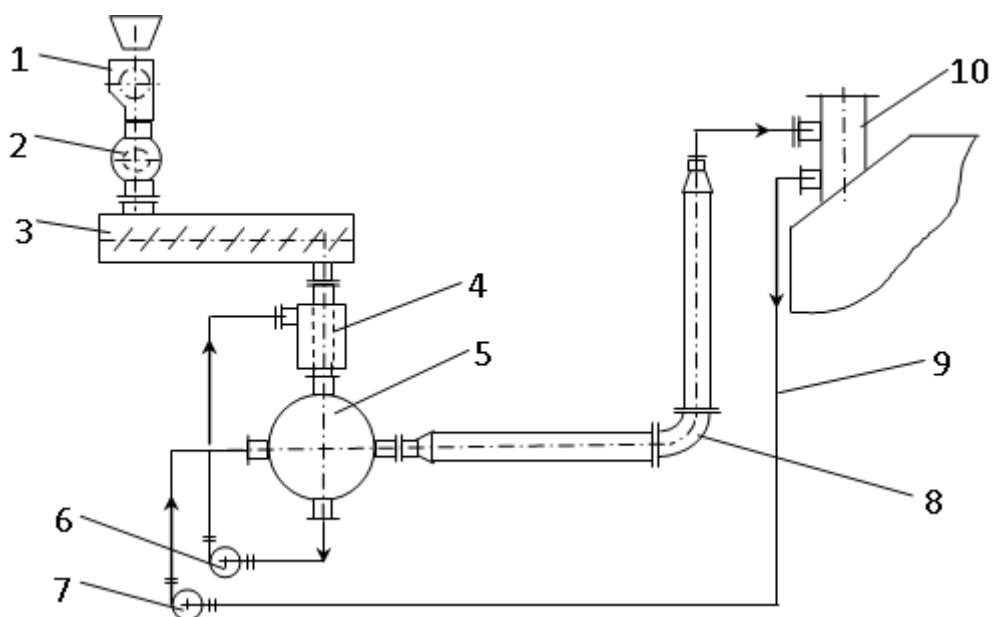


Рисунок 2 – Схема тракта подачи технологической щепы ВК установки: 1 – дозатор; 2 – питатель низкого давления; 3 – пропарочная камера; 4 – питательная труба; 5 – питатель высокого давления; 6, 7 – насосы низкого и высокого давления соответственно; 8 – пропиточно-загрузочная труба; 9 – трубопровод возвратной циркуляции щелока; 10 – загрузочное устройство ВК

Зависимость времени пропитки технологической щепы от параметров трубопровода при жидкостном модуле суспензии  $D = 20 \text{ дм}^3/\text{кг}$

Длина трубопровода L, м	Продолжительность пропитки t, мин., при диаметре трубопровода d, м				
	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2
45	1,0*	2,0*	4,0	6,8	12,1
79	1,7*	3,6	7,1	12,0	21,3

Из таблицы видно, что параметры трубопроводов не обеспечивают продолжительность пропитки, необходимую для увеличения плотности технологической щепы до плотности варочного раствора  $t = 3$  мин (обозначены звездочкой). Продолжительность пропитки (цифры, выделены жирным шрифтом), показывает, что параметры трубопроводов могут обеспечить предварительную пропитку технологической щепы.

Обоснована технологическая совместимость процессов транспортирования и пропитки технологической щепы в загрузочной циркуляции установок непрерывной варки целлюлозы. Экспериментально установлено, что при сжатии деформация суспензии «щепы-щелок» возрастает с увеличением времени сжатия, давления и снижением жидкостного модуля. Экспериментально определен период времени, необходимый для увеличения плотности пропитываемой щепы до плотности варочного раствора. Выполнены вариативные расчеты параметров трубопровода загрузочной циркуляции для совмещения процессов транспортирования и пропитки технологической щепы.

Перемещение процесса пропитки технологической щепы из ВК в предварительный пропиточно-загрузочный трубопровод сокращает продолжительность пропитки в ВК. Освободившийся объем зоны пропитки сократит продолжительность технологических процессов в ВК и повысит производительность установки непрерывной варки целлюлозы.

#### Список литературы

1. Сиваков В.П., Партин А.И. Динамические процессы в питателе высокого давления при выгрузке // Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 117-125.
2. Сиваков В.П., Партин А.И. Кинематические силы процесса выгрузки суспензии из питателя // Лесной журнал. – 2013. – № 1. – С. 153-158.
3. Сиваков В.П., Партин А.И. Критерии подобия модели деформации суспензии в питателе высокого давления // Лесной журнал. – 2013. – № 4. – С. 106-110.
4. Сиваков В.П., Вураско А.А., Мешков А.Д., Гребенщиков М.Ю., Степанова Е.Н. Контроль работоспособного состояния системы циркуляции раствора в варочном котле при многофакторном диагностировании: сб. матер. III всерос. отраслевой научно-практ. конф. «Перспективы развития техники и технологии в целлюлозно-бумажной промышленности»: г. Пермь, 27 февраля 2015 г.: Пермский ЦНТИ, 2015. (299 с.) – С. 199-203.
5. Сиваков В.П., Вураско А.А., Музыкантова В.И., Гребенщиков М.Ю. Определение периодичности очистки сит питателя высокого давления: сб. матер. III всерос. отраслевой научно-практ. конф. «Перспективы развития техники и технологии в целлюлозно-бумажной промышленности»: г. Пермь, 27 февраля 2015 г.: Пермский ЦНТИ, 2015. (299 с.) – С. 204-208.

**Внедрение системы энергетического менеджмента на предприятиях ЦБП**  
**The introduction of an energy management system at the enterprises**  
**of pulp and paper**

Д.В. Тибилова, Н.Н. Голиусова

D.V. Tibilova, N.N. Goliusova

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей статье обосновывается целесообразность внедрения системы энергетического менеджмента на предприятиях ЦБП. Рассмотрены основные принципы организации процессов энергетического менеджмента для предприятия целлюлозно-бумажной промышленности на системном уровне. Предлагается программа внедрения системы энергоменеджмента в соответствии с требованиями международного стандарта ISO50001:2011.

In this article the expediency of introduction of system of energy management on the enterprises of CBP is proved. The basic principles of organization of energy management processes for the pulp and paper industry at the system level are considered. The program of implementation of the energy management system in accordance with the requirements of the international standard ISO50001:2011 is proposed.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, система энергетического менеджмента, международный стандарт ISO50001:2011, программа.

Keywords: pulp and paper industry, energy management system, international standard ISO50001: 2011, program.

Введение. После утверждения федерального закона Российской Федерации от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в различных сферах и секторах экономики России появилась систематическая работа в сфере энергосбережения и роста энергетической эффективности. Основными проблемами на сегодняшний день являются [2]:

- недостаточная эффективность использования месторождений ресурсов в месте наиболее обширного и комплексного получения топливно-энергетических ресурсов;



- недостаточный прирост запасов топливно-энергетических ресурсов, получаемых за счет геологоразведочных работ, от добываемых объемов топливно-энергетических ресурсов (газ, нефть, отдельные марки угля);
- малая интенсивность геологоразведочных работ при исследовании месторождений топливно-энергетических ресурсов.

Проблемы энергоэффективности одновременно с увеличением экологической безопасности производства и повышением социальной ответственности представляют собой центральные объекты исследований практики и современной теории управления промышленными предприятиями. Динамика введения проектов по повышению энергоэффективности в компаниях международного уровня возрастает каждый год, охватывая такие области как проектирование энергоэффективных зданий и сооружений, элементов производственной инфраструктуры. Внедрение таких проектов также является приоритетным направлением деятельности и для российских компаний различных видов экономической деятельности [1]. Привлечение внимания к проблеме актуальности энергосбережения и использования альтернативных источников энергии по причине глобального и локального ресурсных кризисов привело к образованию развитой системы международной стандартизации в сфере энергоменеджмента, которая ориентирована на регламентирование и раскрытие составляющих принципов организации энергоэффективных бизнес-процессов и разработку целесообразной политики предприятий в сфере энергетического менеджмента.

Целлюлозно-бумажная промышленность представляет собой на сегодняшний день один из самых энергоемких видов промышленности, таким образом, имеет значительный потенциал, как для использования комплексных технологий энергосбережения, так и для создания новых принципов энергоменеджмента, заостряющих внимание на проблемах повышения квалификации персонала и на образовании плодотворной социально-трудовой атмосферы, благоприятствующей формированию инновационного потенциала в области промышленной энергетики и росту эффективности использования энергии в производстве. Целлюлозно-бумажная промышленность – это сложнейшая отрасль лесного комплекса, включающая химическую переработку и механическую обработку древесины. Сегодня мировая целлюлозно-бумажная промышленность динамично развивается, ежегодный прирост производства ожидается на уровне 2,5%, и к 2020 году общий объем выпуска бумаги и картона составит около 500 миллионов тонн [4].

В число ведущих экспортеров целлюлозы в настоящее время входят такие страны, как Бразилия, Канада, США, Чили и Индонезия, Финляндия и Швеция,

Уругвай, а также Россия. В табл. 1 представлены показатели экспортных поставок ведущих стран мира [7].

Таблица 1 – Экспорт целлюлозы

Страна	2015 год, тыс. тонн	2016 год, тыс. тонн	Темп прироста, %
Бразилия	11356	12905	12
Канада	7358	7432	1
США	6705	6907	3
Чили	4430	4652	5
Индонезия	3404	3541	4
Финляндия	2764	3096	12
Швеция	2692	2639	-2
Уругвай	2355	2567	9
Россия	2061	2639	28
Нидерланды	1999	1979	-1
Германия	1061	1072	1
Португалия	1146	1135	-1

Данные таблицы свидетельствуют, что наиболее высокие показатели роста экспортных поставок в 2016 году демонстрируют такие страны, как Россия – рост 28%, Бразилия – рост 12% и Финляндия – рост 12%. Увеличили отгрузки целлюлозы на 5% такие страны, как Чили и Индонезия. Главным экспортером целлюлозы в мире выступает Бразилия. Удельный вес экспортных поставок бразильской крафт-целлюлозы в мировом масштабе составляет сегодня 23%. В 2016 году Бразилия отгрузила на мировые рынки 12 905 тыс. тонн товарной целлюлозы, что на 12% больше, чем год назад. Важно отметить, что целлюлозные заводы Бразилии, работающие преимущественно на эвкалиптовой древесине, реализуют на внешнем рынке около 70% от объема производства. На втором месте по объемам экспорта целлюлозы выступает Канада – в 2016 году экспорт целлюлозы, изготовленной преимущественно из хвойной древесины, составил 7432 тыс. тонн. На мировые рынки Канада отправляет 83% товарной целлюлозы от уровня варки. Третье место в мире по экспорту целлюлозы принадлежит ведущему производителю данной полуфабрикатной продукции – США. На экспорт США стабильно отправляет около 16% от уровня варки целлюлозы. В 2016 году объем экспорта целлюлозы в США соответствовал 6907 тыс. тонн, рост 3%.

Россия, в отличие от всех предыдущих стран, в наибольшей степени производит небеленую сульфатную целлюлозу. Так на долю выпуска более дешевой целлюлозы приходится около 70% всего выпуска целлюлозы. Экспорт целлюлозы из России в 2016 году составил 2639 тыс. тонн. Российский рынок целлюлозы сегодня ориентирован на предпринимателей из Китая. В 2016 году 70% российского экспорта целлюлозы приходится на поставки товарной целлюлозы для китайской целлюлозно-бумажной промышленности – свыше

полутора тысяч тонн. В России целлюлозно-бумажная промышленность представлена сохранившимися после распада СССР предприятиями. Отрасль сильно консолидирована и поделена между несколькими крупными холдингами (на 5 ведущих ЦБК трех холдингов приходится 64% производства целлюлозы). Основные регионы производства — Архангельская область, Иркутская область, республики Коми и Карелия [6].

Необходимость внедрения системы энергоменеджмента на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) объясняется следующими причинами: высокой энергоемкостью производства, быстрым ростом тарифов на энергоресурсы и сырье, расширением законодательной базы и потребностью выхода на новые рынки. Наиболее распространенным международным стандартом, который используется в практике, является стандарт серии ISO [5], позволяющий организациям развить внутренние системы и процессы, которые требуются для повышения энергоэффективности. Особенностью механизмов разработки системы энергетического менеджмента, базирующихся на основе стандарта, является их ориентация на экологию с учетом экономии ресурсов предприятий. Стандарт применяется с целью сертификации, проведения аудита систем и контроля текущей и стратегической деятельности. У истоков стандартов на стратегическом уровне лежит методология постоянного улучшения деятельности (PDCA), содержащая осуществление, планирование, проверку и действие. Принципиальная схема модели системы энергетического менеджмента состоит из постоянного совершенствования параметров существующей системы на основании анализа со стороны руководства, мониторинга, данных аудита и т.п. Международная организация по стандартизации в 2011 году представила во внимание средство для осуществления такой деятельности на предприятиях – стандарт системы энергетического менеджмента (СЭнМ) – ISO50001:2011. В 2012 году был принят национальный стандарт ГОСТ Р 50001 – 2012. Система энергетического менеджмента на основе ISO50001 формирует управленческую инфраструктуру, устремленную на стабильные улучшения в сфере энергоэффективности и энергосбережения. Образует инструменты организации для оценки существующего уровня энергетической эффективности, определения потенциалов для его улучшения, мониторинга и разработки мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности, реализации энергосервисных контрактов. В большинстве случаев, на целлюлозно-бумажных предприятиях уже имеется в том или ином виде СЭнМ. На практике видно, что главным недостатком СЭнМ современных предприятий ЦБП является ситуационный принцип функционирования. Это не приводит к разрешению задачи оптимизации управления со снижением затрат на энергию.

Исследования в более чем 12000 компаниях по всему миру, продвинувших систему энергетического менеджмента по международному стандарту ISO50001, показали систематическую динамику энергетических показателей на 10 и более процентов. 7-ая Межминистерская встреча по вопросам чистой энергии объявила старт Кампании по глобальному внедрению системы энергетического менеджмента ISO 50001 (EnergyManagementCampaign). Ее цель состоит в следующем: к 2020 году ввести систему энергетического менеджмента по стандарту ISO 50001 в 50001 организации. Россия посодействовала инициативе по глобальному внедрению системы энергетического менеджмента. По данным европейских экспертов не всегда можно достичь высоких результатов с помощью энергосберегающих технологий. Процесс модернизации производства – это дорогостоящая и долговременная процедура, для которой потребуются дополнительные инвестиции, финансовые, материальные и трудовые ресурсы. Таким образом, можно сказать, что за счет совершенствования в методах и способах управления потреблением энергии можно достичь значительно больших результатов, получив эффект синергии [3]. Система энергетического менеджмента формирует единый контур управления, о чем свидетельствует рис. 1.



Рисунок 1 – Система энергетического менеджмента

Следовательно, можно сделать вывод, что для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности основными принципами организации процессов энергетического менеджмента на системном уровне являются следующие пункты:

1. Формирование энергетической политики промышленного предприятия требует от высшего руководства соблюдения баланса между инновационным, технократическим и системным подходами. Целями энергетической политики могут быть – улучшение использования энергетических ресурсов, достижение конкретных показателей энергетической результативности, снижение загрязнения атмосферы, сокращение вредных выбросов CO<sub>2</sub> и т.д. Установление энергетических целей должно основываться на анализе финансового, технического и организационного положения предприятия.
2. Внедрение системы энергоменеджмента и ее эффективность зависят от профессионализма и качества работы энергоменеджеров. Их задачей является составление и реализация планов мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности организации, решение вопросов, связанных с выявленными проблемными областями потребления энергетических ресурсов, формирование системы, направленной на постоянное улучшение показателей энергоэффективности. Важную роль играет умение менеджера организовать эффективную команду единомышленников для проведения организационных изменений на всех уровнях на основе внедрения и реализации энергетической политики.
3. В основе системы планирования должен быть положен комплексный подход к реализации потенциала энергосбережения. Основопологающим моментом является проведение энергетического аудита, выявление проблемных областей в потреблении энергетических ресурсов, определение и утверждение базовой линии – фактического состояния процессов, связанных с энергетическими ресурсами, в определенный момент времени. Базовая линия необходима для оценки результативности деятельности в области энергосбережения. Организация работы информационно-аналитической системы по контролю энергоэффективности должна быть интегрирована с общей стратегией предприятия для достижения максимальных результатов в области экономии всех видов ресурсов. Помимо учета технико-организационных факторов аналитическая система должна учитывать индивидуальные показатели энергоэффективности персонала (например, число часов обучения в год по программам энергоменеджмента, число индивидуальных инициатив, доведенных до стадии внедрения и т.д.)
4. Управление персоналом с учетом принципов энергоменеджмента является одним из наиболее значимых ресурсов формирования потенциала энергосбережения на предприятии. Введение критериев самостоятельности и ответственности в энергоменеджменте при разработке должностных

инструкций; проведение стратегических сессий по сбережению энергии; организация сплоченной работы с использованием моделей кружков качества для поиска эффективных решений в сфере энергоменеджмента; формирование внутренней системы обмена знаниями в энергоменеджменте; развитие системы индивидуальной отчетности по энергосбережению обеспечивают высокую лояльность персонала существующей энергетической политики.

Используя принципы руководства по энергосбережению на стратегическом уровне, нами разработаны этапы внедрения системы энергетического менеджмента, представленные в табл. 2.

Таблица 2 – Этапы внедрения системы энергетического менеджмента

№ этапа	Содержание этапа	Мероприятия по осуществлению
1	Проведение диагностического обследования.	Оценка текущего состояния действующей системы энергосбережения на соответствие требованиям стандарта ISO 50001.
		Идентификация проблемных мест в области энергоэффективности.
		Отчет о проведении диагностического обследования.
		План разработки и внедрения системы энергетического менеджмента.
2	Разработка системы энергетического менеджмента.	Обучающие семинары.
		Цели, задачи и индикаторы (EnPI) в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.
		Ответственность, полномочия и функции по обеспечению энергоэффективности.
		Документация, необходимая для функционирования системы энергетического менеджмента.
		План мероприятий по достижению целей и задач в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (должны быть созданы карты электропотребления предприятия ЦПП, схемы материальных и энергетических потоков предприятия, проект информационной системы поддержки энергомониторинга и/или энергоменеджмента [3]).
3	Внедрение системы энергетического менеджмента.	Сопровождение реализации требований и процедур системы энергетического менеджмента для достижения целей и задач в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (анализирование СЭнМ со стороны руководства).
4	Сопровождение реализации требований и процедур системы энергетического менеджмента для достижения целей	Внутренний аудит системы (организация семинаров по вопросам проведения аудитов СЭнМ на удовлетворение требованиям стандарта ISO50001:2012, определение несоответствий и их корректировка).
		Выработка мероприятий по улучшению системы.
		Анализ результативности функционирования системы

№ этапа	Содержание этапа	Мероприятия по осуществлению
	и задач в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.	высшим руководством.

Заключение. Применение международной системы стандартизации ISO 50001 свидетельствует о положительном управлении в энергопотреблении во многих странах мира. Системный подход внедрения данного стандарта на предприятиях ЦБП позволит повысить энергосбережение в данной отрасли. Ключевыми факторами успеха (КФУ) внедрения системы энергоменеджмента на предприятиях ЦБП будут являться:

1. Регламентация процессов энергоэффективности. Регламентированы все процессы энергоэффективности с определением порядка выполнения и взаимосвязей процессов между собой. Все заинтересованные подразделения знают, что и в какие сроки делают в рамках процессов энергоэффективности.
2. Мотивация персонала. Определены ключевые показатели эффективности для персонала различных функциональных областей и уровней управления. Персонал замотивирован на выявление областей улучшения в области энергосбережения и энергоэффективности.
3. Вовлеченность в деятельность по управлению энергоэффективностью всех подразделений в рамках закрепленных функциональных зон ответственности позволяет повысить экономическую эффективность предприятия без существенных финансовых затрат. Логичным продолжением работы с персоналом является использование мотивационных и стимулирующих мер и даже механизмов для сотрудников и подразделений, добившихся лучших результатов в экономии энергетических ресурсов. В некоторых организациях новое законодательство предусматривает возможность направления сэкономленных средств на цели премирования работников, способствующих такой экономии [8].

#### Список литературы

1. Голицова Н.Н. Аспекты экологической безопасности региона // Сборник материалов 3-й Международной научно-практической конференции «Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты». – Курск: Изд-во: ЗАО «Университетская книга». – 2018. – с. 40-44.

2. Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период 2030 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://programma-energoberezheniya-i-povysheniya-energeticheskoy-effektivnosti-> (Дата обращения 20.09.2018)
3. Ромодин А.В., Кычкин А.В. Организация системы энергоменеджмента на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности // Сборник материалов I регион. отраслевой науч.практ. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности». – 2013. - Перм. ЦНТИ. – С. 192-200.
4. Российские ЦБК спасет только внутренний рынок [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.bumprom.ru/index.php?ids=290&sub\\_id=21834](http://www.bumprom.ru/index.php?ids=290&sub_id=21834) (Дата обращения 20.09.2018)
5. Терешкина Т.Р., Зорин Н.Н. Управление проектами: стандарты PMI и их развития. – М.: Изд-во: ООО «Редакция журнала «Целлюлоза. Бумага. Картон.». – 2006, №3. – с. 47-50.
6. Целлюлозно-бумажная промышленность: состояние, тенденции, целевое видение. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://proderevo.net/industries/pulp-and-paper-industry/tsellyulozno-bumazhnaya-promyshlennost-sostoyanie-i-tendentsii.html> (Дата обращения 20.09.2018)
7. Целлюлозно-бумажная промышленность: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/efficiency/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/efficiency/) (Дата обращения 20.09.2018)



## **Наноцеллюлоза и технология ее получения**

### **Nanocellulose and technology of its receipt**

А.А. Филимонова

A.A. Filimonova

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г.Санкт-Петербург

Статья посвящена относительно новому материалу – наноцеллюлозе, который в скором времени сможет заменить обычную целлюлозу. Рассмотрен способ получения данного материала. Также приведены варианты использования наноцеллюлозы.

The article is devoted to a relatively new material – nanocellulose, which will soon be able to replace conventional cellulose. The method of obtaining this material is considered. The variants of the use of nanocellulose are also given.

Ключевые слова: наноцеллюлоза, применение наноцеллюлозы, технология получения наноцеллюлозы.

Keywords: nanocellulose, application of nanocellulose, technology of production of nanocellulose.

Наноцеллюлоза – это материал, представляющий собой набор наноразмерных волокон целлюлозы с высоким отношением сторон (длины к ширине), типичная ширина волокна – 5-20 нм, длина – от 10 нм до нескольких мкм [1]. Можно сказать, что наноцеллюлоза – это древесное волокно, которое было расщеплено до наночастиц. Наноцеллюлоза представляет собой коллоидный раствор (гелеподобная масса), который не расслаивается и не образует осадок. Структура этого материала представлена плотно упакованным массивом игловидных кристаллов.

Наноцеллюлоза обладает такими свойствами, как сверхпрочность – по своей прочности превосходит нержавеющую сталь и псевдопластичность, т.е. является вязкой при обычных условиях и ведет себя как жидкость при физическом взаимодействии (тряске, взбалтывании и т.д.). В обычных условиях наноцеллюлоза представляет собой вязкое вещество. При тряске, взбалтывании и ином механическом воздействии она ведет себя как жидкость, при физико-химическом структурировании - приобретает высокие прочностные свойства

Традиционная технология получения наноцеллюлозы является достаточно дорогим технологическим процессом, который связан с разрушением лигнина, присутствующего в сырье для получения

наноцеллюлозы и снижающего качество материала. Лигнин – это сложное полимерное соединение, содержащееся в клеточных стенках и межклеточном пространстве растений и скрепляющее целлюлозные волокна [2]. Древесина лиственных пород содержит 18-24 % лигнина, хвойных – 27-30 %.

Новейший – биотехнологический способ получения наноцеллюлозы удешевляет ее производство в 3,5 раза. Способ состоит из 6 стадий, на одной из которых происходит получение чистых целлюлозных волокон и удаление лигнина. Специальный штамм плесневых грибов *Aspergillus niger* позволяет эффективно и дешево разрушить лигнин.

В качестве сырья для производства используются различные целлюлозосодержащие материалы, в том числе отходы целлюлозно-бумажных комбинатов, которые образуются в больших количествах (сотни миллионов тонн) и представляют значительную угрозу для окружающей среды.

На основе наноцеллюлозы можно создать:

- сверхлегкие и сверхпрочные материалы (отношение прочность / вес в 8 раз большее, чем у нержавеющей стали): различные детали изделий, конструкций, машин, а также супергибкие экраны на замену пластика и стекла, бронежилеты и другие бронированные изделия;
- в медицине и фармакологии наноцеллюлоза применяется в качестве сорбентов и перевязочных материалов, в гигиенических прокладках, тампонах, подгузниках или перевязочного материала (аэрогель наноцеллюлозы), для скрининга биологических соединений и нуклеиновых кислот, кодирующих биологическое соединение (как пленки), как фильтрующий материал на базе наноцеллюлозы для безлейкоцитного переливания крови, для биомедицинского и биотехнологического применения (как эластичный крио-структурированный гель), как матрица для 3D культуры клеток, в качестве композиционного средства для создания покрытия в косметике, например для волос, ресниц, бровей или ногтей;
- благодаря способности эффективно заполнять щели, наноцеллюлоза может использоваться в качестве клеящего материала для устранения технических и строительных дефектов;
- нефтедобыча – использование наноцеллюлозы в качестве жидкости для гидроразрыва нефтеносных пластов является потенциально интересным и масштабным применением. Также наноцеллюлоза может использоваться как основа для буровых растворов;
- бумага и картон. Существует потенциал применения наноцеллюлозы в производстве бумаги и картона для повышения прочности связи между волокнами и, следовательно, создания сильного армирующего эффекта для бумажных материалов. Наноцеллюлоза может быть полезным в качестве

жиронепроницаемого барьера для упаковки и в качестве добавки для улучшения удержания и прочности во влажном и сухом состоянии в бумаге и картоне;

- аналоги наноуглеродных трубок, которые не угрожают окружающей среде;
- фильтры разного назначения, когда структура НЦ напоминает графен, и может применяться для получения пресной воды из морской, очистки в помещениях воздуха, загрязненного дымом и взвешенными вредными частицами;
- сорбенты для сбора разлившейся нефти, масел и нефтепродуктов (структура в виде губки обладает олеофильными и гидрофобными свойствами);
- декоративные элементы, текстиль и отпечатанные на 3-D принтере элементы органов животных и человека, необходимых для трансплантации.

Стоимость наноцеллюлозы на 10 % ниже, чем кевлара, и в десятки раз ниже, чем цена наноуглеродных трубок. По прогнозам Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ среднегодовой темп роста глобального рынка наноцеллюлозы с 2016 г. составит 30 % и к 2021 году может достигнуть 530 млн. долларов, в том числе 250 миллионов долларов в Северной Америке.

По мнению Пану Лахтинена (старший научный сотрудник, руководитель проектов - Наноцеллюлозные и биоматериалы, Технический исследовательский центр VTT Финляндии) продукция на основе НЦ имеет высокую добавленную стоимость и экологическую привлекательность. Например, только в Великобритании сегодня производится 5000 кг наноцеллюлозы, обогащенной минеральными составами, а выручка от реализации научных и коммерческих проектов компании VTT к 2020 году составит 268 млн долларов США.

Пану Лахтинен также представил основные направления производства наноцеллюлозы: переработка древесных отходов (доминирующий) и микробиологический синтез. Последний наиболее детально изучен доктором Малькольмом Брауном из Университета Техаса. Ученый сначала опробовал получение наноцеллюлозы в культуральной среде с помощью чайного гриба (*Kombuchatea*). Однако выяснилось, что для производства в промышленных масштабах потребуется большое количество питательных веществ, особенно сахара, вместительные бродильные чаны и, соответственно, обширная заводская территория. В связи с чем, М. Браун взял за основу ГМО синезеленые водоросли со встроенным геном ацетобактерий. Использование водорослей позволяет создавать целые органические фермы-заводы по производству в промышленных масштабах наноматериала в больших количествах и недорого, так как для жизнедеятельности водорослей нужны

лишь свет, углекислый газ и вода. К тому же, водоросли, поглощая из воздуха углекислый газ, помогут справиться с глобальным потеплением.

Клеточным синтезом наноцеллюлозы также активно занимаются в компании Kruger Inc (Канада), в которой ежедневно перерабатывают 5000 кг растительного сырья для дальнейшего производства компонентов, используемых при производстве продуктов питания, косметических и гигиенических средств, изделий для добычи нефти.

#### Список литературы

1. Vijay Kumar Thakur. Nanocellulose Polymer Nanocomposites: Fundamentals and Applications / Vijay Kumar Thakur. – N.Y.: Wiley. – 2014. –536 p.
2. Махотина Л.Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 3. – С. 52 – 55.

**Переработка методики размолла нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы  
на лабораторном ролле Валлея**

**Upgrade of the method of neutral sulfite semi-cellulose beating  
on the laboratory Valley beater**

Н.Е. Семина, А.В. Лапухова, А.Г. Кузнецов

N.E. Semina, A.V. Lapukhova, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Проведены исследования по определению технологических параметров при размолле нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы на лабораторном ролле Валлея при меньшем количестве волокнистого полуфабриката (по сравнению с ГОСТ 14383.89) с сохранением бумагообразующих свойств целлюлозы. В результате исследований была переработана методика для размолла НСПЦ на лабораторном ролле Валлея, позволяющая использовать меньшее количество волокна и воды.

Studies have been carried out to determine the technological parameters of neutral sulfite semi-cellulose beating by means of laboratory Valley beater with a smaller amount of pulp (compared with GOST 14383.89) with the preservation of the paper-forming properties of pulp. As a result, of research the technique for NSSC beating on a laboratory Valley beater was processed allowing to use a smaller amount of fiber and water.

Ключевые слова: нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, размол, ролл Валлея.

Keywords: Neutral sulfite semi-cellulose, beating, Valley beater.

Целлюлозно-бумажное производство в России является одной из ведущих отраслей производства и оказывает непосредственное влияние на экономическое состояние страны. За последние несколько лет значительно выросло потребление картонно-бумажной продукции предприятиями тароупаковочной отрасли, которая динамично развивается.

Одним из видов волокнистых полуфабрикатов является нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, которую в частности производит Группа «Илим» в городе Коряжма. [1]

В настоящее время полуцеллюлоза получила широкое применение в производстве упаковочных видов бумаг и разнообразных видов картона, в том числе и тарного. [2]

Производство картонно-бумажной продукции – это многостадийный процесс. В качестве сырьевой базы может использоваться как полуцеллюлоза, так и любой другой волокнистый полуфабрикат.

Размол волокнистых полуфабрикатов (ВПФ) проводят как в промышленных, так и в лабораторных условиях. Для лабораторных исследований с ВПФ часто требуется незначительное количество волокна, однако ГОСТ 14363.4-89 подразумевает использование 365 грамм а.с. волокна и 23 литров воды для проведения процесса размола на ролле Валлея [3]. Таким образом, в ходе проведения экспериментов зачастую остается существенное количество неиспользованной размолотой суспензии ВПФ, которая идет в отходы. Порой их количество составляет до половины приготовленного на ролле объема ВПФ. Ориентируясь на вышесказанное, целью данной работы было выбрано исследование актуальной задачи подбора режимов размола на ролле Валлея с целью уменьшения требуемого количества ВПФ без потери или с улучшением характеристик волокна.

Задачами исследования, исходя из цели, являются:

1. Отработка технологических параметров размола на ролле Валлея с постоянной концентрацией массы, но разными объемами.
2. Отработка различных технологических параметров размола на ролле Валлея с постоянным выбранным в первой серии экспериментов объемом, но с разными концентрациями.

Эксперименты проводились с нейтрально-сульфитной полуцеллюлозой (НСЦ).

При проведении исследований для контроля степени размола полуцеллюлозы использовался аппарат Шоппер – Риглера, для определения морфологических характеристик волокна использовали анализатор волокна Morfi Compact и микроскоп МБИ-6.

В первой серии экспериментов готовили волокнистую суспензию с постоянной концентрацией 1,57 % (используется в стандартной методике размола на ролле Валлея) и объемом 6, 8, 10 и 12 литров.

Каждый образец суспензии размалывали в течение 15 минут, через каждые 5 минут отбирая пробы. Результаты влияния размола на морфологические характеристики волокна представлены на рис. 1-5.

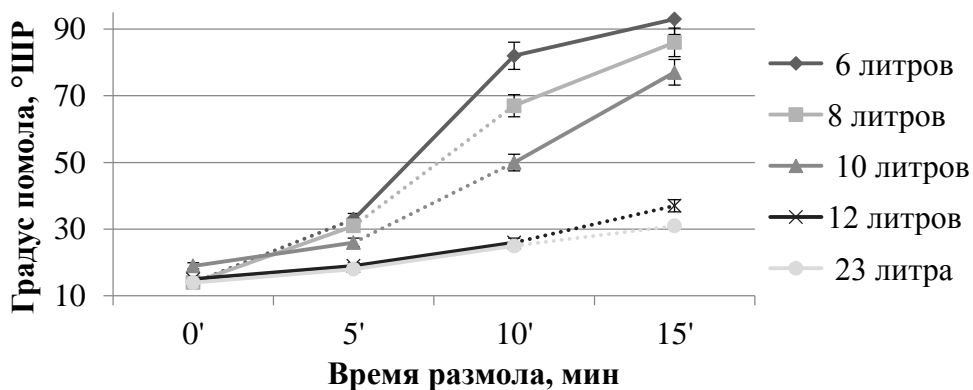


Рисунок 1 - Изменение градуса помола НСПЦ в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

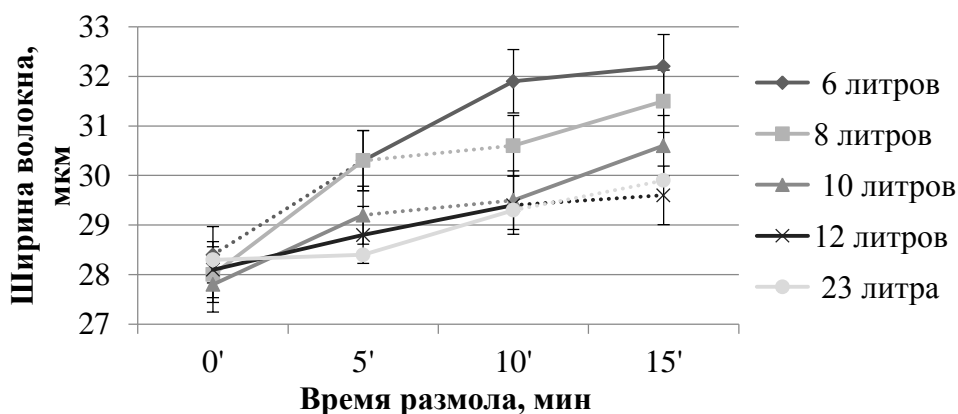


Рисунок 2 - Изменение ширины волокна НСПЦ в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

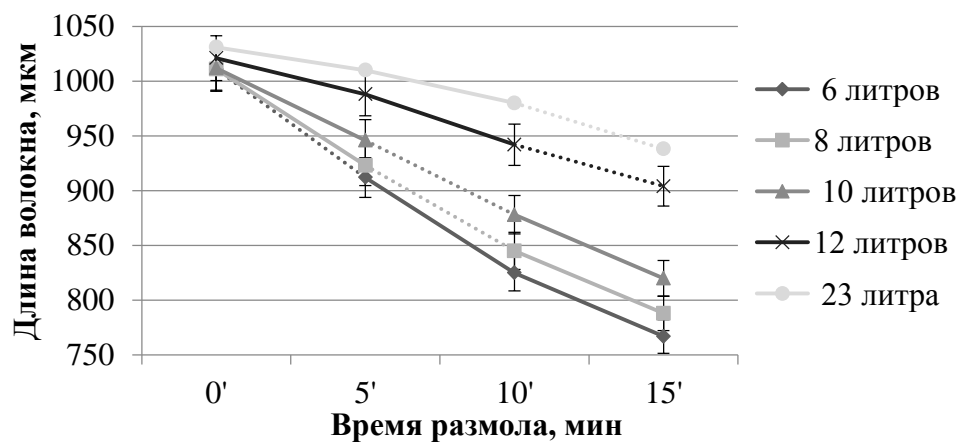


Рисунок 3 - Изменение длины волокна НСПЦ в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

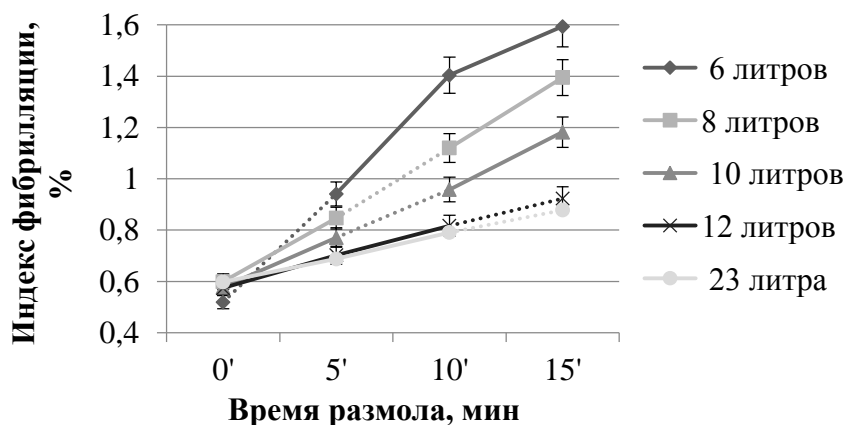


Рисунок 4 - Изменение индекса фибрилляции НСПЦ в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

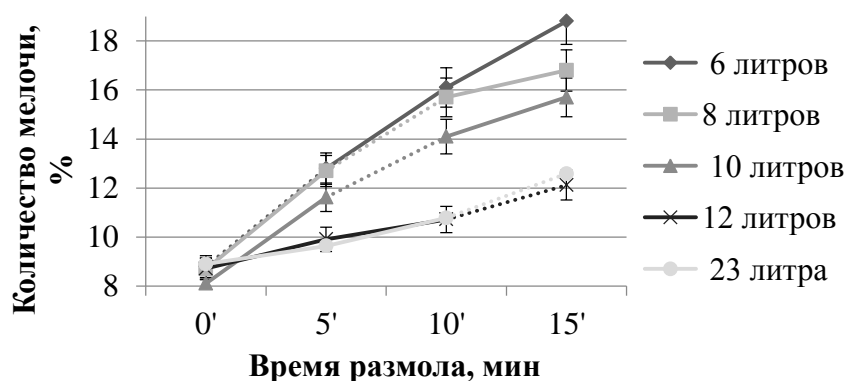


Рисунок 5 - Изменение количества мелочи НСПЦ в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

Длина волокна при размоле НСПЦ имеет главенствующее значение, так как ВПФ уже в первоначальном виде имеет небольшие размеры. В результате 1-ой серии экспериментов было выявлено следующее: оптимальным объемом для размола является 12 литров – при таком объеме длина волокна укорачивается всего на 4 %, а содержание мелочи составляет менее 10 %. Пунктиром на рисунках указан диапазон 30-40 °ШР, именно в нём проводилось сравнение данных, так как волокна размалывают до 35-38 °ШР при производстве флютинга, для которого чаще всего и используют НСПЦ.

Вторая серия экспериментов предполагала размол образцов НСПЦ при разных концентрациях (0,6; 0,8; 1,2; 1,57 %), но с одинаковым объемом, который показал себя наилучшим образом в первой серии экспериментов – 12 литров.

Техника размола ничем не отличалась от предыдущих экспериментов. Каждый образец размалывали в течение 15 минут, отбирая пробы для анализа морфологии через каждые 5 минут. Результаты представлены на рис. 6-10.



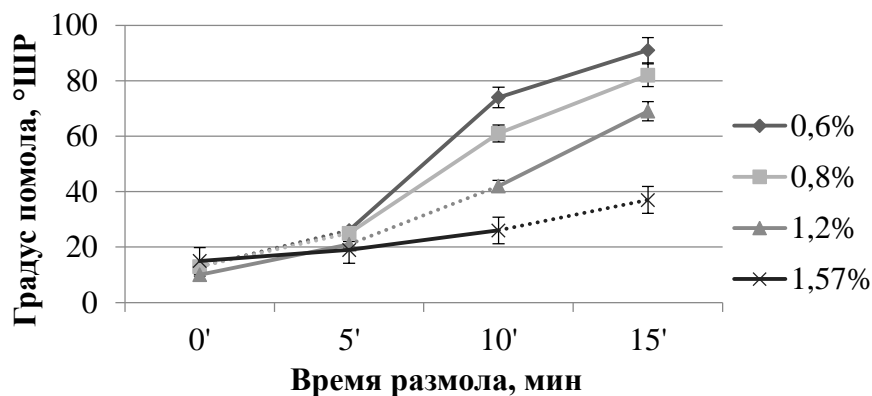


Рисунок 6 - Изменение градуса помола НСПЦ в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

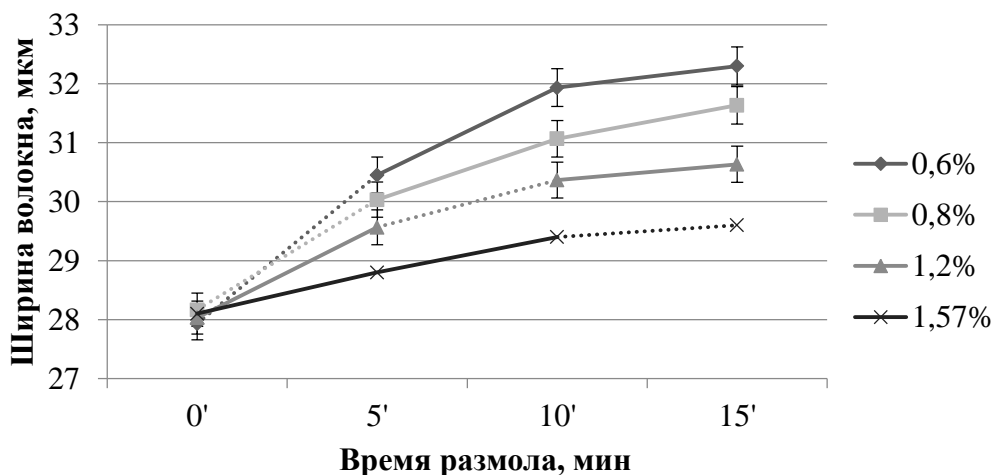


Рисунок 7 - Изменение ширины волокна НСПЦ в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

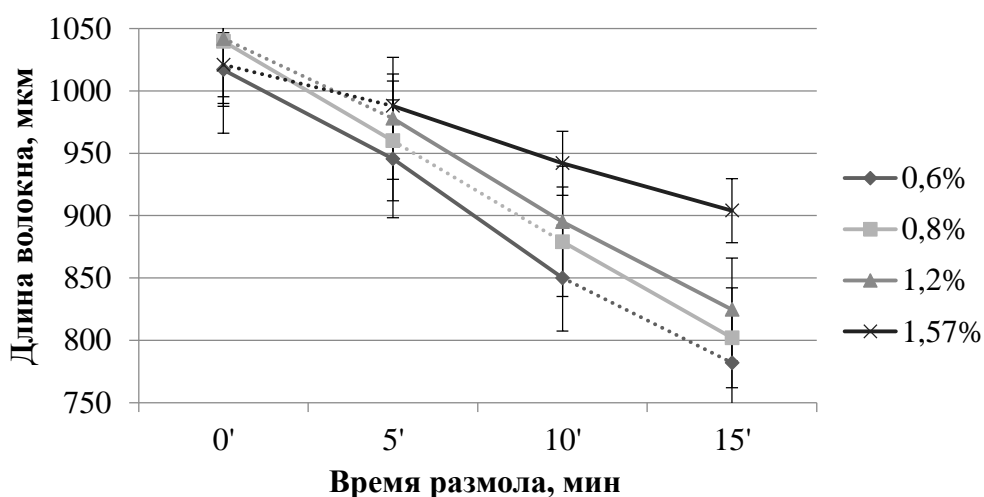


Рисунок 8 - Изменение длины волокна НСПЦ в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

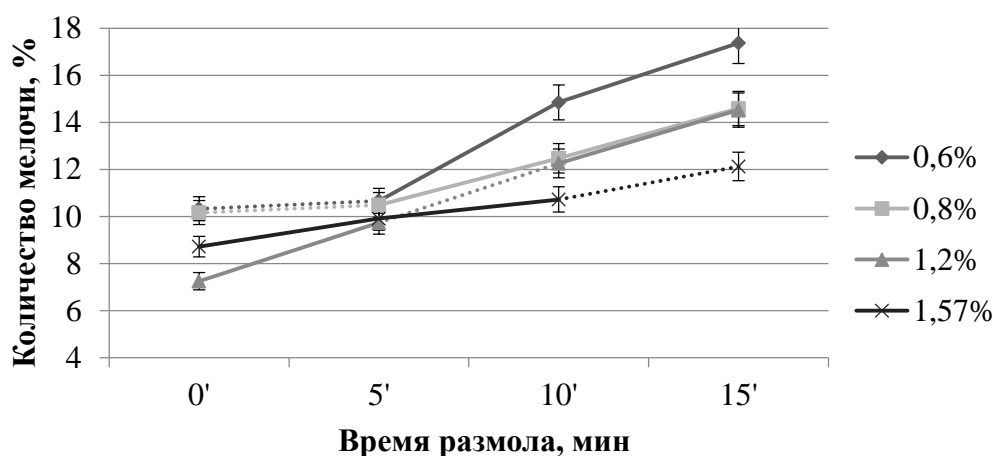


Рисунок 9 - Изменение количества мелочи НСПЦ в ходе размолы образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

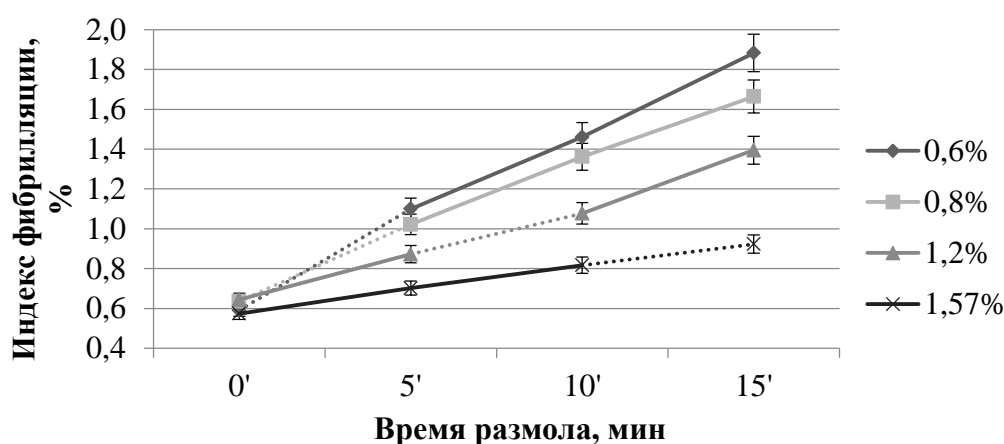


Рисунок 10 - Изменение индекса фибрилляции НСПЦ в ходе размолы образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

Во второй серии экспериментов было выявлено, что при проведении размолы НСПЦ на ролле Валлея с постоянным объемом, но при разных концентрациях наилучшие характеристики волокна достигаются при концентрации волокнистой суспензии 1,2 %, так как для выбранной концентрации уменьшение длины волокна составляет 2,6 %, в то время как для концентрации по ГОСТу (1,57 %) оно составляет 4,2 %; индекс фибрилляции выше, чем у образцов при другом объеме, а количество мелочи меньше. Сравнение полученных данных так же производилось в диапазоне 30 – 40 °ШР (указано пунктиром на графиках).

Результаты, полученные в ходе исследований, позволяют предложить модернизированную методику размолы НСПЦ на лабораторном ролле Валлея – использовать меньшее количество волокна и воды при обеспечении идентичных морфологических характеристик и градуса помола волокна. Показано, что для обеспечения заданных морфологических характеристик и градуса помола размол НСПЦ возможно проводить с концентрацией 1,2 % при

объеме 12 литров. В этих условиях достигается высокая степень фибрилляции волокна при его незначительном укорочении.

#### Список литературы

1. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Справочный документ для производства целлюлозы, бумаги и картона. – М.: Бюро НДТ, 2015. – 109 с.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. I. Технология производства и обработки бумаги и картона / Комаров В.И., Галкина Л.А., Лаптев Л.Н. [и др.]. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
3. ГОСТ 14363.4-89 (ИСО 5264-3-79, ИСО 5269-2-80). Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.
4. Иванов С.Н. Технология бумаги. – Изд. 3-е. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
5. Фляте Д.М. Технология бумаги: учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 440 с.

**Моделирование процесса обработки целлюлозных материалов  
амфифильными соединениями**

**The modeling of the process of treatment of cellulosic materials by amphiphilic  
compounds**

Р.А. Смит, А.Н. Харламова, Е.Ю. Демьянцева

R.A. Smith, A.N. Kharlamova, E.Y. Demyantseva

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Исследовано влияние добавок ПАВ на основные межфазные и объемные свойства. Установлены зависимости смесей ПАВ-фермент от ряда факторов (температура, соотношение компонентов, pH). Настоящая работа является этапом в изучении влияния поверхностно-активных веществ (ПАВ), ферментов и их смесей на смолистость целлюлозных масс.

It was researched of influence of surfactants additives on interfacial and volumetric properties. The influence of temperature, pH, additive surfactant on mixtures (surfactant-enzyme) is determined. This work is stage in study of influence of surfactants, enzymes and their mixtures on resin content in cellulosic materials.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, ферменты липазы, бинарные смеси.

Keywords: lipase enzymes, surfactants, binary mixtures.

Одной из основных проблем в целлюлозно-бумажном производстве являются смоляные затруднения. Традиционно используют ряд нехимических методов борьбы с отложениями вредной смолы, таких как выдержка балансов древесины, фракционирование волокна, добавка наполнителей в бумажную массу, которые адсорбируются на смоле и уменьшают ее липкость. Помимо прочих методов широкое распространение получила реагентная обработка целлюлозной массы поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Помимо решения проблем «смоляных затруднений», поверхностно-активные вещества в ЦБП применяют для облагораживания макулатурного сырья, очистки различных производственных поверхностей, смачивания картона, умягчения бумаг санитарно-гигиенического назначения и пеногашения.

ПАВ образуют мицеллы, в которые включаются молекулы всех поверхностно-активных компонентов, присутствующих в смеси. Особенности

образования смешанных мицелл, их молекулярный состав, установление критической концентрации мицеллообразования и возможность предсказания этих величин вызывает неустанный интерес у исследователей. Изучение смешанных систем представляют как практический, так и теоретический интерес, так как применение смесей ПАВ способствует понижению расход реагентов.

Экологическая проблема является актуальной для всего мирового сообщества. Разработка инновационных процессов, направленных на интенсификацию технологического процесса, способствует как снижению стоимости продукции, так и уменьшению негативного антропогенного влияния на природу.

В настоящее время широкое применение в ЦБП получили различные биодобавки в качестве компонентов многих реакционных смесей, используемых при производстве целлюлозы и бумажных продуктов. Особое место в развивающихся технологиях получили ферменты. Процессы с участием ферментов характеризуются избирательной специфичностью и высокими скоростями, их применение уменьшает воздействие на окружающую среду. Широкое распространение получила липаза, действие которой направлено на расщепление жиров, что является основным компонента смоляных отложений вредной смолы [1]. Недостатком применения липазы, является его высокая стоимость, поэтому исследование совместного применения смесей ПАВ-энзим является актуальным.

Общность природы ПАВ и ферментов обуславливает их широкое совместное применение. Молекулы белка имеют дифильное строение и обладают поверхностной активностью. Однако сведений о структуре надмолекулярных ансамблей на поверхности раздела фаз и о взаимодействии их с мицеллами поверхностно-активных веществ недостаточно. Взаимодействие между молекулами белка и ПАВ зависит от природы и концентрации амфифильного соединения. При их взаимодействии возможно изменение конформации фермента. Применение композиций на основе из ПАВ и фермента не лишено недостатков. Существует проблема, связанная с изменением активности фермента в растворах алифатических соединений. Изменение каталитической активности фермента связывают с модификацией его структуры в присутствии ПАВ. Взаимодействие между молекулами и мицеллами ПАВ и фермента зависит от природы молекул и ряда внешних факторов.

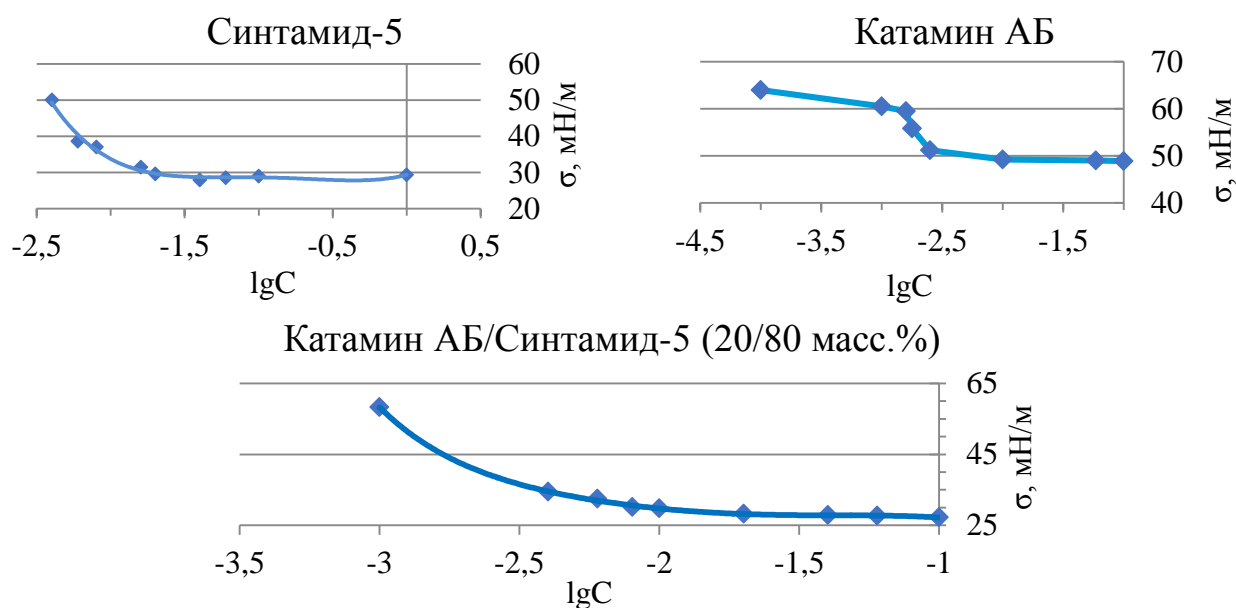
В настоящее время составление композиций ПАВ-энзим, несмотря на множество проведенных исследований, осуществляется эмпирическим путем, так как разработаны лишь общие положения теории обессмоливающего действия, и пока она не способна прогнозировать процесс и свойства

многокомпонентных систем. Однако не было уделено достаточно внимания строению агрегатов ПАВ с энзимами, а также установлению закономерности влияния комплекса факторов на успешность обессмоливания. Данные о влиянии поверхностно-активных веществ на каталитическую активность ферментов противоречивы. В ряде работ [1,2] установлено инактивирующее влияние ПАВ на ферменты, но в [3] наблюдается обратная картина.

В связи с этим целью работы является установление возможного применения модели Рубина-Розена для оценки композиций ПАВ, а также установить влияние ряда факторов на каталитическую активность энзима и в его смесях с поверхностно-активными веществами.

Объектами исследования являлись водно-щелочные растворы ПАВ: неионогенный синтаמיד-5 (полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов СЖК, N-моно-(2-полиэтиленгликольэтил)амид СЖК  $[C_nH_{2n+1}CONHC_2H_4O(C_2H_4O)_mH]$ ) и катамин АБ (алкилбензилдиметиламмонийхлорид)  $[C_nH_{2n+1}CONHC_2H_4O(C_2H_4O)_mH]$ .

Исследовалось поверхностное натяжение растворов и критические концентрации мицеллообразования (ККМ) индивидуальных ПАВ и их бинарных смесей при различных соотношениях компонентов. Поверхностное натяжение было определено методом отрыва кольца Дю-Нуи. По результатам построены изотермы поверхностного натяжения в полулогарифмических координатах (поверхностное натяжение от логарифма концентраций), что представлено на рисунке. По изотермам поверхностного натяжения были определены и рассчитаны ККМ и поверхностные активности индивидуальных ПАВ и их смесей при различных соотношениях компонентов.



Зависимость поверхностного натяжения от lgC растворов ПАВ

Для анализа полученных результатов была использована модель Рубина-Розена [4-9]. На ее основании были определены составы смешанных мицелл и адсорбционных слоев и рассчитаны параметры взаимодействия в мицеллах и адсорбционных слоях, что представлено в таблице.

Параметры взаимодействия  $\beta$  и состав смешанных мицелл Катамин АБ – Синтаמיד-5

Мольная доля Катамина-АБ в смеси $\alpha_1$	Смесь	
	Катамин АБ в мольных долях в смеси	
	X1	$\beta$
0,134	0,264	-15,753
0,254	0,327	-16,016
0,368	0,355	-15,586
0,576	0,438	-15,289
0,760	0,523	-14,943
0,845	0,564	-15,070
0,926	0,533	-14,391

Значения X1 представляют собой мольную долю катамина АБ в смешанных мицеллах. Отрицательные значения параметров взаимодействия указывают на наличие синергизма во всех смесях ПАВ. Наименьший параметр взаимодействия соответствует смеси 20/80, мицелла обогащена Синтамидом-5. Сильные значения взаимодействия компонентами смеси в мицелле. Это согласуется с литературными данными, так как определенный для разных систем (катионное ПАВ-неионогенное ПАВ) параметр взаимодействия изменяется от минус 0,1 до минус 3 в зависимости от структуры ПАВ-компонентов смесей. По-видимому, происходит координация полиоксиэтиленовых цепей НПАВ вокруг катиона. Преобладание в составе мицеллы катамина АБ приводит к увеличению параметра взаимодействия между молекулами ПАВ.

В качестве фермента была выбрана липаза, как один из самых распространенных ферментов, используемых в промышленности. В качестве добавки поверхностно-активного вещества был выбран синтанол ДС-10. Особое внимание было уделено комплексу факторов, таких как концентрация реагентов, температура, кислотность, время контакта и прочее, влияющее на структуру фермента и ПАВ. В качестве независимых переменных выбраны соотношения компонентов, рН и температура.

На основании полученных данных были определены каталитические активности липазы в смеси с синтанолом ДС-10.

По полученным математическим зависимостям можно спрогнозировать

влияние ряда факторов на каталитическую активность применяемых в технологических процессах ферментов, в частности в условиях процесса обессмоливания целлюлозных полуфабрикатов.

#### Список литературы

1. Емельянова М.В. Ферментативное обессмоливание целлюлозы и механической массы: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / М.В. Емельянова; Архангельск. – 2007. – 19 с.
2. Богданова Л.Р. Механизмы регуляции активности липаз в микрогетерогенных системах на основе амфифильных соединений: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 03.01.02 / Богданова Л.Р.; Казань. – 2012. – 22 с.
3. Петрунина Л.С. Разработка физико-химических основ и технологии удаления жировых загрязнений с текстильных материалов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Петрунина Л.С.; Москва. – 2009. – 16 с.
4. Holland P.M., Rubingh D.N. *J. Phys. Chem.* 1983. 87. 1984 p.
5. Huang Z., Gu G. // *Colloids and Surfaces.* 1987. 28. № 1. 159 p.
6. Holland H.M., Rubingh D.N. *Mixed Surfactant Systems.* ACS Symp. 50. Washington // Amer. Chem. Soc. 1992. 491 p.
7. Hua X.Y., Rosen M.J. *Colloid Interface // Sci.* 90 (1982) 212.
8. Nagarajan R. Ruckenstein E. // *Langmuir* 7 (1991) 2934.
9. Rosen M.J. *Phenomena in mixed surfactant systems.* ACS Symp. Washington // Amer. Chem. Soc. 1986. 144 p.



**Частичное осаждение лигноуглеводного комплекса из черного щелока  
как основного направления биорефайнинга древесины**

**Partial deposition of a lignin-carbohydrate complex from black liquor as main  
direction of wood biorefining**

О.Т. Чебанова, К.В. Полякова, О.В. Федорова, В.Г. Казаков

O.T. Chebanova, K.V. Polyakova, O.V. Fedorova, V.G. Kazakov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей статье рассматривается способ усовершенствования технологической схемы путем получения топлива в виде гранул, позволяющий уменьшить энергетические и капитальные затраты. Авторы пришли к выводу, что необходимо осаждать органические соединения из черного щелока, с последующим формированием этих веществ в пеллеты.

Настоящее исследование позволит улучшить производство не только с экономической стороны, но и с экологической.

In this article we considered a way of improvement of a technological scheme, by receiving fuel in the form of granules which allows to reduce energy and capital expenses. We came to a conclusion that it is necessary to besiege organic compounds from black liquor with the following formation of these substances in pellets.

This research will allow to improve productions not only from the economic side, but also from ecological side.

Ключевые слова: биорефайнинг, черный щелок, гранулированное топливо, диверсификация производства, целлюлозно-бумажная промышленность.

Keywords: biorefayning, black liquor, granulated fuel, diversification of production, pulp and paper industry.

Сульфатный способ является основным способом получения целлюлозы, как в нашей стране, так и за рубежом. Одним из основных источников загрязнений являются органические соединения в виде лигнина, углеводов и др., которые содержатся в черном щелоке – продукте варки технологической щепы. Древесная технологическая щепка представлена горючими органическими соединениями и целлюлозой примерно в равных соотношениях.

Потребление энергии в процессе производства сульфатной целлюлозы является определяющей статьей в себестоимости переработки древесной

технологической щепы. Энергия в форме тепла, в виде пара с ТЭЦ, подводится в два основных технологических процесса: варку технологической щепы и выпарку содощелочного раствора. В процесс варки технологической щепы подводят пар давлением 1,3 МПа в количестве 1,1 кВт/т целлюлозы; в процесс выпаривания – пар давлением 0,5 МПа в количестве 1,0-1,6 кВт/т целлюлозы.

Учитывая, что только в РФ производится около 2,5 млн тонн товарной целлюлозы, не трудно оценить общее годовое потребление теплоты в технологическом процессе.

Следует отметить, что органические соединения черного щелока могут перерабатываться в экологически чистое топливо. Практически вся подводимая энергия для непрерывного функционирования технологической схемы производства сульфатной целлюлозы обеспечивается сжиганием лигнина и других углеводов, т.е. путем использования внутренних источников перерабатываемого сырья.

Частичное осаждение органических соединений черного щелока в процессе производства сульфатной целлюлозы с применением высокоэффективной технологии позволит получить высококалорийное экологически чистое топливо. Применение этой технологии в производстве позволит увеличить объем выпуска целлюлозы по варке без введения дополнительного содорегенерационного котла для регенерации химикатов и других процессов и аппаратов (печей обжига известняка, каустификации содовых растворов, переработки зеленого щелока).

Нами были проведены исследования по извлечению органических соединений в виде лигноуглеводного комплекса из части (15-20 %) общего потока слабого раствора черного щелока путем его окисления серной кислотой. В результате нейтрализации щелочи образуется твердый осадок лигнина, смолистые жирные кислоты и др. органические соединения.

Раствор черного щелока, при начальной концентрации 8-20 % абсолютно сухих веществ в количестве 100 м<sup>3</sup>/ч после варки технологической щепы поступает в мешалку, где его обрабатывают раствором 55-90 % серной кислоты при ее расходе 3,42 м<sup>3</sup>/ч. На этой стадии проходят реакции расщепления органических соединений, связанных со щелочью и их выпадения в осадок. Кроме того, проходят химические реакции взаимодействия каустической щелочи и серной кислоты с образованием сульфатов натрия. Выход органических соединений составляет 70-95 % от общей массы горючей органики, содержащейся в растворе.

Суспензия отфильтровывается на фильтре. Твердую фазу горючих органических соединений направляют на переработку в товарный продукт.

По существу, выделенные органические вещества, это те же пеллеты, органическая часть которых (без целлюлозы) перекристаллизована через окисленный раствор черного щелока. Пеллеты, это топливные гранулы, экологически чистый вид топлива (биотопливо) сформированные из отходов производства.

Кристаллизация горючих веществ из раствора после их отделения и промывки по чистоте химического состава выше, чем пеллеты, полученные из древесины. Высушенный твердый продукт, например в грануляторе кипящего слоя характеризуется более высокой теплотой сгорания (35 МДж/кг) в сравнении с жидким топливом на основе органики, поступающей в СРК.

При анализе данных СНН-анализатором получен элементный анализ выделенного лигноуглеводного комплекса (таблица).

Элементный состав лигноуглеводного комплекса

N, %	C, %	H, %
0,04	68,96	5,26
0,03	68,96	4,87

Данные анализа показывают, что лигноуглеводный комплекс по элементному составу схож с составом древесного угля.

Следует отметить ряд преимуществ выделения органической части топлива до выпаривания слабого варочного щелока:

- нет жесткой связи между получением топлива и его использованием в технологическом процессе. Из этого следует, что полученный лигноуглеводный комплекс может быть использован в качестве сырья для переработки на другие, имеющие высокую стоимость продукты (бессернистый лигнин, наполнитель и др.). Возникший дефицит в энергии водяного пара (варочный котел, выпаривание, покрытие тепловых потерь в процессе) может быть покрыт из любого энергетического котла;
- полученный лигноуглеводный комплекс в виде гранул может быть использован в ко- или тригенерационной установке, работающей в том числе по газопаровому циклу с высоким энергетическим КПД. При этом применение такого топлива не возникает проблем, возникающих при газификации черного щелока.
- полученный лигноуглеводный комплекс в виде гранул может быть выпущен как самостоятельный продукт, имеющий потребительский спрос и цену.

#### Список литературы

1. Демин В.А. Химия и технология сульфатных щелоков. Сыктывкар: СЛИ, 2013, 96 с.

2. Казаков В.Г., Луканин П.В., Федорова О.В., Самойленко Д.Е. Модернизация технологического процесса переработки черных щелоков сульфатной целлюлозы // ЖПХ. – 2016. – Т. 89, вып. 5. – С. 654-659.
3. Патент №2617569 Рос. Федерации. Способ кислотно-щелочной переработки черного щелока сульфатного производства целлюлозы / В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова; опубл. 25.04.2017; бюл. № 12.
4. Патент №2634380 Рос. Федерации. Переработка черных щелоков в производстве целлюлозы / В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.В. Федорова; опубл. 26.10.2017; бюл. № 30.
5. Пеликс А.А., Аранович Б.С., Петров Е.А., Котомкина Р.В. Химия и технология сероуглерода. Л.: Химия. – 1986. – 224 с.

**Разработка мероприятий по энергосбережению для промышленного  
предприятия ООО «ЭкоТехЭнерджи»**

**Development of energy conservation activities for industrial enterprise  
EcoTechEnergy ltd.**

А.В. Ян, М.С. Липатов

A.V. Jan, M.S. Lipatov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования освещения промышленного предприятия, разработаны энергосберегающие мероприятия по замене ламп искусственного освещения, а также произведен технико-экономический расчет внедрения аналоговых источников освещения.

In this paper presents the results of an experimental study of industrial lighting, developed energy-saving measures to replace the lamps of artificial lighting, as well as a technical and economic calculation of the introduction of analog lighting sources.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, светодиодное освещение, люминесцентные лампы, энергетическое обследование.

Keywords: energy conservation, energy efficiency, led lighting, fluorescent lamps, energy audit.

В 21 веке огромная доля электроэнергии тратится на освещение улиц, рекламных щитов, а точнее на создание искусственного освещения, следовательно, вопрос по оптимизации трат электричества встает ребром. Оптимальное распределение энергетических ресурсов является важной составляющей для промышленных предприятий. Промышленным предприятиям необходимо использовать энергосберегающие технологии доступные на сегодня. Первым делом необходимо провести энергетическое обследование.

Энергетическое обследование это оценка всех аспектов деятельности организации или здания, которые связаны с затратами на топливо и энергию различных видов. Для промышленных предприятий следует использовать автоматизированную систему контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

В наш век инновационных технологий, люди не особо задумываются при выборе ламп для освещения помещений и рабочих мест.

Экспериментальные исследования на промышленном объекте ООО «ЭкоТехЭнерджи» [1] были произведены с помощью комбинированного прибора «ТКА-ПКМ 08» (рис. 1). Данное устройство универсально, включает в себя пульсметр (для измерения коэффициента пульсации) и люксметр (для измерения уровня освещенности). В ходе работы были сняты показания освещенности и мерцания осветительных приборов цехах и комнатах персонала.



Рисунок 1 – Пульсметр + люксметр «ТКА-ПКМ 08»

Пульсметр - Люксметр предназначен для измерения коэффициентов пульсации и освещенности, образуемой комбинированным освещением, источник которого расположен произвольно от прибора. Прибор основан на непрерывном преобразовании сигнала, происходит дискретизация аналогового сигнала и дальнейшее его преобразование последовательности дискретных отсчетов. Отсчеты сигналов в виде двоичных слов. Слова преобразуются в цифровом процессоре по заданному ранее алгоритму. Для визуализации процесса преобразования сигнала используется жидкокристаллический индикатор. Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемным устройством излучения в электрический сигнал с последующей обработкой его микроконтроллером и цифровой индикацией числовых значений коэффициента пульсаций в % и освещенности в лк [2].

Коэффициент пульсации измеряется в процентах, устройство «ТКА-ПКМ 08» определяет минимальное, максимальное и среднее значение освещенности пульсирующего излучения и рассчитывает значение коэффициента пульсации по приведенной формуле:

$$K_{л} = 100 \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}},$$

где  $E_{\max}$  и  $E_{\min}$  – максимальное и минимальное значения освещенности за период колебания, лк;

$E_{\text{ср}}$  – среднее значение освещенности за период, лк.

В ходе проведения измерений в шести цехах по слесарно-механическим работам были получены экспериментальные значения освещенности и мерцания осветительных приборов (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели освещенности и мерцания в цехах

№ п/п	Освещенность, лк	Мерцание, % (Кл)
1	245	6
2	360	16
3	290	9
4	400	14
5	320	35
6	375	25

Для оценки адекватности освещенности и пульсации воспользуемся нормируемыми показателями искусственного освещения для промышленного предприятия, регламентируемые сводом правил 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» (табл. 2).

Таблица 2 – Нормируемые показатели

Помещение	Искусственное освещение	
	Освещенность, Е, лк	Коэффициент пульсации Кл, % не более
Слесарно-механический участок	350	20
Кабинеты и комнаты персонала	300	15

На основе экспериментальных данных построены диаграммы. На рисунке 2 видно, что в 3 цехах из 6 освещенность ниже нормы (рис. 2. а), а также в 2 цехах (33%) мерцание ламп превышает нормируемый показатель (рис. 2. б). Тем самым возникает необходимость по замене осветительных приборов в этих помещениях для приведения показателей в пределы нормы, установленные СанПиН. Для этого было выявлено, какие лампы искусственного освещения используются в помещениях с недопустимыми условиями, и произведено их сравнение с аналогами. Во всех шести цехах установлено по 24 люминесцентные лампы мощностью в 18 Вт.

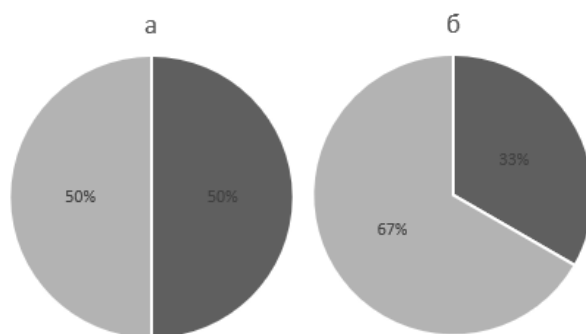


Рисунок 2 – Процентное соотношение цехов с нарушением показателей:

а – количество цехов, подходящих по критерию освещенности,

б – количество цехов, подходящих по критерию мерцания

Для проведения мероприятия по энергосбережению предлагается замена на светодиодные источники искусственного освещения, а точнее на панель ДВО 01 36 01 с характеристиками, указанными в табл. 3.

Преимущества светодиодных ламп: низкое потребление электроэнергии всего 10 % от лампы накаливания с одинаковой мощностью; долгий срок службы до 50000 ч; высокий ресурс прочности от механических повреждений и вибрационная устойчивость; низкое рабочее напряжение; экологически чистый продукт по сравнению с люминесцентными лампами [3].

Таблица 3 – Характеристики светодиодной панели ДВО 01 36 01 [4]

Потребляемая мощность	36 Вт
Световой поток	3600 лм
Светоотдача	94 лм/Вт
Пульсация светового потока	<5%
Срок службы	50 000 ч

Стоимость одного кВт/час составляет 4,5 рубля. В каждом цеху в среднем каждые сутки лампы горят по 12 часов. Расчет экономии электроэнергии представлен в табл. 4.

Таблица 4 – Расчет экономии электроэнергии

Наименование показателя	Формула для расчета показателя	Результаты	
		Освещение люминесцентными лампами 4x18	Использование светодиодных панелей
Мощность, потребляемая на освещение, кВт	$P_{\Sigma c} = 144 \cdot 0,018 \cdot 4 \cdot 1,2$ ; $P_{\Sigma сп} = 144 \cdot 0,036$	13	5
Потребляемая эл. энергия на освещение за год, кВт·ч	$P_{год.э\acute{e}}^c = P_{\Sigma c} \cdot t_{раб}$ ; $P_{год.э\acute{e}}^{сп} = P_{\Sigma сп} \cdot t_{раб}$	56 940	21 900
Стоимость затрат на эл. энергию за год, руб	$C_{год.э\acute{e}} = P_{год.э\acute{e}} \cdot 4,5$	256 230	98 550



Исходя из расчетов сумма затрат в месяц на электроэнергию в 2,6 раз меньше, соответственно для люминесцентных это 21352 руб., а для светодиодных панелей 8212 руб.

Расчет окупаемости светодиодного освещения был определен следующим образом:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{C_{\text{зак}}^{\text{сп}} - C_{\text{зак}}^{\text{с}}}{C_{\text{мес.ээ}}^{\text{с}} - C_{\text{мес.ээ}}^{\text{сп}}} = \frac{237600 \text{ руб} - 160387 \text{ руб}}{21352 \text{ руб/мес} - 8212 \text{ руб/мес}} = 5,8 \text{ мес},$$

где  $C_{\text{зак}}^{\text{сп}}$  – закупка светодиодных панелей;

$C_{\text{зак}}^{\text{с}}$  – закупка люминесцентных ламп;

$C_{\text{мес.ээ}}^{\text{с}}$  – стоимость электроэнергии в месяц при использовании люминесцентных ламп;

$C_{\text{мес.ээ}}^{\text{сп}}$  – при использовании светодиодных ламп.

Трата на электроэнергию в месяц снизится на 62%, а окупаемость данного мероприятия по энергосбережению составит полгода. Исходя из результатов проделанной работы, имеется обоснованная возможность сократить расход электроэнергии (при этом не ухудшая условия освещённости помещений) и удовлетворить все нормы установленные СанПиН, путём реконструкции существующей системы освещения с использованием модернизированных светодиодных панелей и организации их грамотной эксплуатации.

#### Список литературы

1. Официальный сайт ООО «ЭкоТехЭнерджи» [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ekotechenerdzh.tiu.ru/> (дата обращения 15.09.2018).
2. Описание лабораторного стенда [электронный ресурс] // Портал Мегаобучалка. Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/7/24262.html> (дата обращения 15.09.2018).
3. Проектирование и расчет систем искусственного освещения: учебное пособие / авт.-сост. В.В. Гоман, Ф.Е. Тарасов; Мин-во образ. РФ, ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский энерг. ин-т. – Екатеринбург: УрФУ. – 2013. – 76 с.
4. Липатов М.С. Применение энергосберегающих решений в системе освещения бюджетных учреждений // Лучшая научно-исследовательская работа 2017: сб. статей. – Пенза, 2017. – С. 83-88.

**Мицеллообразующие свойства облагороженного сульфатного мыла при введении добавки отечественного ПАВ неонла 9-6**

**Micelle-forming properties of the treated sulphate soap with the addition of a Russian produced surfactant of neonol 9-6**

М.М. Яровцова, О.С. Андранович, Е.Ю. Демьянцева, Р.А. Смит

M.M. Yarovtsova, O.S. Andranovich, E.Yu. Demyantseva, R.A. Smith

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Определены коллоидно-химические характеристики композиции синтетического ПАВ неионогенного типа отечественного производства и полученного в результате переработки древесины сульфатного мыла. Показано влияние на мицеллообразующую способность сульфатного мыла синтетического ПАВ.

The colloid-chemical characteristics of the composition of a Russian produced synthetic nonionic surfactant and sulfate soap obtained from wood processing have been determined. The effect of synthetic surfactant on the micelle-forming ability of sulphate soap is shown.

Ключевые слова: сульфатное мыло, неионогенный ПАВ, отработанный щелок.

Keywords: sulfate soap, nonionic surfactant, spent liquor.

Солубилизация или индуцированное коллоидное растворение в мицеллах поверхностно-активных веществ – одна из основополагающих стадий всех технологических процессов, связанных с производством медицинских препаратов, косметических средств, а также в химической промышленности, в том числе при производстве различных волокнистых полуфабрикатов.

Отличительной особенностью ПАВ как солубилизаторов является их универсальность в применении растворителя – они работают как в водных, так и неводных системах, что определяет широкий круг их возможного применения, а также позволяет создавать толерантную среду для действия разнообразных биологически – активных добавок. Строение молекул ПАВ предопределяет особенности образованных ими супрамолекулярных структур [1], поэтому особое внимание уделяется исследованию различных классов тензидов, разнообразных по своей структуре и, соответственно, механизму солубилизации. Влияние смесей поверхностно-активных веществ (ПАВ) на

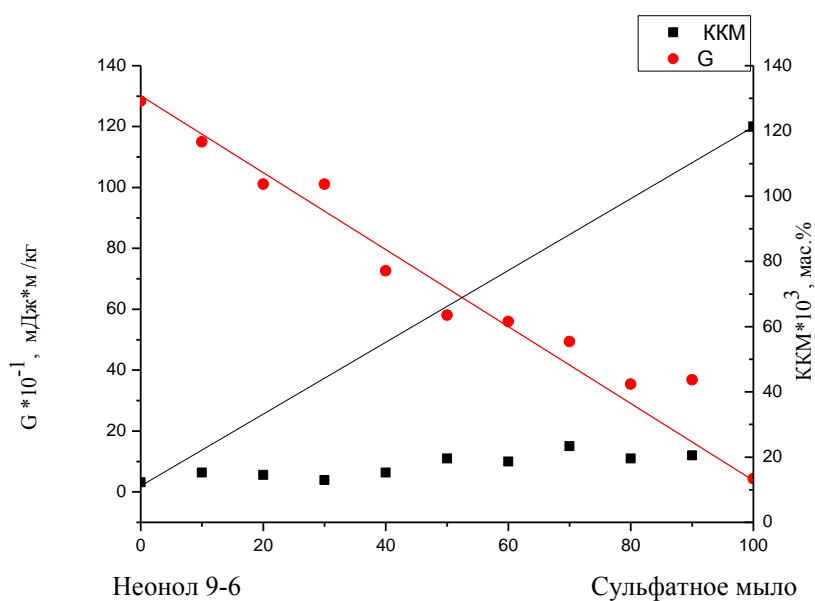
различные физико-химические процессы в дисперсных системах (мицеллообразование, адсорбцию, солюбилизацию, стабилизирующее действие, смачивание и др.) вызывает большой интерес у исследователей. Это связано с тем, что смеси по сравнению с индивидуальными ПАВ позволяют более эффективно регулировать свойства дисперсных систем и протекающие в них процессы. Особенности смешанных систем связаны с наличием специфических взаимодействий между молекулами (ионами) ПАВ различных типов, которые могут приводить к усилению или ослаблению действия смеси в отношении какого-либо свойства системы. Такое неидеальное поведение растворов смесей ПАВ представляет теоретический и практический интерес. Определение критических концентраций мицеллообразования (ККМ), состава смешанных мицелл и адсорбционных слоев на различных границах раздела фаз играет важную роль в моделировании структуры и свойств этих систем, а также в описании различных коллоидно-химических процессов (адсорбции, смачивания, солюбилизации, мицеллярного катализа и др.) [2].

Основной мировой экологической тенденцией является снижение негативного антропогенного влияния на природу. Использование ПАВ природного происхождения поможет снизить экологическое давление. В результате переработки древесины из отработанных щелоков сульфатцеллюлозного производства выделяют сульфатное мыло, который является одним из представителей технических ПАВ, полученных при переработке природных веществ.

Сульфатное мыло представляет собой водно-солевой коллоидный раствор сложной смеси натриевых солей смоляных и жирных кислот, неомыляемых веществ, лигнина, а также других компонентов черного щелока. Поверхностно-активные свойства мыла обусловили возможность его добавки в асфальтобетонные смеси, применение в качестве собирателя при флотационном обогащении руд в производстве минеральных удобрений и др.

Настоящая работа посвящена модификации сульфатного мыла синтетическим ПАВ неионогенного типа с целью повышения его мицеллообразующих свойств с перспективой дальнейшего использования данной композиции в различных технологических процессах.

В работе были рассмотрены водные растворы композиций неионогенного поверхностно-активного вещества (НПАВ) ненола 9-6 и сульфатного мыла, взятых в различных соотношениях.



### Влияние добавки неонала 9-6 ПАВ на мицеллообразующую способность обогащенного сульфатного мыла

Как видно из рисунка, во всем диапазоне соотношения компонентов сульфатное мыло: неонол 9-6 наблюдается синергетический эффект в мицеллообразовании бинарной смеси. Наибольшим синергетическим эффектом обладает смесь при соотношении 90:10 (ККМ=0,012 мас.%). Значения поверхностной активности практически во всем диапазоне близки к аддитивным величинам, кроме соотношения 90:10. По-видимому, уже небольшая добавка неонала к сульфатному мылу повышает его гидрофобность, тем самым ускоряя процесс агрегации молекул сульфатного мыла.

#### Выводы

Добавка синтетического ПАВ неионогенного типа неонала АФ 9-6 в количестве 10 % повышает мицеллообразующую способность сульфатного мыла в 10 раз. В результате резко повышается солубилизирующая способность мыла, а его расход уменьшается.

#### Список литературы

1. Холмберг К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2015.
2. Селянина Л.И., Коптелов А.Е. Перегонка с водяным паром – эффективный способ регулирования качества таллового масла // Лесной журнал. – 2002. – №5. – 116 с.

## **Экспорт биотоплива из России и его причины**

### **Export of biofuels from Russia and its causes**

В.О. Айкашева, А.Г. Кузнецов

V.O. Aikasheva, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В работе было выполнено сравнение двух видов топлива: пеллет и каменного угля. Приведен пример использования каменного угля, как более традиционного топлива, которое в нашей стране можно заменить на более экологичное и дешевое биотопливо - пеллеты. Рассмотрена причина экспорта пеллет и почему именно экспорт является основным направлением сбыта, нежели их собственное использование в России.

The authors carried out a comparison of two fuels: wood pellets and coal. An example of the coal usage as a more traditional fuel is mentioned, which in our country can be replaced by a more environmentally friendly and cheap biofuel – pellets. The reason of pellets' export and why export is the main direction of sale, rather than their own use in Russia is considered.

Ключевые слова: биотопливо, пеллеты, экспорт, каменный уголь.

Keywords: biofuels, pellets, export, coal.

Мировое сообщество некоторое время назад пришло к нескольким неутешительным выводам в отношении будущего нашей планеты и судьбы человеческой цивилизации [1]:

1. Ископаемые ресурсы и в первую очередь энергоносители исчерпаемы. Более того, объем добычи и переработки некоторых из них может существенно сократиться уже в ближайшие десятилетия.
2. Экстенсивное использование углеводородного сырья для выработки энергии и связанные с ним выбросы в атмосферу уже начали приводить к изменению климата на планете. А это чревато невиданными природными катаклизмами, ухудшением общих условий жизнедеятельности человека.
3. Отходы – еще один продукт жизнедеятельности человека – представляют серьезную угрозу окружающей среде. При этом они зачастую могут использоваться в качестве эффективного, возобновляемого и экологически чистого источника энергии, позволяя сберегать полезные ископаемые.

Эти три факта лежат в основе всей деятельности, связанной с энергосбережением, поиском и разработкой альтернативных возобновляемых и

экологически безопасных источников энергии, которые бурно развиваются на протяжении уже нескольких десятилетий. Одно из наиболее перспективных направлений этой работы - биоэнергетика. К ней относятся все способы промышленного получения энергии из биомассы различных видов: древесины, сельскохозяйственных культур, помета, навоза, других отходов животноводства, бытовых отходов.

Одним из таких видов биотоплива являются пеллеты, или древесные гранулы, – это твердое насыпное топливо, которое изготавливается из сухих измельченных древесных отходов без минеральных примесей и посторонних включений. В процессе производства отходы прессуются в плотные гранулы разной формы. В зависимости от состава сырья – наличия в нем коры, присутствия гнили – пеллеты получаются разного цвета, по которому можно ориентировочно определить их качество. Светлые (белые) пеллеты, произведенные из качественной окоренной древесины или опилок, ценятся выше черных и серых за более высокую плотность и теплоотдачу, низкое содержание пыли, меньшую зольность. Качество подтверждается сертификатами, соответствующими стандартам Евросоюза. Пеллеты обладают многими преимуществами и в их числе: экологическая чистота, низкий процент угарного газа, высокая теплоотдача, минимум отходов после сгорания (около 1 % массы), удобство хранения, низкая пожароопасность. По сравнению с другими видами топлива пеллеты своей ценовой доступностью и оптимальными характеристиками для транспортировки являются очень удобными в использовании.

Российский рынок топливных гранул (пеллет) один из числа немногих, демонстрирующих стабильный рост в последние семь - восемь лет.

### **Производство и реализация пеллет в России**

Существуют две основные сферы применения пеллет. Во-первых, их используют для производства электроэнергии на угольных электростанциях (в качестве добавки), либо на специальных электростанциях (или на перестроенных угольных) в качестве основного топлива. Во-вторых, их используют для производства тепла с использованием соответствующих печей и котлов.

Сегодня основной выпуск российских пеллет является предметом экспорта (рис. 1). Самым крупным производителем на сегодняшний день является ООО «Выборгская лесопромышленная корпорация». Предприятие работает на оборудовании, проектная мощность которого один млн тонн. Тем не менее, сегодня на ООО «ВЛК» выпускается лишь около 400 тыс. тонн древесных гранул в год. Заводу пока не удалось достичь проектных объемов

производства, при этом практически вся выпускаемая продукция уходит на экспорт. [2, 3]

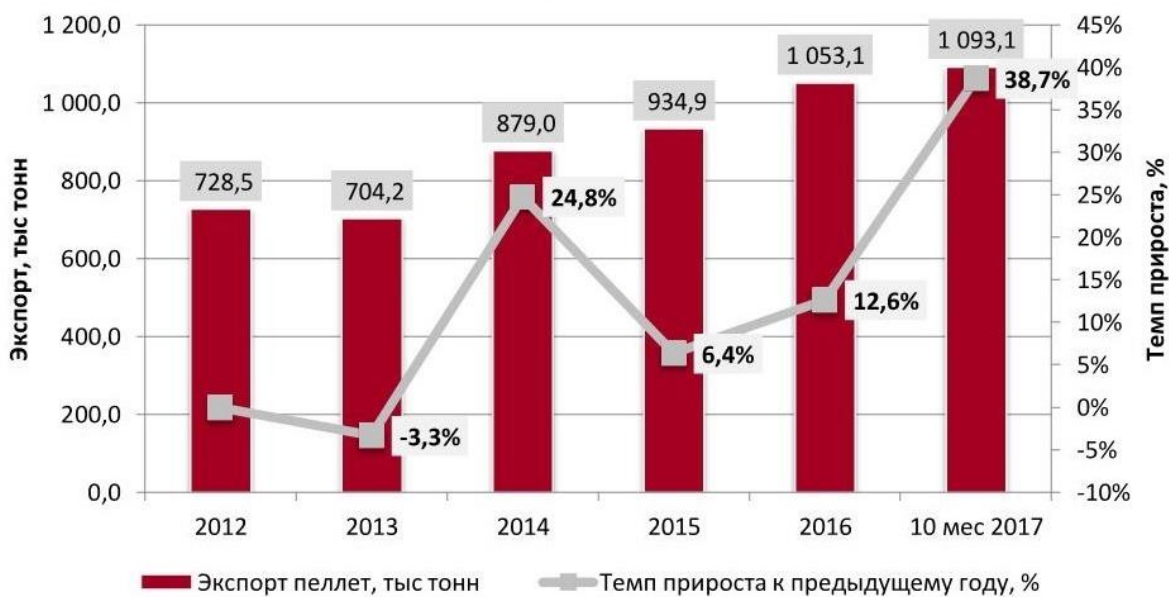


Рисунок 1 – Объем и динамика экспорта пеллет в натуральном выражении, тыс. тонн (по данным Росстата) [3]

На сегодняшний день в России таких производств, которые могут потреблять древесные гранулы в качестве основного топлива, крайне мало. Спрос показывают лишь небольшие котельные и частные лица. К сожалению, крупные котельные или ТЭЦ, работающие на пеллетах, почти отсутствуют. В результате на экспорт уходит от 90 до 97 % всех произведенных топливных гранул – конкуренция на европейском рынке растет, но это почти никак не касается российского рынка. Можно сказать, что потребности в пеллетах внутреннего рынка закрываются российскими производителями по остаточному принципу – локальный спрос на топливные гранулы очень низок, и почти все производители ориентируются на европейский или азиатский рынок сбыта, который последние годы начал расти ускоренными темпами. [2-4]

Стабильный рост производства пеллет наблюдается в России последние 7-8 лет [4]:

- в 2017 году пеллет было выпущено несколько меньше прогнозируемого объема (рис. 2) – 1 319 118 тонн, что на 23,8 % больше, чем в 2016 году;
- в августе 2018 года производство увеличилось на 12,1 % к уровню августа прошлого года и составило 124 123 тонны;
- в период 2015-2018 гг. средние экспортные цены производителей на пеллеты выросли более чем на 38 %;
- основной объем российского экспорта пеллет в 2017 году вырос по сравнению с предыдущим годом на 29 %, что составило 1 327 272,5 тонн = 151 115,4 тыс. долл.;

– наибольшая доля (46,7 %) экспортных поставок пеллет из Российской Федерации в 2017 году была отправлена в Данию. На втором и третьем месте – Республика Корея и Бельгия, на которые приходится 9,5 % и 9,4 % российского экспорта пеллет.



Рисунок 2 – Динамика производства пеллет в России в 2009–2016 годы и прогноз на 2017 год, тыс. тонн [2]

### Традиционные виды сырья

Одной из ведущих отраслей топливно-энергетического комплекса России является угольная промышленность. По данным журнала "Горная промышленность" [5] в России сосредоточено 12 % мировых запасов угля, что составляет около 4 трлн тонн геологической породы. Уголь используется во многих производствах, в первую очередь как энергетическое сырье - для генерации электроэнергии на ТЭС и отопления жилья, но также его применяют в черной металлургии, добавляя в виде кокса как технологическую добавку, а коксовые газы, например, используются в химической промышленности для производства пластмассы и минеральных удобрений.

Наша страна богата полезными ископаемыми и добывает их как для собственных нужд, так и для экспорта в зарубежные страны. Россия входит в первую десятку стран, которые являются лидерами по добыче угля и ежегодно она добывает порядка 400 млн. тонн (рис. 3). По запасам данного ископаемого наша страна находится на втором месте, уступая лишь США. [5, 6]

Для сравнения в России доля биотоплива в топливно-энергетическом производстве 3-5 %, тогда как в Финляндии - не менее 25 %, в Швеции - не менее 30 %, тем временем на уголь приходится более 15 %. Почти во всех российских регионах биотопливо испытывает сильнейшее конкурентное давление среди традиционных видов топлива, таких как каменный уголь и природный газ, на которых работает большинство отечественных электростанций и котельных. Во многих районах это топливо дешевле



древесных гранул, к тому же оно привычное. Кроме того, на российских энергетических объектах эксплуатируется оборудование, которое предназначено для работы на мазуте, угле и газе, что объясняется высокой долей централизованного отопления в российском теплоснабжении. Основным объемом потребления угля внутри страны приходится на тепловые электростанции (ТЭС) и коксохимические заводы. [5, 6]



Рисунок 3 – Добыча угля в Российской Федерации в 2000–2017 гг., млн. тонн (по данным Росстата) [6]

Уголь является достаточно дешевым и легко используемым сырьем, подходящим для большинства ТЭС в России. По мере того как в стране строилось все больше и больше станций, зависимость от каменного угля возрастала. И хотя удельное содержание энергии на единицу веса (т.е. теплотворная способность) у угля ниже, чем у нефти или природного газа и его труднее транспортировать, он еще многие годы будет основным источником получения электроэнергии. В настоящее время разрабатывается более десятка способов сжигания угля с повышенным КПД и меньшим ущербом для окружающей среды. Уголь является для России стратегически важным сырьем, как для использования в собственной промышленности, так и во внешнеторговых отношениях. [5-7]

Если сравнивать два вида топлива, учитывая критерий цена/качество, то безусловно пеллеты как биотопливо будет выигрывать у каменного угля. Тогда логичным вопросом будет «почему мы экспортируем его в десятки раз больше, чем потребляем сами?». Главной причиной медленного распространения биотоплива в стране является банальное отсутствие средств для финансирования. Чтобы переоснастить котельную для использования пеллет, потребуются миллионы рублей, чтобы построить подобную котельную с нуля,

нужны сотни миллионов рублей. Строительство биотопливной котельной в несколько раз дороже строительства котельной на газе или угле. И даже при том, что каменный уголь не является самым оптимальным топливом, пока у нас в стране есть металлургические заводы, котельные и большинство ТЭС, работающих на угле, пеллеты будут экспортироваться и приносить прибыль от продаж, а не экономию от собственного потребления. [5, 7]

#### Список литературы

1. Овсянко А.Д. Топливная гранула. Россия, Беларусь, Украина. – Тверь: Тверское княжество, 2007. – 202 с.
2. Никольская В. Производство топливных пеллет в России // ЛесПромИнформ. – № 6 (128), 2017. – С. 22-34.
3. Краткий аналитический обзор по рынку топливных гранул за 2015-2017 гг. // сайт компании ООО «Альминда». URL: <http://alminda.ru/about/4957/22676/> (дата обращения 10.09.2018).
4. Рынок пеллет (топливных гранул). Текущая ситуация и прогноз 2018-2022 гг.: Исследование рынка. – Alto Consulting Group. – 2018. – 225 с.
5. Писаренко М.В. Потребление российского угля в долгосрочной перспективе [электронный ресурс] // Горная Промышленность. – №6. – 2012. – URL: <https://mining-media.ru/ru/article/ekonomicheskoe/3196-potreblenie-rossijskogo-uglya-v-dolgosrochnoj-perspektive> (дата обращения: 10.09.2018).
6. Катона В. Есть ли будущее у угля? // сайт Российского совета по международным делам. 16.05.2018. URL: <http://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/est-li-budushchee-u-uglya/> (дата обращения 10.09.2018).
7. Чесновский Е. Древесные гранулы или пеллеты – новый вид экологически чистого и эффективного топлива // сайт компании ЭНЭКА. URL: [https://www.eneca.by/ru\\_FUEL\\_GRANULES0/](https://www.eneca.by/ru_FUEL_GRANULES0/) (дата обращения 10.09.2018).

**Исследование возможности использования ТОС-анализа для измерения степени загрязнённости оборотных вод в ЦБП**

**Study the possibility of using TOC-analysis to measure the degree of contamination of the white water in the pulp and paper industry**

М.А. Боненкова, И.С. Малашенкова, А.Г. Кузнецов, Э.Л. Аким

M.A. Bonenkova, I.S. Malashenkova, A.G. Kuznetsov, E.L. Akim

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей работе показана возможность использования анализа содержания общего органического углерода (ТОС-анализа) в подсеточной / оборотной воде на предприятиях ЦБП для контроля использования химикатов при производстве ЦКМ из макулатуры

The paper discusses the possibility of using TOC-analysis of pit / white water in the pulp and paper industry to control the usage of chemicals in production of cellulose composite materials from waste paper.

Ключевые слова: ТОС, общий органический углерод, оборотная вода, загрязнение.

Keywords: TOC, total organic carbon, white water, contamination.

В настоящее время всё большее внимание уделяется очистке сточной и оборотной вод на предприятиях ЦБП. Они образуются на стадиях очистки, сортирования, облагораживания макулатурной массы и дополняются подсеточной водой. Наиболее грязная вода образуется в результате промывки макулатурной массы, удаления печатной краски и регенерации волокон на предприятиях, которые производят продукцию из макулатуры. На уровень загрязнения оборотной воды влияют применяемые химические добавки и техническое состояние оборудования [2].

Современное бумажное производство немислимо без эффективного использования различных химических продуктов, поэтому необходимо следить за уровнем загрязнения оборотной воды. Для этого определяют содержание взвешенных частиц и используют отношение показателей химического поглощения кислорода (ХПК) и растворённых органических веществ (РОВ). [1]

Анализаторы органического углерода (ТОС-анализаторы) являются одним из основных рабочих инструментов в отраслях, где необходимо определение и количественное измерение содержания углерода в образцах

различного происхождения. ТОС-анализ позволяет измерять содержание углерода биологического и химического происхождения благодаря высокотемпературному каталитическому окислению компонентов, содержащих углерод, в среде кислорода (680 °С) и последующему детектированию образовавшегося диоксида углерода с помощью инфракрасного детектора. ТОС-анализ часто используется вместо проведения более сложных измерений воды – например, при исследовании загрязнений продуктами нефтехимии, растворителями, фармацевтическими продуктами, хлорсодержащими промышленными веществами, пестицидами. [3]

Целью настоящей исследовательской работы является исследование возможности применения ТОС-анализа для контроля за использованием химикатов при производстве картона и литой упаковки из макулатуры марки МС-5Б и МС-7Б, соответственно.

Проводились исследования проб подсеточной воды после использования в массе химикатов (полиамидаминэпихлоргидридной смолы – ПААЭГ и поливиниламина Xelorex) для увеличения начальной влагопрочности отливок картона.

Принято разделять формы углерода на несколько типов (рис. 1).

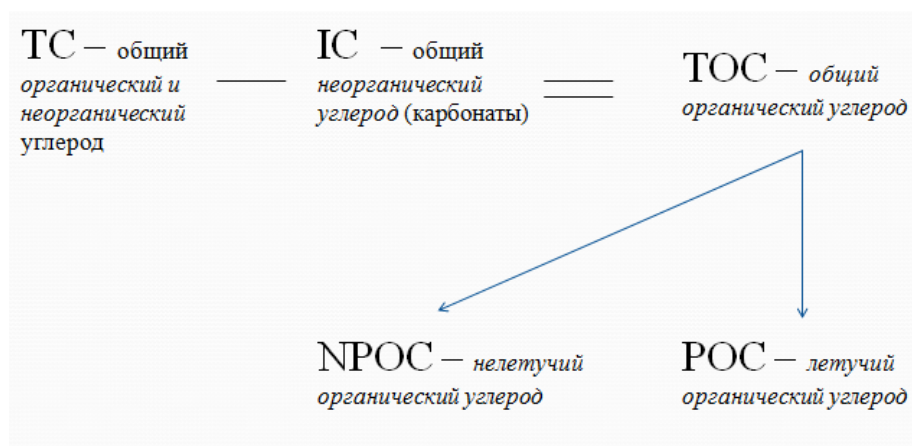


Рисунок 1 – Формы углерода в ТОС-анализе

### Принцип определения ТС (общего углерода).

Впрыснутая в реакционную трубку проба воды при нагревании до 680 °С проходит каталитическое окисление, осушку, очистку от галогенов и поступает в ИК-детектор, где измеряется величина поглощения образующейся при сгорании двуокиси углерода. [4, с.328]

### Принцип определения ТОС и НРОС (общего органического углерода и нелетучего органического углерода).

Сущность метода (рис. 2) заключается в предварительной обработке пробы воды соляной кислотой, удалении диоксида углерода, образующегося при этом из карбонатов и гидрокарбонатов, окислении органических

соединений углерода, находящихся в пробе при температуре от 680 °С в присутствии кислорода или кислородсодержащего газа и катализатора до диоксида углерода (IV) и последующем определении общего углерода с использованием детектора инфракрасного излучения. Оставшийся в пробе углерод отражает содержание NPOC. Однако в нашем случае NPOC можно приравнивать к ТОС, так как в пробах нет летучей органики (спирты, альдегиды и т.п.). [4, с. 330]

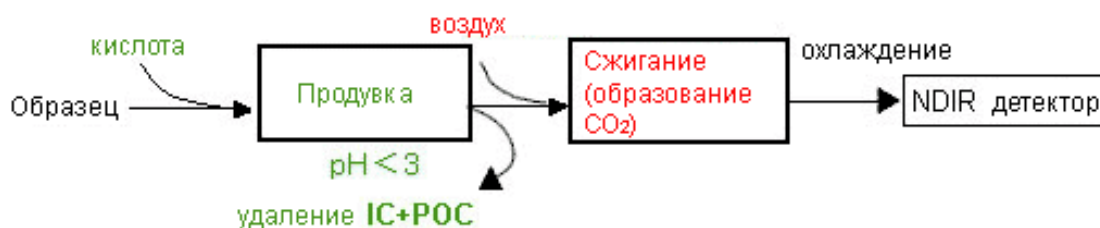


Рисунок 2 – Определение нелетучего органического углерода (NPOC)

### Результаты исследования

В табл. 1 представлены результаты анализа подсеточной воды при производстве упаковочного картона с использованием Xelorex и катионного крахмала.

Таблица 1 - Показатели ТС и NPOC для Xelorex

Наименование	ТС, мг/л	NPOC, мг/л
Подсеточная вода без химикатов	18,1	9,4
Xelorex 1100, 3 кг/т	16,9	9,5
Xelorex 1100, 4,5 кг/т	17,0	10,5
Xelorex 1100, 6 кг/т	17,1	11,1
Xelorex 1200, 3 кг/т	15,0	9,1
Xelorex 1200, 4,5кг/т	15,5	9,2
Xelorex 1200, 6 кг/т	16,6	10,0
Xelorex 1300, 3 кг/т	16,8	9,4
Xelorex 1300, 4,5кг/т	17,3	10,0
Xelorex 1300, 6 кг/т	17,5	11,0
Катионный крахмал, 14 кг/т	15,1	9,1

Метод измерения NPOC оказался более чувствительным при анализе загрязнённости подсеточной воды. Предположительно это связано с тем, что в макулатуре марки МС-5Б уже содержится большое количество химически-вспомогательных веществ, поэтому результат измерения общего углерода (ТС) в пробах не позволяет точно оценить влияние вновь добавленных химикатов.

Наглядно результаты экспериментов представлены на рис. 3.

Добавление катионного крахмала в массу, как и следовало ожидать, показало снижение углерода в подсеточной воде. Xelorex также является

катионной добавкой, поэтому предположительно не уходит под сетку при производстве отливок и не меняет содержание в подсеточной воде углерода. Тем не менее, при расходе его более 3 кг/т повышаются показатели содержания углерода в пробах воды по сравнению с контрольным образцом.

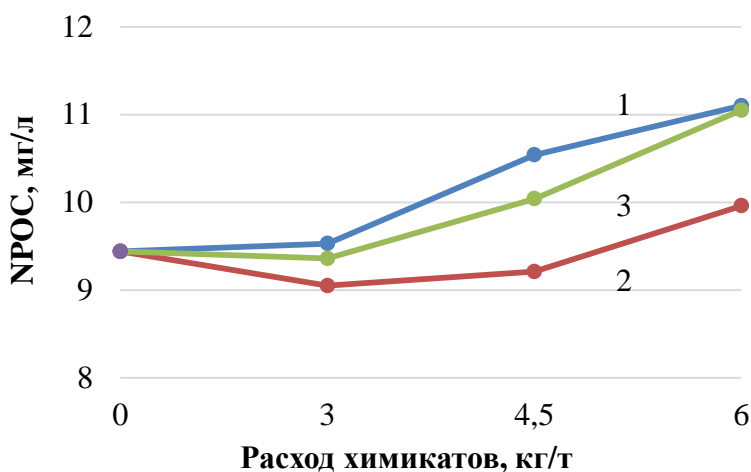


Рисунок 3 - Зависимость показателя NPOC от расхода химиката в подсеточной воде:  
1 – Xelorex 1100; 2 – Xelorex 1200; 3 – Xelorex 1300

Содержание углерода (NPOC) в подсеточной воде с химикатом Xelorex 1200 оказалось ниже, чем с контрольным образцом и химикатами Xelorex 1100 и 1300. Здесь уже можно предполагать более качественное удержание Xelorex 1200 на волокне.

В табл. 2 представлены результаты анализа подсеточной (оборотной) воды при производстве литой упаковки с использованием ПААЭГ смолы и алкилкетен димера (АКД). Также были проведены опыты по использованию системы смола + полиоксихлорид алюминия (ПОХА).

Таблица 2 – Содержание общего углерода (ТС) и нелетучего органического углерода (NPOC) в подсеточной воде

Наименование	Расход химикатов, кг/т	ТС, мг/л	NPOC, мг/л
Вода без химикатов	-	20,0	11,6
Вода с АКД	2,5	19,9	11,1
Вода со смолой	10	25,9	17,8
Вода со смолой	15	35,0	24,4
Вода с ПОХА	3	45,8	33,1
Вода с ПОХА	5	60,4	41,2
Вода со (смолой + ПОХА)	5+3	22,3	10,2
Вода со (смолой + ПОХА)	15+5	24,7	12,3

Использование смолы привело к увеличению содержания общего углерода (ТС) в подсеточной воде практически в 1,5 раза. Показатель NPOC

при этом изменился в 2 раза. Однако при использовании системы смола + ПОХА показатели ТС и NPOC почти не изменились. Выявленные зависимости позволяют предполагать более качественное удержание на волокне при использовании системы химикатов, что подтверждает теоретические ожидания. При этом оценить удержание химикатов позволяет именно разница показателей ТС и NPOC. Для макулатуры марки МС-7Б эти зависимости особенно ярко выражаются, так как в подсеточной воде углерод содержится в остаточных химикатах из макулатуры, частицах краски и наполнителя (карбонаты).

В значительной степени углерод содержится и в волокнах мелочи целлюлозы. Для определения содержания углерода в подсеточной воде без взвешенных частиц фильтровали пробы на фильтрах «красная лента» и анализировали фильтрат с помощью ТОС-анализатора. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Содержание общего углерода (ТС) и нелетучего органического углерода (NPOC) в отфильтрованной подсеточной воде

Наименование	Расход химикатов, кг/т	ТС, мг/л	NPOC, мг/л
Вода без химикатов	-	12,4	8,7
Вода с АКД	2,5	17,1	9,3
Вода со смолой	10	21,4	13,3
Вода со смолой	15	33,3	23,9
Вода с ПОХА	3	44,0	32,2
Вода с ПОХА	5	57,3	40,6
Вода со (смолой + ПОХА)	5+3	21,7	11,9
Вода со (смолой + ПОХА)	15+5	21,4	10,6

Тенденции зависимостей сохраняются, но видны более отчётливо.

### Выводы

1. Полученные в ходе исследований результаты показали, что ТОС-анализ подсеточной / оборотной воды является эффективным методом для контроля использования химикатов при применении в производстве ЦКМ макулатуры марки МС-5Б и МС-7Б.
2. ТОС-анализ показал, что при использовании катионного крахмала содержание углерода в подсеточной воде снижается на 17 % по сравнению с контрольным образцом после изготовления отливок из макулатуры МС-5Б, что косвенно подтверждает его удержание на волокне и частичное поглощение им анионных загрязнений.
3. Применение химиката Xelorex 1100 и 1300 при изготовлении отливок из макулатуры МС-5Б увеличивает содержание органического углерода

(NPOC) в подсеточной воде на 15 % по сравнению с контрольным образцом. При этом показатель общего углерода (ТС) незначительно снижается, что может говорить о поглощении химикатом Xelorex анионных загрязнений и коагуляции мелочи, но лишь частичном удержании данного химиката на волокне.

4. Применение химиката Xelorex 1200 снижает количество NPOC на 4 % и ТС на 15 % по сравнению с контрольным образцом. Отсюда можно заключить, что химикат Xelorex 1200 хорошо удерживается на волокне, поглощая анионные загрязнения в массе и коагулируя мелочь.
5. Для литой упаковки из макулатуры марки МС-7Б более качественно оценить удержание химикатов позволяет разница показателей ТС и NPOC ТОС-анализа подсеточной воды.
6. В отличие от анализа химического потребления кислорода (ХПК) метод ТОС-анализа позволяет оценивать эффективность использования химикатов без предварительной фильтрации пробы подсеточной / оборотной воды.

#### Список литературы

1. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие – 2-е изд-е, испр. и доп. – СПб.: СПбГТУРП, 2011. Ч. 2. 61 с.
2. Костюкевич А.В., Чубис П.А., Драпеза А.А., Черная Н.В. Влияние бинарных систем вспомогательных химических веществ на содержание загрязняющих веществ в подсеточной воде: труды БГТУ // Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2010. – №4. С. 237-242.
3. Анализаторы общего органического углерода (Total Organic Carbon – ТОС). Фармацевтическая отрасль. 2011. №4. С. 66-69.
4. Анализатор общего углерода ТОС-LCPH/CPN. Руководство по эксплуатации. Shimadzu Corporation. Japan, 2011.



**Аналитический обзор технологий переработки многослойного бумажного ламината**

**Analytical review of multi-layer paper laminate processing technologies**

М.А. Боненкова, А.Г. Кузнецов

M.A. Bonenkova, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящее время стала очень востребована упаковка из многослойного бумажного ламината. Ламинаты – это многослойные материалы, которые состоят из одного или нескольких слоев бумаги или картона, нескольких слоев синтетических полимеров (полиэтилена, микровоска), фольги. Для бумажно-полимерных материалов разработаны и применяются в промышленности технологии их утилизации. Однако в том случае, когда многослойный материал содержит металлическую фольгу, абсолютно экологически безопасных и экономически целесообразных технологий комплексной утилизации отходов производства и потребления многослойных упаковочных материалов пока не много. Поэтому в статье ставится задача анализа технологий переработки упаковки из многослойного бумажного ламината.

At present, packaging from multi-layer paper laminate has become very popular. Laminates – are multi-layer materials that consist of one or several layers of paper or paperboard, several layers of synthetic polymers (polyethylene, micro-wax), foil. For paper-polymer materials, technologies for their utilization have been developed and used in industry. However, in the case where the multilayer material contains metal foil, absolutely environmentally safe and economically viable technologies for the integrated recycling of production waste and consumption of multi-layer packaging materials are not yet many. Therefore in the article the task of the analysis processing technologies of packing from a multi-layer paper laminate.

Ключевые слова: многослойные бумажные ламинаты, переработка макулатуры, картонная упаковка, асептическая упаковка, тетра-пак.

Keywords: multilayer paper laminates, recycling of waste paper, cardboard packaging, aseptic package, tetra-pack.

Упаковка для пищевых продуктов должна быть герметичной и соответствовать гигиеническим нормам. В наше время востребована упаковка «Тетра-пак».

Состав упаковки «Тетра-пак»: 75 % высококачественный картон, 20 % полиэтилен, 5 % алюминий.

Когда упаковка «Тетра-пак» отслужила свою службу, она не обязательно должна поступать на свалку. Если переработать такую упаковку, это будет перспективный востребованный вторичный ресурс, учитывая, что упаковка «Тетра-пак» практически не разлагается.

В России технологии переработки макулатуры осуществляются за счет оборудования, которое имеется на бумажных комбинатах. Полученное целлюлозное волокно поступает на производство вторичных бумаг и картонов.

Сложность переработки упаковки «Тетра-пак» заключается в том, что картон, полиэтилен и алюминий соединены вместе и приходится решать задачу их разделения или совместного использования. Разделение это обычно не удается полностью осуществить в одну стадию, так что процесс получается многоступенчатым с вовлечением множества единиц оборудования. [1]

Макулатура распускается на волокна в водной среде в гидроразбивателях (рис. 1). Под действием гидромеханических усилий происходит измельчение макулатуры на кусочки и разделение на волокна. Получившаяся суспензия макулатурной массы проходит через отверстия сита и идет на следующую операцию. В гидроразбивателях также отделяются грубые включения из макулатуры – тяжелые удаляются из специального грязесборника, а легкие – в виде текстиля и полимерных пленок [2].



Рисунок 1 – Гидроразбиватель

Макулатурная масса после гидроразбивателя содержит волокна с нераспустившимися кусочками макулатуры. Масса после очистки направляется на бумажную машину, где дальнейшая переработка сводится к тому, чтобы выложить волокна ровным слоем и высушить так, чтобы получить снова бумагу или картон [2].

Продукты дальнейшей переработки полиалюминия:

### *Переработка механическая*

Полиалюминиевую смесь измельчают и тщательно промывают, чтобы убрать из нее остатки картонных волокон. Затем ее сушат, нагревают и перерабатывают в агломерат или гранулы. Полиалюминиевые гранулы используют для производства новых пластиковых изделий или, например, как основа модификатора битума, улучшающего качество асфальтового покрытия. [3]

### *Химическое разделение*

Полиалюминий помещают в реактор, где при помощи слабого раствора кислоты разрушают связи между полиэтиленом и алюминием. На следующем этапе алюминий механически удаляют с поверхности полиэтилена. После финальной сушки оба разделенных материала используют как отдельные виды вторичного сырья или полуфабрикаты. [3]

### *Переработка термохимическая*

Полиалюминиевую смесь нагревают в азотной среде без контакта с кислородом свыше 400 °С, при которых начинается распад полиэтилена, но менее 600 °С, чтобы алюминий не плавился. При нагреве длинные молекулы полимера начинают хаотично разрываться, при этом образуются новые вещества — смеси газов и паров углеводородной жидкости (пиролизное масло). Газы используют для поддержания процесса, а пиролизное масло — для выработки топлив или других продуктов. [3]

В переработке упаковки Тетра-пак применяется метод сухого разделения компонентов в диспергаторе (рис. 2).

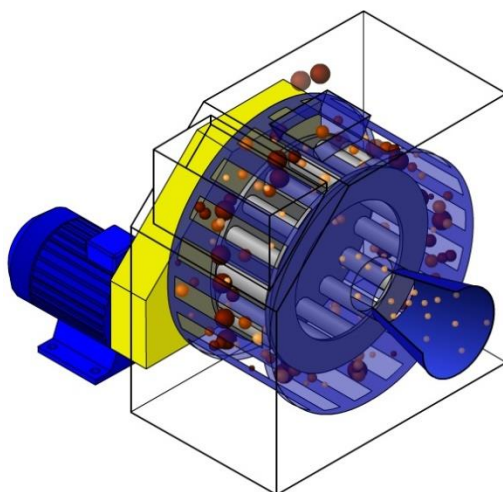


Рисунок 2 – Диспергатор для «сухого» роспуска

Частицы вовлекаются кольцевым потоком воздуха и других частиц и начинают вращаться. Действие центробежной силы выталкивает их в сторону, а действие вакуума наоборот притягивает в центр. Параметры подбираются таким образом, чтобы нераспущенные частицы оставались в кольце и не покидали эту зону, в которой они постоянно сталкиваются с лопатками статора

и между собой. Однако удары эти мягкие и ни в коем случае не рубящие, потому что частицы ведь ничем не закреплены, они в полете. За счет многократных соударений в полете картонная основа распускается на отдельные волокна. При этом длина и структура волокон сохраняется. [4]

Отдельные волокна целлюлозы всасываются вентилятором и отделяются от потока воздуха циклоном. [4]

Полиэтилен и алюминий отлетают в сторону и собираются в специальном лотке. [4]

Обзор технологий переработки многослойных бумажных ламинатов показал, что процесс «мокрой» переработки материалов:

- требует больших затрат энергии и вызывает проблемы утилизации стоков. Но не смотря на затраты на переработку упаковки, технология остается прибыльной.

Процесс «сухой» переработки:

- технология сухого роспуска упаковок на аэродинамическом диспергаторе позволяет с меньшими затратами перерабатывать упаковку Тетра-пак;
- картон разделяется на отдельные волокна, разделение происходит именно по границам волокнистого материала;
- поскольку рубящих и острых поверхностей нет, то затачивать детали в диспергаторе не требуется;
- одновременно через диспергатор осуществляется продув воздуха с целью возвращения частиц материала в зону измельчения. [5]

Проведенное исследование позволяет предполагать, что «сухая» переработка упаковки Тетра-пак является перспективным направлением, но процесс «мокрой» переработки остается пока более востребованным.

Для переработки упаковки Тетра-пак требуется специальное оборудование, разработка технологий и детальная отладка процессов. Этот процесс не так прост, но в конечном результате из полученного вторичного сырья (целлюлоза, полиэтилен и алюминий) можно изготовить различную продукцию: транспортную тару и поддоны, ведра, кровельную черепицу и прочее

#### Список литературы

1. Переработка упаковки Тетра Пак [Электронный ресурс] // Сайт компании Эко Порт. Режим доступа: [ecoportus.ru/node/803](http://ecoportus.ru/node/803) (дата обращения: 07.09.18).
2. Смиранный И.Н., Беляев П.С. и др. Другая жизнь упаковки: монография. – Тамбов: Першина, 2005. – 178 с.

3. Современные технологии переработки [Электронный ресурс] // сайт компании вкартоне.рф. Режим доступа: <http://вкартоне.рф/life-cycle/waste-collection/recycling-technologies/> (дата обращения 07.09.18).
4. Хакимов Р.Х., Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композициях бумаги и картона // Лесной журнал. – 2013. – № 3. – С. 122-127.
5. Исследование подготовки макулатурной массы в аэродинамическом диспергаторе [Электронный ресурс] // сайт компании Парматех. Режим доступа: <http://www.parmatech.org/podgotovka-makulaturnoj-massyi.html> (дата обращения 07.09.18).

**Применение методов биотестирования для определения показателей безопасности товаров народного потребления на примере санитарно-гигиенической бумаги**

**Application of bioassay for determining safety indicators of consumer goods using the example of sanitary-hygienic paper**

М.А. Ковкова, Д.В. Ковков, А.Г. Кузнецов

M.A. Kovkova, D.V. Kovkov, A.G. Kuznetsov

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Российский государственный педагогический университет

им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей статье были проанализированы образцы туалетной бумаги, представленные на российском рынке. Были изучены их физико-химические свойства и их влияние на показатели безопасности. Исследование токсикологических свойств было проведено с помощью метода биотестирования с применением в качестве тест-объекта культуры подвижных клеток млекопитающих (спермы крупнорогатого скота). Авторами было рассмотрено соблюдение производителями национальных и межгосударственных стандартов качества.

In this article samples of toilet paper presented on the Russian market were analyzed. Its physicochemical properties and the impact on safety indicators were studied. Investigation of toxicological properties was carried out using the method of bioassay using a culture of mobile mammalian cells (bull sperm) as a test object. The authors considered the compliance of manufacturers with national and interstate quality standards.

Ключевые слова: биотестирование, методы *in vitro*, туалетная бумага, безопасность продукции

Keywords: bioassay, *in vitro* methods, toilet paper, product safety

Целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) имеет многовековую историю развития и совершенствуется до сих пор. На данный момент распространено несколько десятков различных видов продукции ЦБП, прочно укрепивших за собой место в повседневной деятельности человека. Одним из необходимых и самых востребованных видов бумажной продукции является

туалетная бумага, производство которой в настоящее время имеет положительную динамику развития. Производство данной продукции в России в 1 квартале 2018 года превышает показатель аналогичного периода 2017 года на 10,9 %. Только за последние 5 лет производство продукции санитарно-гигиенического назначения выросло почти в полтора раза. Для контроля качества выпускаемой продукции этого вида существует множество утвержденных национальных и международных стандартов, в том числе и для показателей безопасности. [1, 2]

В современных условиях возникает следующая проблема: изменение качества продукции в условиях жесткой конкуренции для снижения стоимости готовой продукции и приобретение ею новых свойств, диктуемых законами маркетинга.

Целью данного исследования являлось изучение качества образцов туалетной бумаги, представленной на современном рынке, на примере города Санкт-Петербурга, и его влияние на безопасность продукции для потребителя. Определялись показатели качества представленных образцов, изучалось соотношение различных показателей туалетной бумаги с показателями безопасности санитарно-гигиенической продукции. Исследования проводились на базе аккредитованной испытательной лаборатории пищевых продуктов, сырья и материалов ФБУ «Тест-С.-Петербург».

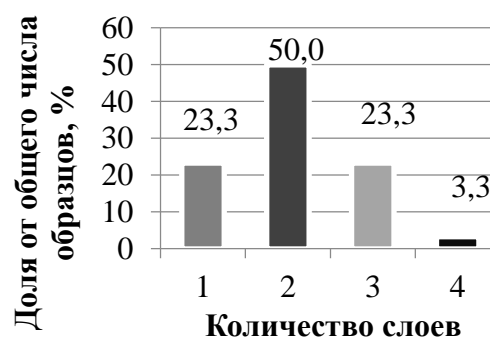


Рисунок 1 – Распределение испытуемых образцов по количеству слоев бумаги

Исходя из цели исследования, определили следующие задачи:

- 1) проанализировать современную рыночную ситуацию в г. Санкт-Петербурге;
- 2) определить показатели качества представленной санитарно-гигиенической продукции;
- 3) установить зависимость показателей безопасности от различных физико-химических свойств готовой продукции.

В работе были использованы методы лабораторного исследования физико-химических свойств бумаги, хроматографические методы анализа, методы микробиологического контроля, методы биотестирования и др.

### **Экспериментальная часть**

В ходе исследования было изучено 30 опытных образцов, из которых 50 % (15 образцов) составили образцы двухслойной бумаги (рис. 1). Данный вид продукции сочетает в себе оптимальные характеристики, удовлетворяющие как потребителя, так и производителя.

С одной стороны, товар имеет надлежащее качество и потребительские свойства, а с другой – требует меньше производственных затрат для изготовления, нежели более многослойная бумага. Эта логичная тенденция сопровождает российский рынок более пяти лет. Также в испытании участвовали по 7 образцов однослойной и трехслойной бумаги и один четырехслойный образец.

Образцы имели в своем составе как первичную целлюлозу, так и вторичное волокно.

Из представленных образцов различных наименований некоторые принадлежат одному производителю (рис. 2). Среди производителей лидирующее место занимает Сясьский ЦБК (4 наименования), второе место (по 3 наименованиям) делит советский филиал ООО «ЭсСиЭй Хайджин Продактс Раша» и ООО «Лилия» Ростовской области. По 2 наименования представлены елабужским ООО «Хаят Кимья» и ОАО «Сыктывкар Тиссю Групп». Из перечисленных компаний ОАО «Сыктывкар Тиссю Групп» отличается присутствием в исследовании как двуслойной бумаги (Viero), так и однослойной (Сыктывкарская 56). Интерес вызывает тот факт, что на рынке Санкт-Петербурга представлена продукция «Zewa», изготовленная в г. Советске Московской области, а не в ближайшем г. Светогорске Ленинградской области.

Отдельно стоит отметить присутствие среди производителей не только крупных предприятий, но и малого бизнеса: однослойная бумага от ИП Бобрешов С.В. (г. Воронеж).

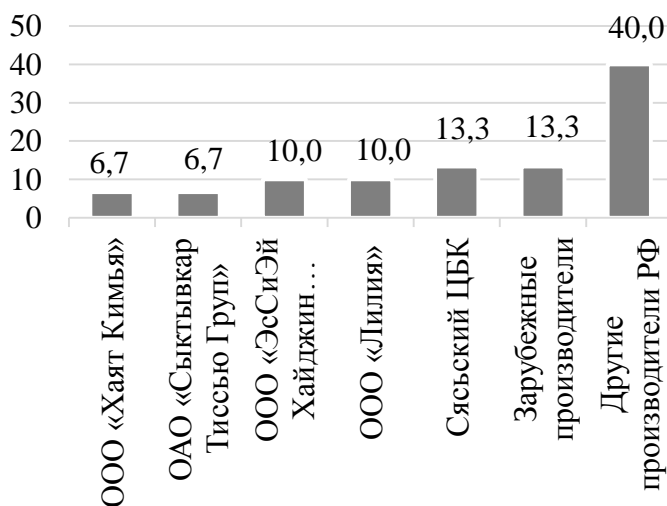


Рисунок 2 – Распределение испытываемых образцов по производителю, %

Кроме отечественных производителей изучению подверглись торговые марки Германии (Kleenex от Cimperly-Clark), Франции (Lotus Moltonel), Италии (Perfetto от Cartiere Carrara) и Японии (Maneki от Maneki Japan Co.). Все иностранные образцы, кроме Kleenex, представлены трехслойной бумагой.

26 образцов представлены в классических сером (однослойная) и белом (многослойная) цветах.



Однако для увеличения привлекательности и продаж некоторыми производителями добавляются красители, благодаря которым продукт приобретает иной цвет: желтый (Day spa ромашка от Сясьский ЦБК), розовый (Plushe pink от ООО «Кубань-Папир»), оранжевый (Zewa delux персик от ООО "ЭсСиЭй Хайджин Продактс Раша") и синий (Pero ultracolor от ООО «Лилия»). Также 4 образца имеют ощутимый аромат отдушки.

Для оценки качества представленных образцов использовались показатели ГОСТ Р 52354-2005 «Изделия из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения. Общие технические условия» и Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Данные нормативные документы предполагают исследование физико-химических, механических, токсикологических, микробиологических, органолептических и других показателей туалетной бумаги.

Для чистоты эксперимента после сбора информации с упаковок и внешнего вида представленной продукции все образцы были обезличены.

По таким показателям как: рН водной вытяжки, предельные отклонения по ширине рулона, ширине и длине листа, влажность, интенсивность постороннего запаха, массовая доля золы, внешние дефекты - у всех образцов результаты находятся в пределах нормы.

Особый интерес представляют следующие показатели: разрушающее усилие в среднем по двум направлениям, впитываемость, отмарывание красителя и показатели безопасности.

1) Разрушающее усилие характеризует прочность бумажного полотна. Определение показателя проводилось в сухом состоянии методом нагружения с постоянной скоростью [3]. Данное испытание проводилось на разрывной машине УТС 101-5-1-У.

Для однослойной бумаги значение разрушающего усилия в среднем по двум направлениям должно быть не менее 2,0 Н. Из представленных 7 образцов у 6 образцов данное значение лежит в промежутке от 2,0 до 2,9 Н. Один образец имеет значение 1,7 Н (в машинном направлении 2,0 Н, в поперечном направлении 1,4 Н), что ниже нормы, диктуемой действующим нормативным документом (рис.3).

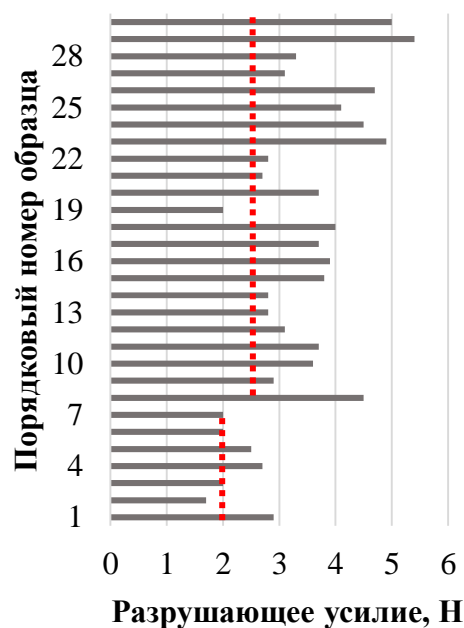


Рисунок 3 – Значения разрушающего усилия

Для многослойной бумаги норматив составляет не менее 2,5 Н. Один образец двухслойной бумаги имеет недопустимое значение 2,0 Н (в машинном направлении 2,5 Н, в поперечном направлении 1,4 Н). Остальные образцы по данному показателю соответствуют требованиям российских стандартов и имеют результат от 2,7 до 4,5 Н для двухслойной бумаги, от 3,1 до 5,4 Н для трехслойной бумаги и 5,0 Н для четырехслойной.

2) Санитарно-гигиеническая бумага должна обладать хорошей впитываемостью. Для однослойной бумаги определяется капиллярная впитываемость в среднем по двум направлениям с допустимым значением не менее 22 мм. Этот показатель у всех образцов находится в пределах нормы и составляет 50-70 мм. [4]

Для многослойной бумаги определяется поверхностная впитываемость 0,01 мл воды, значение которой не должно превышать 5 секунд. У 4-х образцов значение данного показателя находится в пределах 1,0-3,8 секунды. У остальных 19 образцов значение данного показателя менее одной секунды, минимальное значение 0,2 секунды. [5]

3) Взаимодействуя с жидкими средами, туалетная бумага не должна окрашивать ни среду, ни поверхность, на которой она находится. Как говорилось ранее, 4 из 30 образцов имели первоначальную окраску. Показатель отмарывания красителя определялся после термостатирования водной вытяжки образца в ходе пробоподготовки (водная вытяжка в соотношении площади изделия к объему дистиллированной воды = 1:2; с выдержкой в термостате при 40 °С; время экспозиции 6 ч). При данных условиях водная вытяжка приобрела окраску у 2-х образцов трехслойной бумаги. Один из образцов изначально имел сильно выраженную яркую окраску, его водная вытяжка приобрела насыщенный цвет того же оттенка. Другой образец изначально не имел окраски, однако его водная вытяжка приобрела светло-розовый цвет. У однослойной бумаги водные вытяжки имели естественный серый цвет.

4) Самыми важными характеристиками для потребителей являются показатели безопасности. Все образцы имеют допустимый результат по количеству мигрирующих вредных веществ в модельные среды (методы газовой хроматографии и атомной спектроскопии), содержанию тяжелых металлов, микробиологическим показателям (*enterobacteriaceae* в 10 г, *staphylococcus aureus* в 10 г, *pseudomonas aeruginosa* в 10 г, общее количество микроорганизмов (МАФА и М), КОЕ/г, плесневые грибы КОЕ/г). После получения положительного результата по данным показателям объект допускается изучать методами биотестирования и подвергать клиническим испытаниям.

Существуют методики определения токсикологических и клинических показателей *in vivo*, но в данной работе были выбраны методы исследования *in vitro*, как менее трудо- и ресурсозатратные, при этом имеющие высокую корреляцию с методами *in vivo*.

Для определения токсикологических показателей безопасности было проведено определение индекса токсичности на культуре подвижных клеток млекопитающих по методике МУ 1.1.037-95 «Биотестирование продукции из полимерных и других материалов».

Метод основан на определении индекса токсичности с использованием культуры половых клеток (сперматозоидов) крупного рогатого скота, замороженных в парах жидкого азота. Критерием токсического действия является зависимость двигательной активности сперматозоидов от времени под воздействием химических соединений, содержащихся в испытуемой продукции, по сравнению с контрольной пробой, не содержащей токсических веществ.

Показатель подвижности  $m = f(t)$  определен как:

$$m = d \cdot Cn \cdot V,$$

где  $d$  - постоянный коэффициент,

$Cn$  - концентрация подвижных клеток,

$V$  - средний модуль скорости клеток.

Оценка показателя подвижности осуществляется путем подсчета изменений интенсивности светового потока при движении сперматозоидов через оптический зонд. Все измерения автоматизированы, результат испытания выводится на экран прибора, исключая человеческий фактор при расчетах. Схема устройства прибора для определения токсичности «Анализатор изображений АТ-05» приведена на рис. 4. [6]

Для каждого образца проводится пробоподготовка, как указывалось ранее, одновременно с этим готовится модельная среда для оттаивания замороженной капсулы спермы и контрольный образец. Модельная среда и контрольный образец состоят из раствора глюкозы и цитрата натрия в дистиллированной воде. После термостатирования из водной вытяжки пробы отбирается аликвота 5 мл, в которой также растворяются реагенты в пропорциональном соотношении. Далее из объемов пробы и контрольного образца отбирается аликвота в пробирки по 400 мкл, в каждую пробирку добавляется по 100 мкл раствора спермы. Из каждой пробирки наполняется по 5 капилляров, исследуемых прибором.

Для показателя «индекс токсичности» оптимальными значениями являются 70-120 %, что соответствует определению отсутствия токсичности методами *in vivo*, проводимыми на лабораторных животных.

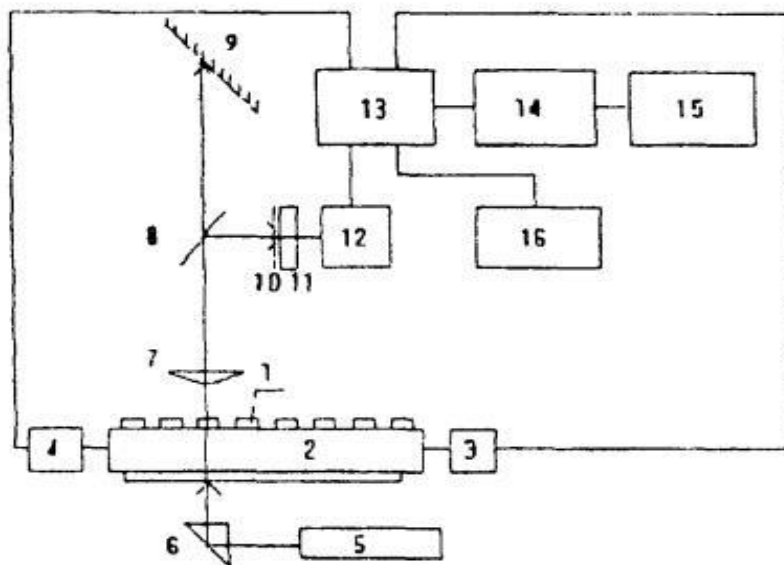


Рисунок 4 – Принципиальная схема анализатора изображений АТ-05: 1 - капилляр, 2 - каретка, 3 - привод, 4 - блок термостатирования, 5 - лазер, 6, 8 - светоделительные пластины, 7 - микрообъектив, 9 - экран, 10 - маска, 11 - фотодиод, 12 - усилитель, 13 - контроллер, 14 - компьютер, 15 - принтер, 16 - блок подготовки проб и рабочих образцов

Для наглядности значения индекса токсичности для всех образцов сведены в единый график (рис. 5). На графике выделены номера 2 и 19, имеющие недопустимое значение по показателю разрушающего усилия, и номера 25 и 29, окрасившие водную вытяжку. Для этих четырех номеров индекс токсичности находится в пределах нормы, а значит, данная продукция не вызовет у потребителей кожно-раздражающего или другого аллергического действия. Так же безопасны и остальные виды туалетной бумаги: из вторичного сырья, с добавлением красящих пигментов и ароматических добавок.

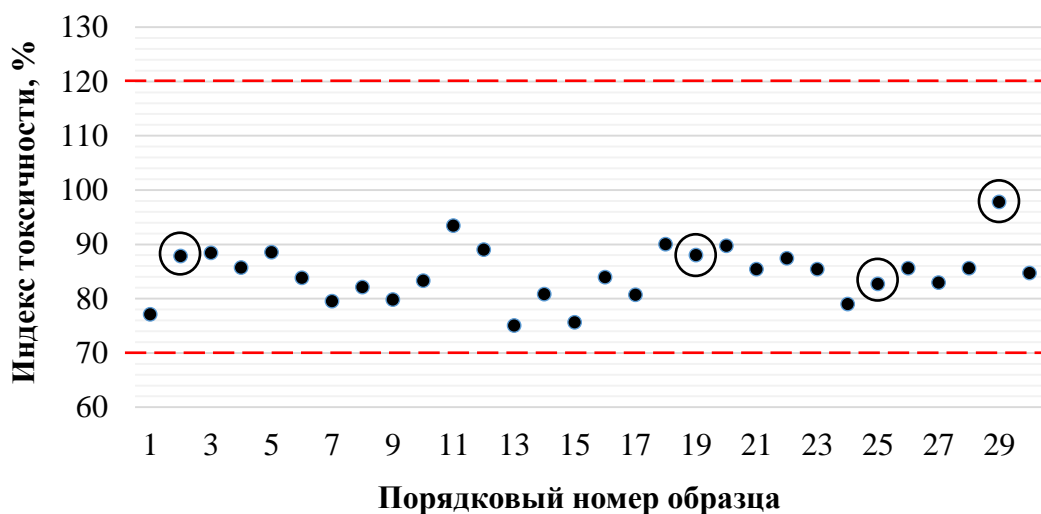


Рисунок 5 - Индекс токсичности образцов туалетной бумаги

## Выводы

В ходе работы экспериментально подтверждено соответствие всех представленных на рынке г. Санкт-Петербурга образцов туалетной бумаги требованиям безопасности, определенным действующими нормативными документами. Также были выявлены некоторые несоответствия физико-химических свойств продукции отечественных производителей, однако это не влияет на увеличение токсичности образцов. Методы биотестирования являются широко применимыми для товаров легкой промышленности в России как альтернатива экспериментам с животными для определения токсичности.

## Список литературы

1. ЦБП. Мировые тенденции и российские перспективы [Электронный ресурс] // Информационное агентство Лес Онлайн. – 04.02.2018. – URL: <https://www.lesonline.ru/> (дата обращения 07.09.2018).
2. ЦБП России, отрасль в цифрах [Электронный ресурс] // сайт компании РАО «Бумпром». – URL: <http://www.bumprom.ru> (дата обращения 07.09.2018).
3. ГОСТ ИСО 1924-1-96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с.
4. ГОСТ 12602-93 (ИСО 8787-86) Бумага и картон. Определение капиллярной впитываемости. Метод Клемма. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 1995. – 6 с.
5. ГОСТ Р 52354-2005. Изделия из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2005. – 11 с.
6. МУ 1.1.037-95. Биотестирование продукции из полимерных и других материалов. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 4 с.

**Влияние конгрева на прочностные характеристики картона для упаковки сигарет**

**Effect of embossing on strength properties of cardboard for cigarette packaging**

С.В. Константинов, А.А. Кожухарь, А.Г. Кузнецов

S.V. Konstantinov, A.A. Kozhukhar, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Целью работы являлось изучение конгрева (рельефного рисунка на поверхности) и его влияния на прочность картона для упаковки сигарет. Исследовалась зависимость прочности материала от наличия рельефа на поверхности и от толщины образцов.

The aim of the work was to study the embossing and its effect on the strength of cardboard for cigarette packaging. The dependence of material strength on the presence of relief on the surface and on the thickness of the samples was studied.

Ключевые слова: конгрев, эмбоссинг, прочность картона.

Keywords: embossing, cardboard strength.

В современном мире большое значение для продвижения продукции играет упаковка и упаковочные материалы. Для создания конкурентоспособного продукта, который не затеряется в общей массе доступных потребителю товаров, привлекающего внимание и узнаваемого, используется множество технологических процессов. Качество полученной полиграфической продукции во многом может зависеть от используемого сырья. Сырье также напрямую влияет на прочность упаковки. Большую часть продукции упаковывают в прочную упаковку для защиты конечного продукта от внешних механических и тепловых воздействий.

В наше время огромное количество компаний делают упор на дизайн упаковки для лучшей узнаваемости продукта, начиная забывать, для чего нужна упаковка, а ведь именно она играет роль оболочки, которая помогает продукту добраться до потребителя в первоначальном виде.

Тиснение является одним из самых популярных способов послепечатной обработки упаковки. Все больше упаковки производится с использованием конгрева, однако данное техническое решение для придания эстетичности влияет на свойства запечатанного материала в целом.

Во время контакта материала с механизмом тиснения верхняя плоскость материала испытывает деформацию растяжения, а нижняя – деформацию сжатия. Максимальное значение деформации может варьироваться от 1 до 1,5 %. После весь материал, который контактирует с формой, начинает испытывать деформацию сжатия, а в местах отдельных углублений проявляется деформация растяжения и сдвига. Из-за этого на поверхности материала проявляются мелкие детали изображения. [1]

Самыми важными параметрами для оценки тиснения продукции являются точность положения оттиска, точность воспроизведения изображения (его глубина и рельефность). Допуск для печатного штампа, как правило, принимают 0,3 мм. Точность приводки может оцениваться как визуально печатником (оператором), так и автоматически при помощи установленных на машину датчиков. Глубина тиснения – параметр, характеризующийся величиной остаточной деформации материала. Этот параметр оценивается при помощи специального автоматического инструмента. [1]

Всего существует три основных фактора, которые влияют на качество тиснения – это температура штампа, давление штампа и время контакта штампа тиснения с материалом. Температура штампа – фактор, влияющий на «цветность» получаемого оттиска, глубину и рельефность изображения. Давление штампа – параметр, позволяющий влиять на глубину и рельефность изображения. Увеличение давления позволяет повысить величину остаточной деформации. Время контакта штампа тиснения с материалом – параметр, напрямую влияющий на рельефность и глубину изображения. [1]

Операция тиснения меняет прочностные характеристики картона, что в свою очередь может повлиять на деформирование картона на упаковочной линии компании-производителя конечного продукта. В данной работе было принято решение изучить влияние конгрева на прочность запечатываемого материала на примере картона для сигаретной упаковки.

### **Материалы и методы**

По европейской классификации картоны для упаковки разделяются на SBS-картоны – чисто-целлюлозные (3-5 слоев беленого целлюлозного волокна) и FBB-картоны – 3-5-слойные картоны, верхний и нижний слои которых из целлюлозного волокна, а средние из древесной массы [2, 3, 4].

Основными поставщиками картонов для упаковки в Россию являются три компании – Stora Enso (Финляндия), Iggesund (Швеция) и Metsa (Финляндия). Исследования проводились на трех различных марках картона без тиснения и с нанесенным тиснением:

- FBB-картон Ensocoat 220 г/м<sup>2</sup> (компания Stora Enso);
- SBS-картон Invercote 270 г/м<sup>2</sup> (компания Iggesund);

- FBB-картон Inkada Silk 220 г/м<sup>2</sup> (компания Iggesund).

Все исследования проводились в лаборатории с постоянной влажностью и температурой в соответствии с ГОСТ 13523-78. Для определения прочности при растяжении по ГОСТ 30436-96 использовалась горизонтальная разрывная машина для сухих и влажных испытаний фирмы Frank PТИ. Толщина образцов измерялась автоматическим толщиномером фирмы Frank PТИ. Сопротивление продавливанию оценивалось по методике ГОСТ 13525.8-86 на оборудовании фирмы Frank PТИ.

В экспериментах оценивались несколько наиболее важных показателей: разрывная длина и сопротивление разрыву – исследовались как в поперечном, так и в продольном направлениях – а также измерялся индекс сопротивления продавливанию.

### Результаты и обсуждение

Результаты испытаний образцов на растяжение представлены на рис. 1 и 2.

Результаты исследования показали, что в некоторых случаях конгрев значительно влияет на прочностные свойства картона. Для FBB-картона компании Stora Enso под влиянием тиснения индекс сопротивления разрыву изменился в среднем на 3,6% (изменение на 3,9% в машинном направлении и 3,33% в поперечном). Такие же значения были получены при измерении показателя разрывной длины.

Для SBS-картона Invercote изменение показателя разрывной длины составило 4,1% (6,25% в машинном направлении, 1,95% в поперечном). Схожее изменение под воздействием тиснения было отмечено для индекса сопротивления разрыву – изменение составило 4%.

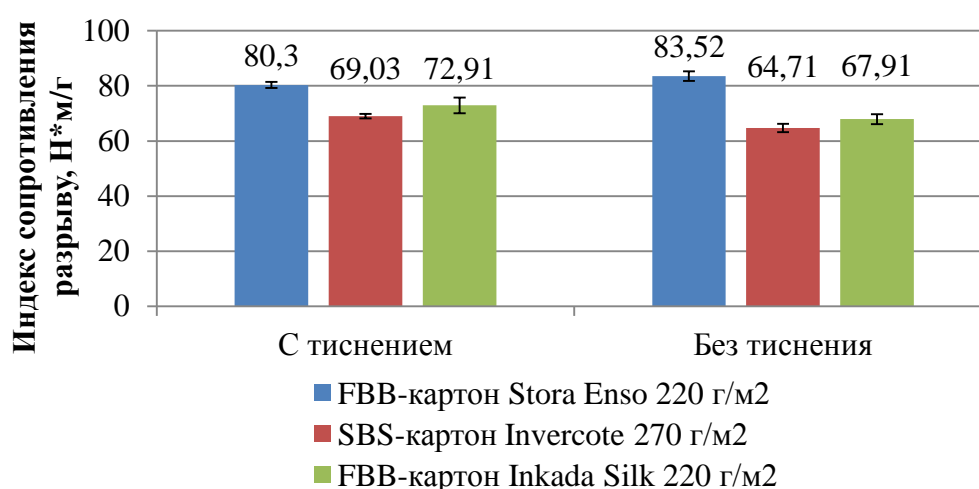


Рисунок 1 – Индекс сопротивления разрыву исследуемых образцов в машинном направлении



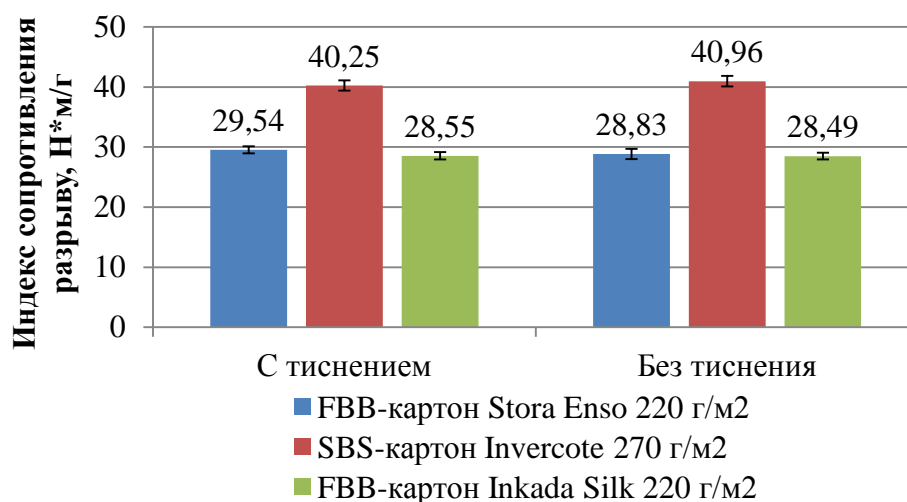


Рисунок 2 – Индекс сопротивления разрыву исследуемых образцов в поперечном направлении

Изменение показателей FBB-картона Inkada Silk составило:

- Разрывная длина – 3,61 %.
- Сопротивление разрыву – 3,53 %.
- Индекс сопротивления разрыву – 3,54 %.

Изменение показателей в машинном направлении для данного образца картона было преобладающим и составляло в среднем 6,86 %, а для поперечного – 0,25 %.

Результаты определения степени сопротивления продавливанию образцов представлены на рис. 3 и 4.

Результаты исследования сопротивления продавливанию показывают, что оно уменьшается с наличием конгрева. Это обусловлено тем, что тиснение нарушает межволоконные связи и разрушает надмолекулярную структуру древесных волокон.

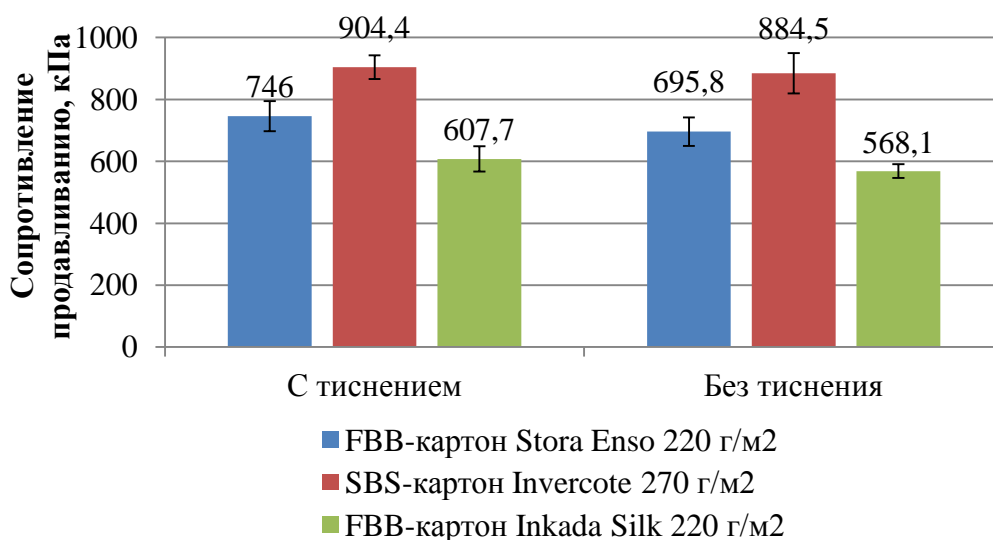


Рисунок 3 – Сопротивление продавливанию исследуемых образцов картона

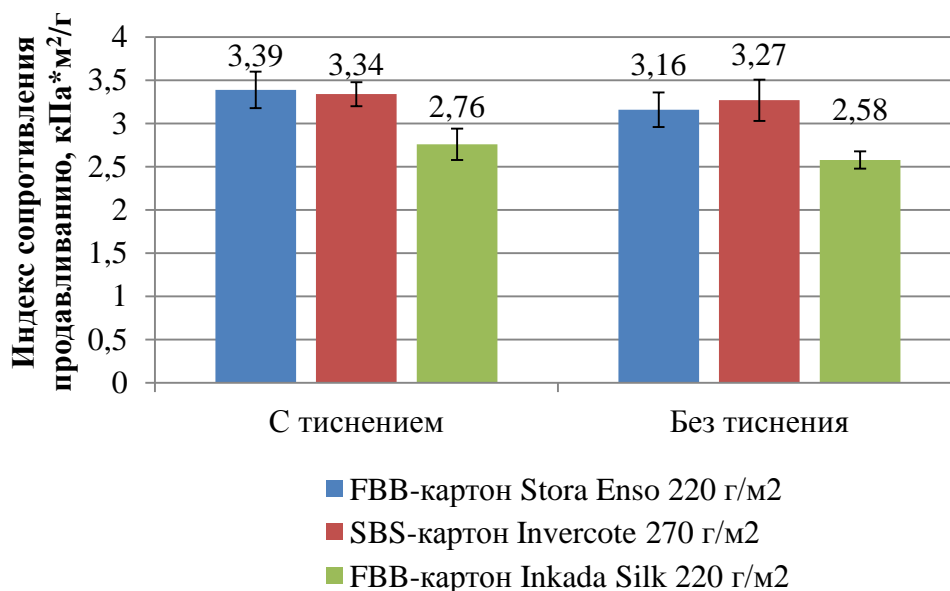


Рисунок 4 – Индекс сопротивления продавливанию исследуемых образцов картона

Для FBB-картона компании Stora Enso с тиснением и без него изменение показателей сопротивления продавливанию и индекса сопротивления продавливанию составило 6,72 и 6,78 %, соответственно.

SBS-картон Invercote показал меньшее изменение исследуемых параметров – 2,2 % для сопротивления продавливанию и 2,09 % для индекса сопротивления продавливанию.

Для FBB-картона марки Inkada Silk изменение показателей сопротивления продавливанию и индекса сопротивления продавливанию под влиянием тиснения составило 6,51 и 6,52 %, соответственно.

### Заключение

1. Исследования показали, что тиснение снижает сопротивление разрыву FBB-картонов (то есть содержащих древесную массу) в среднем на 3,6 % и оказывает незначительно большее влияние на SBS-картон – в среднем на 0,5 процентных пункта.
2. В то же время влияние тиснения на сопротивление продавливанию выглядит более значимо для FBB-картонов (6,6 %) и практически не влияет на SBS-картон (2,1 %).
3. В целом результаты проведенных исследований лишь подтверждают необходимость повторного испытания физико-механических свойств картона после полного технологического цикла изготовления упаковки, так как свойства изменяются под воздействием не только печатных процессов, но и послепечатных.

## Список литературы

1. Воробьев Д.В. Технология послепечатных процессов: учебник. – М.: МГУП, 2000. – 393 с.
2. Stora Enso Renewable Packaging [Электронный ресурс]. Веб-сайт компании Stora Enso. Режим доступа: <http://renewablepackaging.storaenso.com/products> (Дата обращения: 28.05.2018).
3. Iggesund Paperboard [Электронный ресурс]. Веб-сайт компании Iggesund Holmen Group. Режим доступа: <https://www.iggesund.com/en/> (Дата обращения: 28.05.2018).
4. Metsä Board – Premium fresh fibre paperboards [Электронный ресурс]. Веб-сайт компании Metsä Group. Режим доступа: <https://www.metsaboard.com/> (Дата обращения: 28.05.2018).

**Перспектива использования гофрокартона в индустрии ритуальных услуг**  
**The prospect of corrugated cardboard using in the funeral services industry**

И.С. Малашенкова, А.Г. Кузнецов

I.S. Malashenkova, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей статье рассматриваются тенденции в развитии ритуальной сферы услуг и принципиальная возможность использования гофрокартона в качестве материала для изготовления гробов.

This article discusses the trends in the development of the ritual service sector and the principal possibility of corrugated cardboard using as a material for the manufacture of coffins.

Ключевые слова: гофрокартон, экология, захоронение, ритуальные услуги.

Keywords: corrugated cardboard, ecology, burial, funeral services.

**Воздействие кладбищ на экологию почв**

Ежегодно на планете хоронят огромное количество людей, и данный факт неблагоприятно воздействует на состояние почв. Нынешние погребальные традиции по меньшей мере отличаются от траурных традиций наших предков. Обряд захоронения на нашей планете на сегодняшний день оброс большим количеством добавочных компонентов - мы опускаем усопших в огромных деревянных гробах с металлическими вставками и бальзамируем мертвецов ядовитыми жидкостями. С увеличением числа жителей нашей планеты увеличивается и число усопших, захоронение которых увеличивает концентрацию различных бактерий и микроорганизмов, негативно влияющих на состояние почв и грунтовых вод. Общество зачастую не задумывается о том, какие последствия могут быть в будущем от таких захоронений.

Почва кладбищ имеет большое эпидемиологическое значение. Болезнетворные бактерии проникают в грунт с телами усопших. В нем могут находиться и передаваться человеку прямым, контактным и непрямым путем (через пыль, воду, птиц, животных, насекомых, грызунов, растения, споры грибов) возбудители многих инфекционных заболеваний, а также яйца и личинки гельминтов. По сути, почвы на кладбищах нужно отнести к разряду почв, загрязненных органическими веществами. В таких почвах микробы

длительно сохраняют свою жизнеспособность – до нескольких десятков лет. В течение этого времени возможно проникновение патогенных организмов в грунтовые и поверхностные воды, проходящие рядом с инфицированной почвой.

### **Захоронения будущего. Ресомация и промессия – новые методы погребения**

Во многих странах существует проблема, связанная с постоянным расширением территорий кладбищ. Кремирование отчасти решает данную задачу, так как дает возможность экономить плодородные почвы, не превращая их в инфицированный грунт, но и у этого способа есть недостатки. Работа крематориев старого типа, не вооруженных улавливателями вредных выбросов, наносит вред окружающей среде – ведь каждое сожжение – это выбросы углекислого газа в атмосферу. Однако похоронные обычаи не стоят на месте – сейчас появляются новые «технологичные» способы погребения, призванные решить проблемы традиционных похорон.

*Ресомация* – технология ускоренного разложения останков, предложенная шотландским ученым Сэнди Сэлливаном и воплощенная в жизнь его компанией Resomation Ltd. Больше всего ресомация напоминает ускоренный процесс растворения. Тело кладут в герметичную камеру, называемую ресоматор, где происходит его гидролиз в щелочной среде. Затем тело обрабатывается раствором гидроксида кальция под воздействием высокой температуры (180 °С) и высокого давления (10 атмосфер). Растворившиеся останки смываются, а не растворившиеся – сушатся и измельчаются. Процедура занимает около 3 часов, и в результате нее тело превращается в прах белого цвета, который получают близкие покойного. [1]

Процесс *промессии* состоит из нескольких этапов. После траурной церемонии тело извлекается из гроба и помещается в специальную охлаждающую камеру. Затем останки погружают в жидкий азот, где они кристаллизуются при температуре минус 196 °С. Замороженное и азотированное тело расщепляют при помощи вибрации. Из получившегося порошка методом холодного испарения выпаривают всю воду и удаляют металлические фрагменты (зубные протезы, пломбы, штифты и т.д.).

Итоговый результат – порошкообразный прах, который может быть с пользой усвоен окружающей средой и не представляет эпидемиологической угрозы. [2]

На данный момент, в мире эти способы «утилизации тел» мало распространены, нежели кремация, это связано с большими финансовыми затратами и сложностью самого процесса.

## Ритуальная индустрия в России

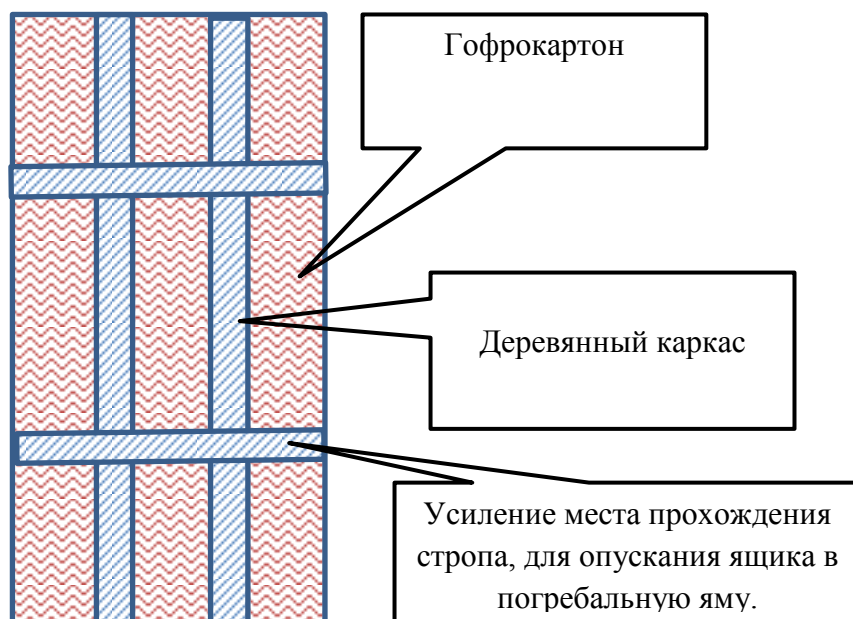
Способ погребения, который предпочитают в той или иной культуре, зависит не только от религии, но и от законодательства: захоронение в земле оказывается более выгодным там, где государство меньше его контролирует. В России практически невозможно построить частный крематорий: нужно согласование на землю, коммуникации, дороги, водоотведение, к тому же необходимо получить негласное разрешение местного епископата. Все это делает строительство крематория крайне сложным и очень затратным. Например, стоимость одной из самых дешевых венгерских печей в сборке составляет 180 000 евро. Во-вторых, сам провинциальный ритуальный рынок практически не контролируется государством, а значит, хоронить в землю гораздо выгоднее: нет статистики о том, кто и где захоронен, систем отчетности — сколько прошло тел через агентство и так далее. И все это при минимуме вложений. А крематорий все же существовать может практически только «в белую». Не говоря уже о том, что он создает серьезную конкуренцию локальному рынку ритуальных услуг. [3]

Целью данной работы является исследование возможности использования гофрокартона в качестве материала для изготовления гробов, значительно более дешевых и экологически безопасных.

Выбирая материал для создания «упаковки», необходимо учитывать следующие параметры: низкая цена, экологическая безопасность и достаточная механическая прочность. Исходя из выбранных параметров, самым подходящим материалом является семислойный гофрокартон. Этот материал по прочности не уступает дереву и в земле разлагается гораздо быстрее, при этом его стоимость невысокая и в продаже он всегда в достаточном количестве. Тем не менее, исследования показали, что гофрокартон не обладает достаточным запасом механической прочности, в связи с чем необходимо усилить его деревянным каркасом, тем самым получив композиционный материал (рис.).

Применение гофрокартона в ритуальной индустрии позволит не только сохранять природные ресурсы, но и экономить на сырье, беречь окружающую природу. Не зря экологи разных стран мира говорят, что гофрокартон — это материал будущего! Люди смогли бы создавать «семейные захоронения», ведь тело в таком экологичном гробу будет разлагаться гораздо быстрее, чем в традиционном. И уже через пару лет в этой же могиле можно хоронить других родственников. Больше не придется тратить десятки тысяч рублей за место на кладбище и дорогой деревянный гроб. А тот факт, что изготовление гофрокартона обходится дешево, сам материал легкий, сырье для него является возобновляемым ресурсом, окончательно привел ученых экологов и

современных технологов к мнению о перспективности гофрокартона как одной из основных разновидностей материалов будущего.



Упрощенная схема предполагаемого композиционного материала

### **Выводы**

Гофрокартон является самым подходящим материалом для создания «погребальной упаковки», так как является экологически чистым, дешевым и быстро разлагается в почве. В ходе дальнейших исследований на кафедре ТЦКМ ВШТЭ СПбГУПТД планируется экспериментально реализовать описанные в статье планы.

### **Список литературы**

1. Ресомация [Электронный ресурс] // Веб-сайт компании DAL.ACADEMIC.RU. URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1612507> (дата обращения 09.09.2018).
2. Промессия [Электронный ресурс] // Веб-сайт компании DAL.ACADEMIC.RU. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/674402> (дата обращения 09.09.2018).
3. Ритуальная индустрия в России [Электронный ресурс] // Веб-сайт компании THEORY&PRACRICE. URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/16205-vopros-na-tp-pochemu-v-rossii-pogrebenie-v-zemle-populyarnee-krematsii> (дата обращения 09.09.2018).

**Экстракция горячей водой из опилок лиственницы  
с одновременным сгущением раствора**

**Extraction with hot water from larch sawdust with simultaneous thickening of  
the solution**

А.Г. Кузнецов, А.В. Подчасова, В.Н. Дасмаев, Ю.Г. Мандре,  
Э.Л. Аким, Н.В. Виноградов, А.В. Брисюк

A.G. Kuznetsov, A.V. Podchasova, V.N. Dasmaev, Yu.G. Mandre,  
E.L. Akim, N.V. Vinogradov, A.V. Brisyuk

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В работе рассматривается вопрос квалифицированного использования отходов лесопиления, способы экстракции полезных веществ из опилок и стружки древесины лиственницы, а также экспериментальный способ экстракции горячей водой.

The paper deals with the issue of qualified use of sawmill waste, methods of extraction of nutrients from larch wood sawdust and shavings, as well as an experimental method of extraction with hot water.

Ключевые слова: опилки, стружка, лиственница, экстракция.

Keywords: sawdust, shavings, larch wood, extraction.

Современный мир можно охарактеризовать гонкой промышленных технологий. С каждым годом новые технологические решения упрощают жизнь, помогая человечеству сохранить драгоценное время и силы. Большое внимание уделяется рациональному использованию природных ресурсов и экологически чистой утилизации отходов.

На крупных лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях опилки используются в качестве топлива, которое сжигается в котельных для производства пара и энергии [1, 2]. Для повышения эффективности сгорания древесная биомасса должна иметь не более 10–15 % влажности, что требует дополнительных технологических операций и затрат [3]. Мелкие и средние предприятия реализуют опилки населению или отвозят их в шламонакопители. Альтернативой прямому сжиганию древесных отходов является изготовление топливных гранул. Древесные гранулы выделяют больше тепла, чем сжигание опилок и щепы, таким образом, увеличивая коэффициент полезного действия котельных. Для гранул не требуется больших складских площадей и при



хранении они не самовоспламеняются в отличие от опилок. Перспективным направлением также является использование опилок в качестве сырья для извлечения полезных веществ из древесины. Такое направление не требует специальной подготовки исходного сырья для использования, но встает вопрос об эффективности его реализации.

Главной лесообразующей породой в России является лиственница, которая занимает около 40 % общей площади лесов. В России произрастает более 10 видов лиственницы, но наиболее распространены сибирская, даурская и курильская лиственница [4]. Основным ареалом произрастания этой породы древесины являются восточная Сибирь и Дальний Восток. В хвойных породах древесины содержание водорастворимых полисахаридов невелико и в основном представлено арабиногалактаном (АГ), крахмалом и пектиновыми веществами. Древесина лиственницы сибирской и даурской содержит до 15 % арабиногалактана [5], который является биологически активным водорастворимым полисахаридом, обладающим свойствами иммуномодулятора и пребиотиков. Весьма перспективным является применение арабиногалактана в ветеринарии. В настоящее время это особенно актуально в связи с попытками запрета использования в животноводстве ряда антибиотиков [6].

Однако, несмотря на разнообразие практически ценных свойств арабиногалактана и относительную доступность, в России нет его промышленного производства. Ряд зарубежных компаний производит АГ уже более 30 лет, и в последние годы их число увеличилось. [7]

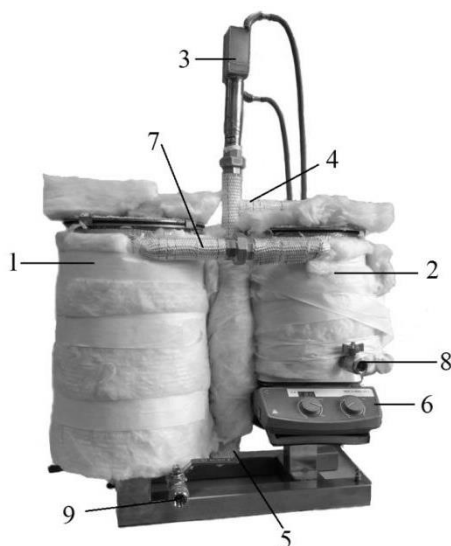
Целью данного исследования являются два актуальных вопроса:

- эффективность реализации опилок и стружки лиственницы, являющихся отходами деревообрабатывающей промышленности;
- эффективное получение арабиногалактана в промышленных масштабах.

Сырьём для исследования являлись полученные с пилорамы под Санкт-Петербургом опилки лиственницы.

Способы извлечения АГ из древесины лиственницы основаны на его экстракции водой и отличаются лишь методами предварительной обработки исходного сырья, очистки экстрактов и целевого продукта от примесей. В водных экстрактах основными примесями арабиногалактана являются растворимые в воде фенольные соединения, в основном флавоноид дигидрокверцетин. [8]

В настоящей работе для экстракции горячей водой с одновременным концентрированием экстракта использовался экспериментальный лабораторный экстрактор, разработанный Ю.Г. Мандре, профессором кафедры ТЦКМ СПб ГУПТД (рис.).



Лабораторный экстрактор: 1 – ёмкость для опилок; 2 – ёмкость 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 экстрагента

Опилки помещают в ёмкость для опилок 1 и заливают водой до нижнего уровня трубы 7. Пустую ёмкость для экстракта 2 также наполняют водой и включают электроплитку 6. Вода в ёмкости 2 закипает, и образующийся пар по трубке 4 поднимается в холодильник 3, где конденсируется, после чего поступает по трубке 5 в ёмкость с опилками 1, вытесняя часть экстракта, который поступает по трубке 7 в ёмкость с экстрактом 2. Таким образом, за счёт выпаривания воды в ёмкости 2 концентрируется экстракт, который затем отбирается через кран 8. Таким образом, аппарат работает по принципу экстрактора Сокслета.

Продолжительность процесса экстракции в экспериментальном экстракторе составила 30 часов. Для исследований было взято 15 литров опилок, которые залили в ёмкости для опилок 2 водой до нижнего уровня горловины трубы для отвода экстракта 7, примерно на 10 см выше уровня опилок.

Во время экстракции контролировались следующие параметры:

- температура электроплитки;
- температура жидкости охлаждения на выходе из холодильника (поддерживалась постоянной на уровне 26 °С);
- температура жидкости в ёмкости для опилок.

Температура жидкости в ёмкости для опилок контролировалась периодически на поверхности и в толще воды на расстоянии 7-8 см от поверхности экстракта (табл. 1).

При температуре плитки 500 °С в ёмкости для экстракта происходило интенсивное испарение жидкости, пар частично уходил через трубку отвода экстракта 7 и нагревал жидкость в ёмкости для опилок 2, что вероятно,

ускоряло процесс перехода водорастворимых веществ из опилок в экстракт из-за более равномерного прогрева жидкости для экстракции сверху и снизу (конденсатом). Разница температур на поверхности и в толще воды составляла в среднем 25-30 °С.

При температуре 400 °С практически весь пар движется к холодильнику. В толще воды температура остаётся на уровне 50 °С, однако на поверхности снижается до 65-70 °С.

При температуре 300 °С пар полностью поднимается к холодильнику, и общая температура экстракта снижается до 45 °С. Температура конденсата также снижается до 45-50 °С.

Таблица 1 – Температура экстрагента в ёмкости для опилок в зависимости от режима электроплитки, °С

	Температура плитки, °С		
	500	400	300
Температура экстрагента на поверхности	80-75	65-60	45
Температура экстрагента в толще	50	50	50-45

Для того чтобы зафиксировать момент окончания выхода водорастворимых веществ в экстракт, отбирались пробы из верхней части ёмкости для опилок и определялась их концентрация.

Данные по взятым пробам представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Концентрация водного экстракта в зависимости от продолжительности экстракции

№ пробы	Время отбора пробы от начала экстракции	Концентрация, %
Проба 1	14 ч 00 мин	0,469
Проба 2	19 ч 30 мин	0,373
Проба 3	25 ч 00 мин	0,329
Проба 4	26 ч 30 мин	0,341

Ориентируясь на схожесть показателей концентрации проб № 3 и 4, пришли к выводу, что процесс экстракции можно закончить. После этого была измерена концентрация раствора в ёмкости для экстракта. Она составила 5,597 %.

В дальнейших исследованиях потребуется провести новые опыты с экспериментальным экстрактором для отработки режимов с целью увеличения концентрации раствора в ёмкости для экстракта и уменьшения

продолжительности процесса, однако уже сейчас проведённые эксперименты позволяют говорить о возможности использования опилок для получения экстрактов полезных веществ из древесины лиственницы.

#### Список литературы

1. Виды опилок: характеристики, состав и особенности применения хвойных и лиственных пород [электронный ресурс] // Сайт Rcycle.net. URL: <https://rcycle.net/drevesina/opilki/vidy-harakteristiki-sostav> (дата обращения 31.05.2018).
2. Древесные опилки [электронный ресурс] // Лесная промышленность. URL: <http://wood-prom.ru/clauses/alternative/drevesnye-opilki> (дата обращения 30.05.2018).
3. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
4. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Ч. 3: Справочные материалы. – СПб.: ЛТА, 2002. С. 21-23.
5. Медведева С.А., Александрова Г.П., Сайботалов М.Ю. Арабиногалактан лиственницы сибирской - природный иммуномодулятор // Материалы 5 Междунар. съезда «Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения». – СПб.:Петродворец, 2001. С. 104–105.
6. Тамм Л.А., Комиссаренков А.А., Барам А.А., Дробосюк В.М. Применение органоминеральной композиции на основе арабиногалактана в составе бумажной массы // Тезисы докл. III Всеросс. научно-техн. конф. «Химия и использование экстрактивных веществ дерева». – Горький, 1990. С. 125–126.
7. United States Patent 3509126 Recovery of High Purity Arabinogalactan from Larch. Klaus Dahl, Munich, Germany, assignor to Columbia Cellulose Company Limited, Vancouver, British Columbia, Canada, a corporation of Canada. Filed Sept. 7, 1967, Ser. No. 665978. Int. Cl. C08b 19/12. US. Cl. 260-209.5. 5 p.
8. Кузнецов А.Г. Разработка путей крупнотоннажного использования арабиногалактана – продукта глубокой переработки древесины лиственницы: дис. канд. техн. наук. СПб., 2015. – 196 с.

**Переработка методики размола волокнистых полуфабрикатов  
на лабораторном ролле Валлея**

**Upgrade of the method of pulp beating on the laboratory Valley beater**

А.В. Лапухова, Н.Е. Семина, А.Г. Кузнецов

A.V. Lapukhova, N.E. Semina, A.G. Kuznetsov

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

В настоящей работе изучается зависимость бумагообразующих свойств беленой хвойной и лиственной целлюлозы от технологических параметров размола на лабораторном ролле Валлея при использовании меньшего количества сырья, чем требуется по ГОСТ 14383.89. В результате исследования предлагается модернизированная методика размола волокнистых полуфабрикатов на лабораторном ролле Валлея с сокращением количества волокна и воды.

This work studies the dependence of paper-forming properties of bleached softwood and hardwood pulp on the technological parameters of beating on the laboratory Valley beater when using less raw materials than required by GOST 14383.89. As a result of research the upgraded technique of pulp beating on the laboratory Valley beater with reduction of quantity of fibers and water is offered.

Ключевые слова: беленая сульфатная хвойная целлюлоза, беленая сульфатная лиственная целлюлоза, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, размол, градус помола.

Keywords: bleached softwood kraft pulp, bleached hardwood kraft pulp, pulp beating, pulp freeness.

Целлюлозно-бумажная промышленность России — одна из ведущих отраслей лесного комплекса, которая объединяет технологические процессы получения целлюлозы, бумаги, картона и бумажно-картонных изделий (писчей, книжной и газетной бумаги, тетрадей, салфеток, технического картона и др.). Производство целлюлозно-бумажной продукции непрерывно растет. Так, после незначительного увеличения выпуска продукции в 2015 году, в следующем 2016 году показатели роста оказались существенно выше предыдущих. Более того, уже по итогам 9 месяцев 2017 года видна тенденция растущего тренда. Предприятия отечественной ЦБП наращивают мощности, анонсирован ряд новых целлюлозно-бумажных производств, растет выпуск

бумажно-беловой и санитарно-гигиенической продукции, прослеживается положительная динамика по выпуску бумаги и картона. [1]

Основным видом волокнистого полуфабриката, производимого в России, является беленая сульфатная листовенная целлюлоза, которая производится в городе Коряжма. Из-за особенностей строения при производстве бумаги листовенную целлюлозу применяют в композиции с хвойной. Из такой композиции производят офисную бумагу, бумагу для печати и других видов бумаг. Также листовенная целлюлоза служит сырьем для производства нейтральной сульфатной полуцеллюлозы. В настоящее время полуцеллюлоза получила широкое применение в производстве упаковочных видов бумаг и разнообразных видов картона, в том числе и тарного. [2]

Производство картонно-бумажной продукции – это многостадийный процесс. В качестве сырьевой базы может использоваться любой волокнистый полуфабрикат (ВПФ).

Одним из многозначительных этапов производства является процесс размола, в результате которого волокнистому материалу придают свойства, необходимые для повышения связеобразующей способности целлюлозы и прочности бумажного листа. Размол волокнистого полуфабриката может проводиться как в промышленных условиях, так и в лабораторных. При размоле ВПФ в лабораторных условиях используется ролл Валлея, для которого готовят суспензию согласно ГОСТ. Однако, по ГОСТ 14383.89, при размоле на ролле Валлея необходимое количество суспензии составляет 23 литра при концентрации волокна 1,57 % [3]. В ходе проведения экспериментов часто остается значительное количество отходов в виде неиспользованной размолотой суспензии ВПФ. В результате тратится большое количество волокна и воды. По этой причине переработка методики размола на ролле Валлея при малых количествах волокнистого полуфабриката является актуальным вопросом исследований. [4, 5]

Целями и задачами данного исследования являются:

1. Отработка различных технологических параметров размола на ролле Валлея с постоянной концентрацией массы, но разными объемами (параметры:  $C = 1,57\%$ ,  $V = 6, 8, 10$  и  $12$  литров).
2. Отработка различных технологических параметров размола на ролле Валлея с постоянным объемом (выбранным как оптимальный, исходя из первой серии экспериментов), но с разными концентрациями ( $C = 0,6; 0,8$  и  $1,2\%$ ).

В качестве сырья использовались: беленая сульфатная хвойная целлюлоза и беленая сульфатная листовенная целлюлоза.

Для проведения исследований волокна использовались: аппарат Шоппер – Риглера, анализатор волокна Morfi Compact.

В первой серии экспериментов для каждого ВПФ готовили волокнистую суспензию объемом 6, 8, 10 и 12 литров с постоянной концентрацией 1,57 %, которая используется в стандартной методике при размоле 23 литров суспензии ВПФ.

Размол проводили в течение 25 минут с отбором проб через каждые 5 минут.

Результаты размола по первому направлению исследований представлены на рис. 1-6.

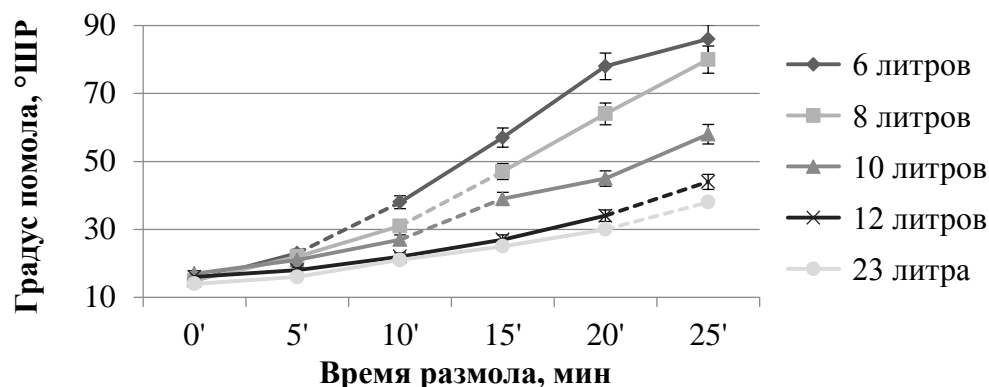


Рисунок 1 - Изменение градуса помола беленой сульфатной **лиственной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

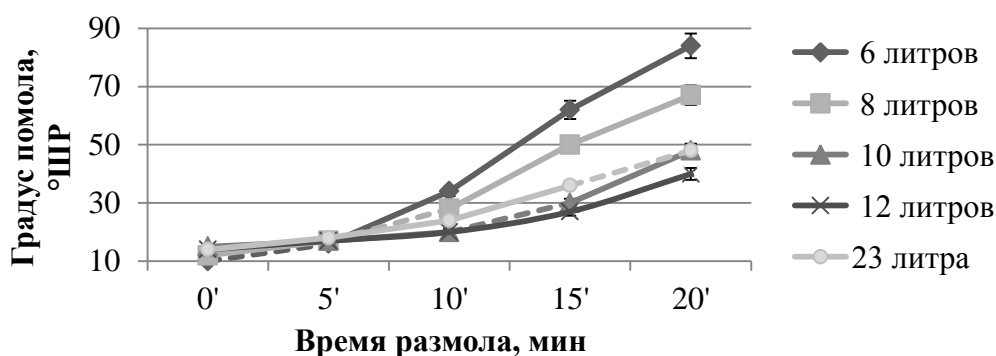


Рисунок 2 - Изменение градуса помола беленой сульфатной **хвойной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

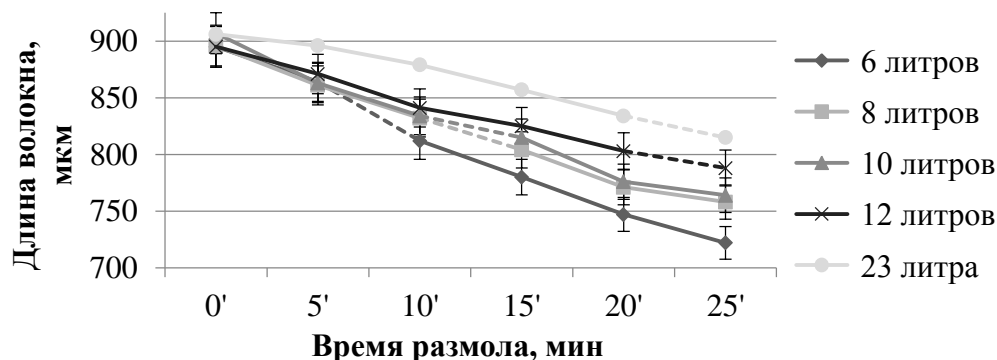


Рисунок 3 - Изменение длины волокна беленой сульфатной **лиственной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

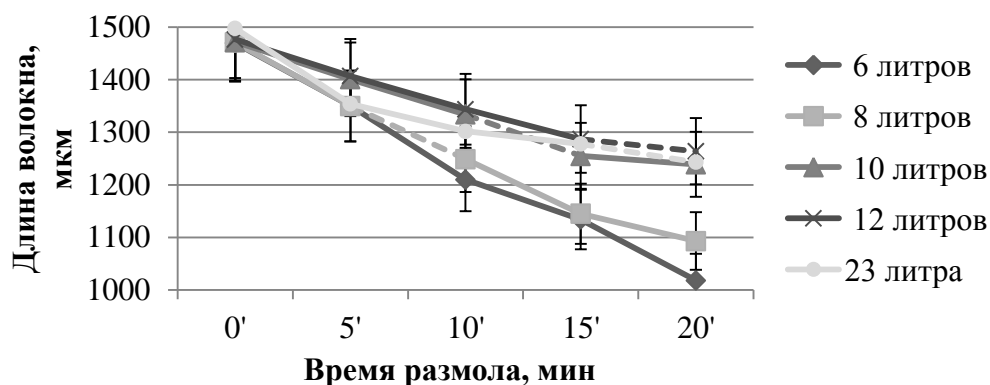


Рисунок 4 - Изменение длины волокна беленой сульфатной **хвойной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

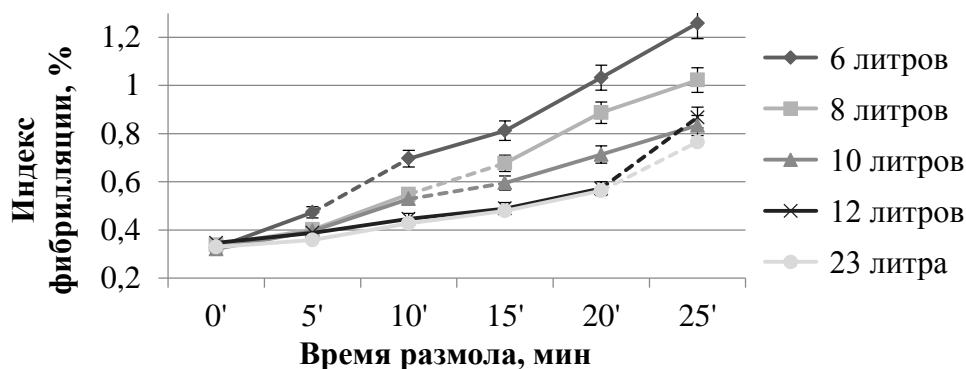


Рисунок 5 - Изменение индекса фибрилляции волокна беленой сульфатной **лиственной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

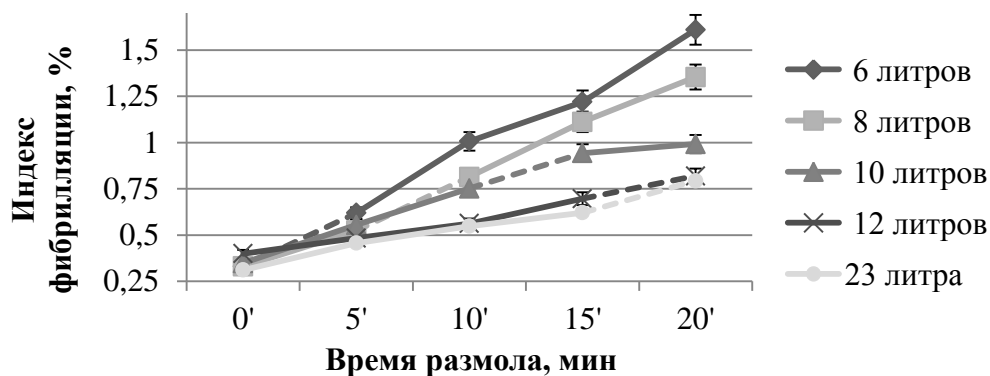


Рисунок 6 - Изменение индекса фибрилляции волокна беленой сульфатной **хвойной** целлюлозы в ходе размола образцов с концентрацией 1,57 % при разном объеме

В результате проведенной первой серии экспериментов было выявлено следующее:

1. Рассматривая данные, полученные при размоле лиственной целлюлозы, следует отметить: так как многие виды бумаг производятся при градусе помола 30-35 °ШР, то анализ полученных данных происходил в диапазоне градуса помола 30-40 °ШР. На графиках он дополнительно выделен. Лиственные породы древесины имеют коротковолокнистую структуру, в связи с этим значительное уменьшение длины волокна нежелательно. В



меньшей степени длина волокна в выбранном диапазоне изменяется при размоле 12 литров. Индекс фибрилляции увеличивается примерно на 25 %.

- Основным параметром выбора режима размола хвойной целлюлозы являлся показатель индекса фибрилляции. Анализируя полученные данные: наибольшее значение индекса фибрилляции с меньшей потерей длины волокна было достигнуто при объеме 12 литров.

Во 2-й серии экспериментов размол ВПФ проводился с выбранным оптимальным объемом – 12 литров – и с разными концентрациями: 0,6; 0,8; 1,2; 1,57 %.

Размол проводился аналогично в течение 25 минут с отбором проб через каждые 5 минут. Результаты представлены на рис. 7-12.

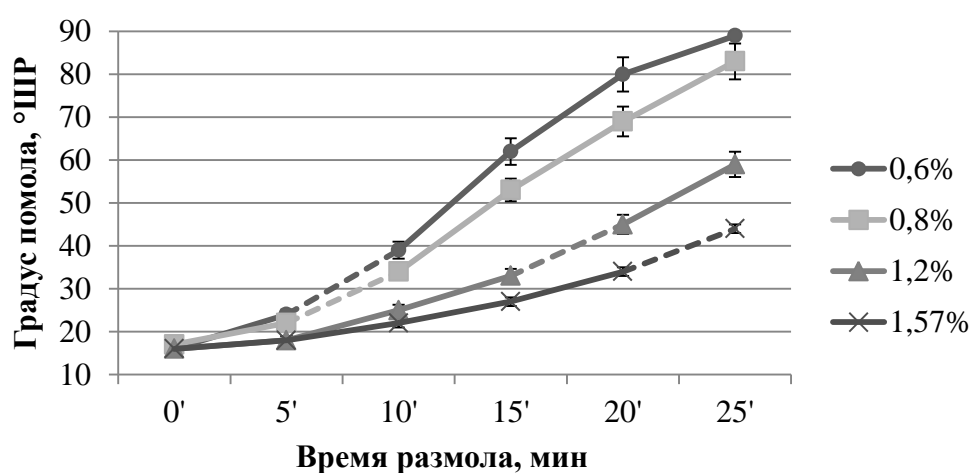


Рисунок 7 - Изменение градуса помола беленой сульфатной **лиственной** целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

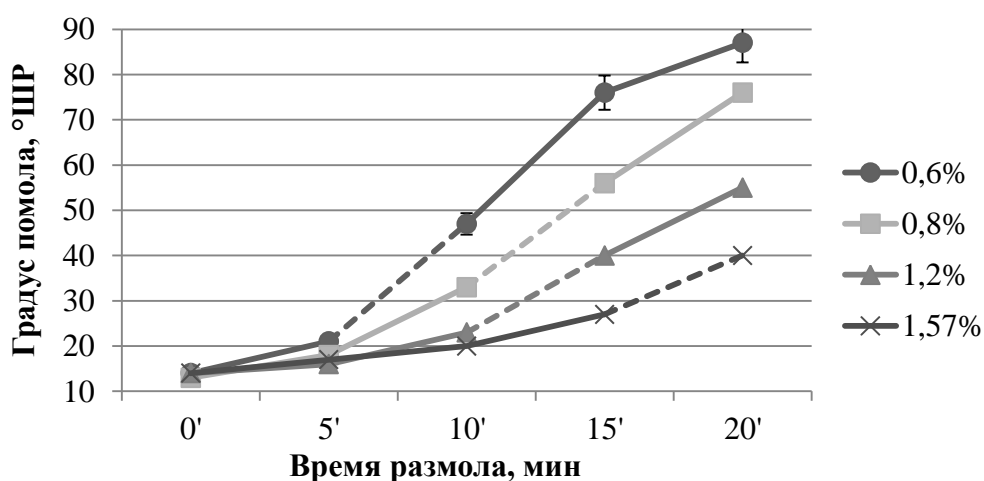


Рисунок 8 - Изменение градуса помола беленой сульфатной **хвойной** целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

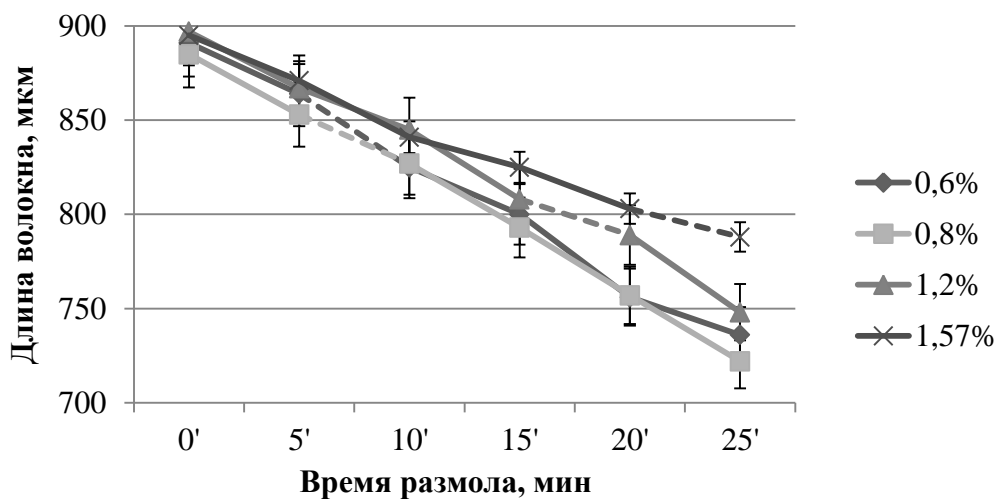


Рисунок 9 - Изменение длины волокна беленой сульфатной **лиственнной** целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

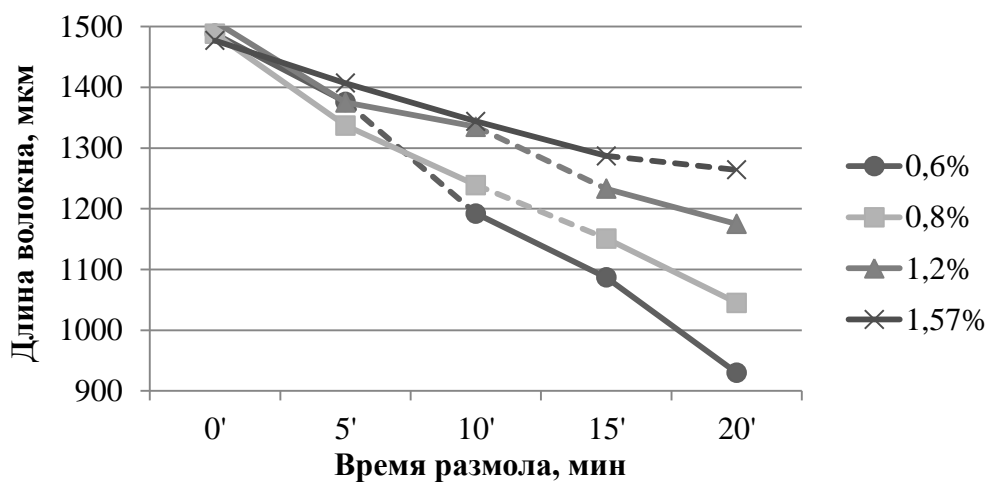


Рисунок 10 - Изменение длины волокна беленой сульфатной **хвойной** целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

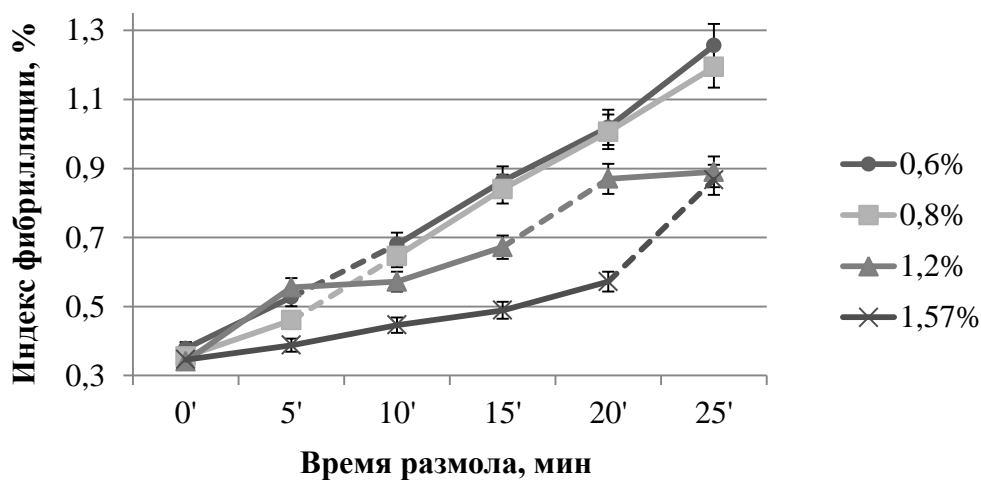


Рисунок 11 - Изменение индекса фибрилляции беленой сульфатной **лиственнной** целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

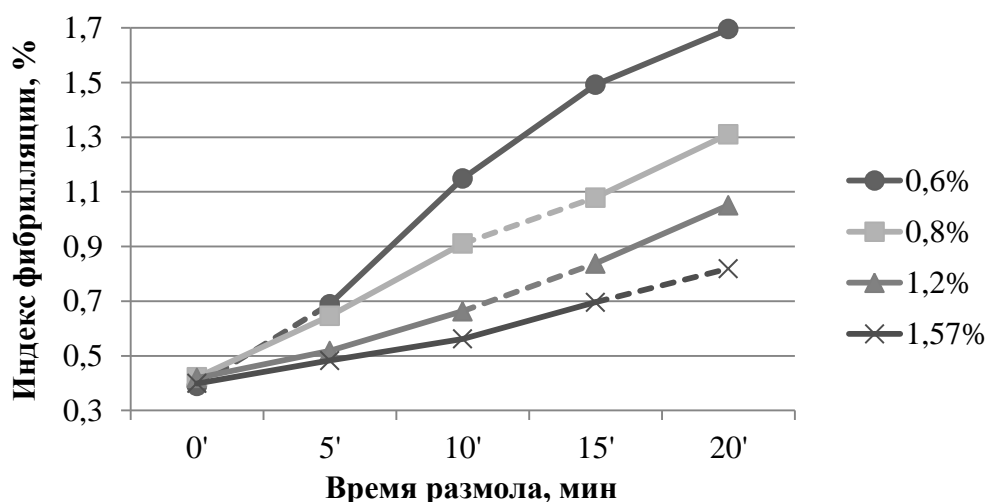


Рисунок 12 - Изменение индекса фибрилляции белой сульфатной хвойной целлюлозы в ходе размола образцов объемом 12 литров с разными концентрациями

В результате 2 серий экспериментов было выявлено следующее:

1. Для проведения размола лиственной целлюлозы на ролле Валлея при разной концентрации, но с постоянным объемом, оптимальным режимом размола с достижением наилучших характеристик волокна является режим при концентрации волокнистой массы 1,2 %, так как в выбранном диапазоне длина волокна изменяется в меньшей степени, а значение индекса фибрилляции выше, чем у остальных образцов (увеличение индекса фибрилляции в среднем на 60 %).
2. Размол хвойной целлюлозы следует проводить при концентрации 0,8 %, так как индекс фибрилляции при данной концентрации выше на 25 %, чем у остальных образцов, а уменьшение длины происходит в меньшей степени.

Опираясь на совокупность данных, полученных в ходе исследований, была переработана методика для размола волокнистых полуфабрикатов на лабораторном ролле Валлея, позволяющая использовать меньшее количество волокна и воды при обеспечении заданных морфологических свойств и градуса помола волокна.

Показано, что для обеспечения заданных морфологических свойств и градуса помола: размол лиственной целлюлозы возможно проводить с концентрацией 1,2 % при объеме 12 литров, а хвойную целлюлозу следует размалывать при концентрации 0,8 % при объеме 12 литров. В этих условиях достигается высокая степень фибриллирования при незначительном укорачивании волокна.

## Список литературы

1. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Справочный документ для производства целлюлозы, бумаги и картона. – М.: Бюро НДТ, 2015. – С. 109.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. I. Технология производства и обработки бумаги и картона / Комаров В.И., Галкина Л.А., Лаптев Л.Н. [и др.]. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
3. ГОСТ 14363.4-89 (ИСО 5264-3-79, ИСО 5269-2-80). Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.
4. Иванов С.Н. Технология бумаги. – Изд. 3-е. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
5. Фляте Д.М. Технология бумаги: учебник для вузов – М.: Лесн. пром-сть, 1988 – 440 с.

**Квантово-химическое изучение ИК спектров структурных фрагментов  
лиственных лигнинов**

**Quantum chemical study of IR spectra of structural fragments of deciduous  
lignins**

В.Е. Воронко, М.М. Ишанходжаева, О.Ю. Деркачева  
V.E. Voronko, M.M. Ishankhodzhaeva, O.Yu. Derkachiova

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Целью данного исследования является поиск метода интерпретации экспериментальных ИК спектров лиственных лигнинов на основе изучения теоретических спектров моделей молекул, содержащих различные фенилпропановые единицы лигнина (ФПЕ); установление характеристических полос, позволяющих определить структуру и состав лигнина неизвестного происхождения. Установлено наличие колебаний, соответствующих скелетным колебаниям ароматического кольца.

The aim of this study is to find a method of interpretation of experimental IR spectra of deciduous lignins based on the study of theoretical spectra of models of molecules containing various phenylpropane units (FPE) of lignin; the establishment of characteristic bands that allow to determine the structure and composition of lignin of unknown origin. The presence of oscillations corresponding to skeletal oscillations of the aromatic ring is established.

Ключевые слова: лигнин, ФПЕ, спектры, модели, сиригильные, гваяцильные, колебания.

Keywords: lignin, PPU, spectra, models, syringyl, guaiacil, fluctuations.

Для интерпретации колебаний характеристических групп лиственных лигнинов использован метод сопоставления теоретических спектров моделей фрагментов с экспериментальным ИК спектром образца лигнина, выделенного из древесины березы.

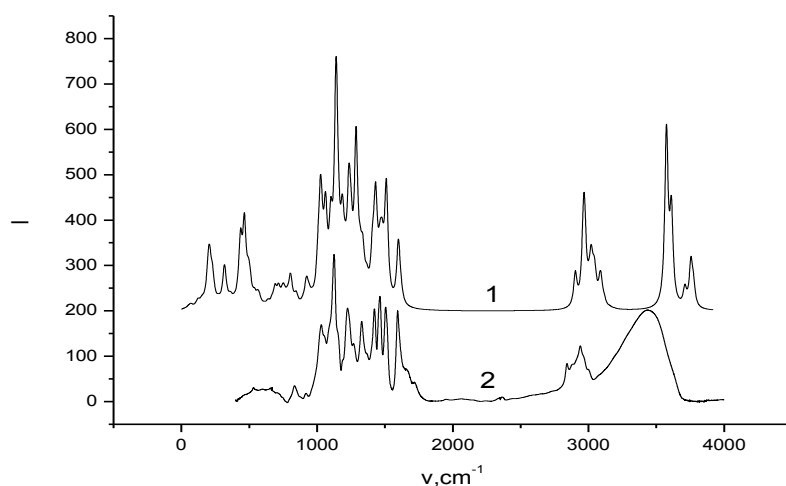


Рисунок 1 – Наложение экспериментального графика с теоретическим модели G-S:  
1- теоретический, 2- экспериментальный

Как видно из рис. 1, имеются максимальные пики в области 1100-1200 и 1500-1700  $\text{cm}^{-1}$ , что характеризует скелетные колебания ароматического кольца, причем пики экспериментального ИК спектра совпадают с теоретическими.

В структуре лигнинов существуют метоксильные, гидроксильные фенольные и алифатические группы; имеются также карбонильные альдегидные, кетонные и карбоксильные группы, а также двойные связи алкенового типа, которые в ИК спектрах проявляются в виде валентных или различных деформационных колебаний [1-12].

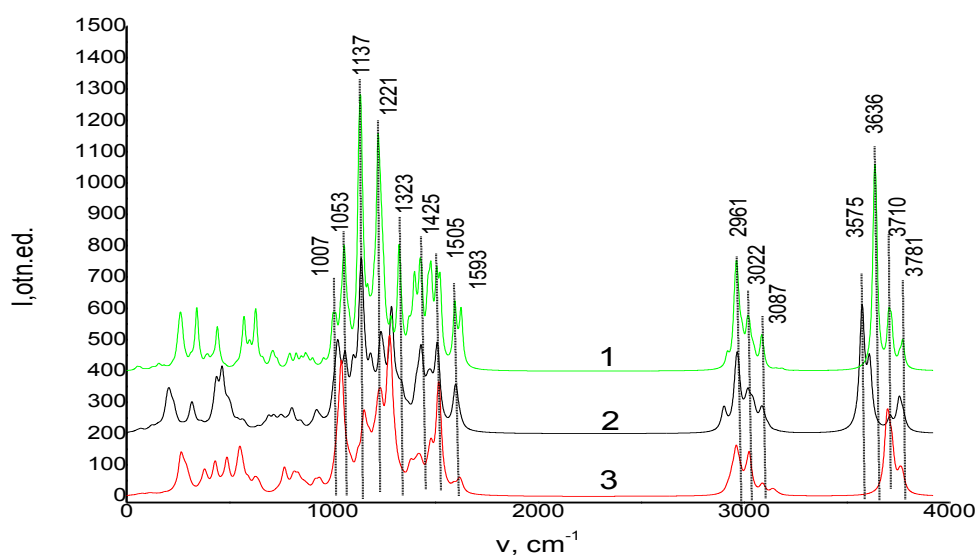


Рисунок 2 – Сопоставление полученных теоретических спектров:  
1 - спектр модели S-S, 2 - спектр модели G-S, 3 - спектр модели G-G

Изучены три модели лигнина: содержащие только сиригильные фенилпропановые группы (ФПЕ) (S-S), только гваяцильные (G-G) и смешанные фрагменты структуры лигнина (S-G) [13-16].

Теоретические спектры были построены с использованием ресурса пакета программ Gaussian 08. Построенные ИК спектры были обработаны для определения типа колебаний характеристических групп, отнесения полос поглощения и определения интенсивностей. Теоретические ИК спектры сняты для интервала колебаний от 0 – 4000  $\text{см}^{-1}$ .

Спектр 3 на рис. 2 представляет модель, содержащую только гваяцильные группы. Спектр снят в области от 0 – 4000  $\text{см}^{-1}$ . Из спектра видно, что максимальные интенсивности колебаний соответствуют областям валентных колебаний  $\gamma$ -ОН группы (пик с центром 3797  $\text{см}^{-1}$ ). Валентные колебания СН групп в метоксильной части соответствуют пику 3023  $\text{см}^{-1}$ , валентные колебания фенольных ОН групп располагаются в области 3776  $\text{см}^{-1}$ ; в области 1545-1658  $\text{см}^{-1}$  находятся колебания ароматического кольца.

Из спектра 1 на рис. 2 видно, что валентные колебания  $\gamma$ -ОН групп находятся в области 3716  $\text{см}^{-1}$ . Что касается СН колебаний в метоксильной группе, они соответствуют пику с центром 3033  $\text{см}^{-1}$ ; валентные колебания фенольных ОН групп располагаются при 3779  $\text{см}^{-1}$ , в области 1537-1658  $\text{см}^{-1}$  находятся колебания ароматического кольца.

В спектре 2 на рис. 2 наблюдаются валентные колебания  $\gamma$ -ОН групп имеющий пик с центром в 3747  $\text{см}^{-1}$ , в то время как СН колебания метоксильной группы находятся в области 3031  $\text{см}^{-1}$ , а область 1539-1654  $\text{см}^{-1}$  принадлежит колебаниям ароматического кольца. Колебания валентных фенольных ОН групп наблюдаются при 3831  $\text{см}^{-1}$ .

Как видно на рис. 2, происходит разнонаправленное смещение рассмотренных выше характеристических полос: колебаний  $\gamma$ -ОН групп наибольшее значение имеет модель G-G, наименьшее – фрагмент с сиригильными единицами, а фрагмент имеющий смешанные единицы имеет промежуточное значение. Здесь можно заметить влияние количества метоксильных групп во фрагментах ФПЕ – наибольшая энергия колебаний соответствует модели G-G с наименьшим числом метоксильных групп. Все значения занесены в таблице.

Что касается сравнения положения других полос поглощения, то на рис. 2 видно, что наибольшее значение валентных колебаний СН в метоксильной группе наблюдается у модели, содержащей только сиригильные единицы, при этом у модели G-G – наименьшее значение, а промежуточное значение соответствует модели со смешанными единицами.

На рис. 2 видно, что колебания валентных фенольных ОН групп в моделях G-G и S-S практически неотличимы, в то время как модель со смешанными фенолпропановыми единицами имеет сильно смещение в сторону больших значений. По-видимому, при объяснении этого факта следует учитывать возможность образования водородных связей фенольных ОН групп с метоксильными группами.

При сравнении на рис. 2 скелетных колебаний ароматического кольца можно отметить что модель, содержащая только сирингильные ФПЕ имеет наибольший интервал этих колебаний, модель G-G- наименьший, а модель со смешанными единицами имеет промежуточный интервал (таблица).

При более внимательном изучении скелетных колебаний ароматического кольца удалось разделить колебания различных групп, входящих в смешанные колебания скелетного кольца. Сравнение теоретических спектров с экспериментальным ИК спектром образца лигнина березы позволяет установить в этом интервале наличие скелетных колебаний ароматического кольца.

Дальнейшее исследование позволяет обратить внимание на различные интенсивности колебаний в фрагментах, содержащих только сирингильные единицы (S-S), гваяцильные единицы (G-G) и смешанные единицы (G-S). Полученные в исследовании результаты показывают, что наибольшей интенсивностью характеризуются полосы колебаний для модели G-S: для  $\gamma$ -ОН 414 отн. ед.; для скелетных колебаний в области 1300-1400  $\text{см}^{-1}$  359 отн. ед.; для валентных колебаний связей СН в метоксильных группах 82 отн. ед. (таблица).

На основании полученных спектров фрагменты со смешанными ФПЕ, отражающих строение природных листовых лигнинов, предложен метод прогнозирования структуры лигнина, основанный на максимальных значениях интенсивностей характеристических полос поглощения.

Сводные данные полос поглощения и интенсивностей

Колебания	Тип модели	Частоты полос поглощения, $\text{см}^{-1}$	Интенсивность, отн. ед.
Валентные С-Н в $\text{OCH}_3$	S-S	3033	55
	G-G	3023	51
	G-S	3031	82
Валентные $\gamma$ -ОН	S-S	3716	244
	G-G	3797	126
	G-S	3747	414
Скелетные колебания ароматического кольца	S-S	1537-1658	156
	G-G	1545-1658	234
	G-S	1539-1654	359



### Основные выводы

1. По результатам выполненных исследований показано, что интенсивность валентных колебаний нефенольных О-Н-групп в фрагменте со смешанными фенилпропановыми единицами (G-S) более высокая, чем в фрагментах с одинаковыми единицами (S-S и G-G).
2. При сопоставлении смещения полос поглощения в области валентных колебаний фенольных О-Н-групп можно отметить большее смещение для фрагментов лигнина со смешанными ФПЕ (S-G) по сравнению с моделями с одинаковыми единицами S и G.
3. При сопоставлении теоретических ИКС моделей со смешанными ФПЕ и экспериментальных ИК спектров образцов лигнина установлено наличие колебаний, соответствующих скелетным колебаниям ароматического кольца.
4. По результатам исследования можно предложить метод предсказания структуры лигнинов, основанный на максимальных значениях интенсивности характеристических полос поглощения, соответствующих лигнинам различного происхождения.
5. Перспективы дальнейших исследований мы видим в сравнительной оценке содержания ФПЕ лигнинов различных пород древесины.

*Приносим благодарность доценту кафедры физики ВШТЭ СПбГУПТД Деркачевой О.Ю. за помощь в получении экспериментального спектра лигнина.*

### Список литературы

1. Карманов А.П., Деркачева О.Ю. Применение ИК-Фурье-спектроскопии для исследования лигнинов // Химия растительного сырья, 2012. – С. 61-70.
2. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
3. Кононов Г.Н. «Химия древесины и ее основных компонентов»: учебное пособие. – Изд-во МГУЛ, 2002. – 259 с.
4. Сарканена К.В., Людвиг К.Х. Лигнины (структура, свойства, реакции). – М.: Лесная промышленность, 1975. – 632 с.
5. Шорыгина Н.Н. Реакционная способность лигнина / Н.Н. Шорыгина, В.М. Резников, В.В. Елкин. – М.: Наука, 1976. – 368 с.
6. Буров А.В., Алиев Р.Г., Павлова Е.А. и др. Изучение свойств лигнина и целлюлозы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: учебно-методическое пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2009. – 24 с.

7. Трошенкова С.В., Сашина Е.В., Новоселов Н.П., Арндт К.-Ф. // Журн. общей химии, 2010. – Т.80. – № 3. – С. 479-484.
8. Боголицын К.Г., Лунин В.В., Косяков Д.С. и др. Физическая химия лигнина. – Архангельск: Арх. гос. тех. университет, 2009. – 489 с.
9. Чеснокова Л.Н., Гельфанд Е.Д. Способ количественного определения лигнина в древесном сырье // Открытия. Изобретения, 1981. – № 13. – 178 с.
10. Полина Ирина, Механические исследования структуры и свойств лигнина методами молекулярной гидродинамики: автореф. дисс. канд. хим. наук. – Архангельск, 2008. – с. 97.
11. Манская С.М., Кодина Л.С. Геохимия лигнина. – М., 1975. – С. 498-501.
12. Арбузов В.А. Конструкционные материалы из лигнинных веществ. – М.: Экология, 1991. – 164 с.
13. Daynenko I.P. Utilization of lignin: achievements, problems and prospects // Chemistry of plant raw materials, 2012. – No 1. – Pp. 5-11.
14. Деркачева О.Ю. Оценка содержания ароматических структур в лиственных лигнинах по ИК спектрам поглощения // Журнал прикладной спектроскопии, 2013. – № 5. – С. 688-694.
15. Беллами К. Инфракрасные спектры сложных молекул. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 444 с.
16. Фукс В. Химия лигнина / Пер. А.С. Берилло, С.И. Богданова, В.А. Грабовского, М.Ф. Мартынова. – Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1978. – 368 с.

**Особенности взаимодействия модифицированных  
карбамидоформальдегидных олигомеров в водно-волокнистых суспензиях**  
**Features of the interaction of modified urea-formaldehyde oligomers  
in water-fibrous suspensions**

И.В. Николайчик, А.А. Казакевич, Н.В. Жолнерович

I.V. Nikolaichik, A.A. Kazakevich, N.V. Zholnerovich

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Статья посвящена изучению взаимодействия карбамидоформальдегидных олигомеров, модифицированных при различных соотношениях карбамид :  $\epsilon$ -капролактам, с первичными волокнами (целлюлоза, термо-механическая масса). Установлено, что характер взаимодействия исследуемых олигомеров зависит от вида используемого волокнистого полуфабриката. Показано, что в водной среде взаимодействие олигомеров возможно за счет их адсорбции поверхностью волокон за счет ионно-дипольного взаимодействия с участием диполей воды.

The article is devoted to the study of the interaction of urea-formaldehyde oligomers (UFO) modified by different ratios carbamide :  $\epsilon$ -caprolactam with primary fibers (chemical pulp, thermo mechanical pulp). It was established that the nature of the interaction of the studied oligomers depends on the type of fibers. It is shown that in an aqueous medium the interaction of oligomers is possible due to their adsorption by the surface of cellulose fibers due to ion-dipole interaction involving water dipoles.

Ключевые слова: волокно, карбамидоформальдегидные олигомеры, капролактам, дзета-потенциал, катионная потребность.

Keywords: fiber, urea-formaldehyde oligomers, caprolactam,  $\zeta$ -potential, cationic demand.

**Введение.** Карбамидоформальдегидные олигомеры (КФО) являются высокоэффективным связующим аминокальдегидного класса. КФО не растворимы в органических растворителях, их водные растворы мало стабильны, обладают высокой токсичностью. В отвержденном состоянии карбамидоформальдегидные смолы (КФС) являются хрупкими и нетермостойкими веществами. Для повышения водостойкости, адгезионной и когезионной прочности, эластичности, а также снижения токсичности и

придания растворимости в органических растворителях для улучшения совместимости с другими олигомерами и полимерами КФО модифицируют. Модифицирование КФО может осуществляться традиционными методами, применяемыми для полимеров:

- совместной поликонденсацией основных и модифицирующих компонентов;
- совмещением КФО с другими олигомерными, полимерными и мономерными веществами;
- полимераналогичными превращениями по функциональным группам [1].

Основными предпосылками модификации КФО, применяемых в целлюлозно-бумажном производстве, являются недостаточная их водорастворимость [2], некоторая токсичность, а также необходимость повышения густоты пространственной сетки отвержденной смолы. Модифицированные КФО способны выступать в роли функциональных (придания влагопрочности, физико-механических свойств бумаге и картону) и процессных (с целью повышения эффективности функционирования бумагоделательного оборудования) химикатов в производстве бумажной продукции.

Для модификации применяют низкомолекулярные соединения, имеющие различные реакционноспособные функциональные группы, которые могут либо изменять физическую природу конечных продуктов, либо действовать комплексно [3]. Согласно имеющимся литературным сведениям существует значительное количество способов модификации карбамидоформальдегидных смол. Известно применение в качестве модифицирующих агентов меламина, алифатических и циклоалифатических аминоспиртов, лигнина и его производных, а также солей полифункциональных кислот. Однако, на практике проблема снижения токсичности до сих пор остается нерешенной. Большинство из описанных способов и технологий, либо являются сложными в технологическом исполнении, либо существенно ухудшают физико-механические свойства материалов на их основе, или имеют высокую стоимость [4].

Основой для выбора модифицирующего агента является его химическая природа и способность участвовать в реакциях химического взаимодействия с КФО, хорошая водорастворимость, нетоксичность, а также доступность сырьевой базы. В этой связи интерес представляет лактам  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты ( $\epsilon$ -капролактam), свойства которого в полной мере отвечают вышеуказанным требованиям. Наличие карбоксильной группы, образующейся в водной среде при модификации олигомеров, будет способствовать повышению сродства олигомеров к целлюлозному волокну, увеличению

смешиваемости с водой и повышению эффективности их взаимодействия с компонентами бумажной массы.

**Экспериментальная часть.** Модифицированные карбаминоформальдегидные олигомеры были получены с использованием карбаминоформальдегидного концентрата

(ТУ 2181-032-00203803-2003), с содержанием формальдегида  $60,0 \pm 0,5\%$  и карбамида  $25,0 \pm 0,5\%$ . Синтез включал последовательное осуществление нескольких стадий: образование метилольных производных карбамида; поликонденсация метилольных производных карбамида; доконденсация смолы и модификация смолы.

Особенности реакций карбамида с формальдегидом требуют проведения синтеза олигомеров на начальной стадии в нейтральной или слабощелочной среде, что предотвращает образования метиленкарбамида и приводит к образованию гидроксиметильных производных, способных затем превращаться в олигомеры в слабокислой среде.

Синтез карбаминоформальдегидных олигомеров осуществлялся при постоянном мольном соотношении «карбамид : формальдегид» 1 : 2. Массовое соотношение «карбамид :  $\epsilon$ -капролактам» варьировали от 1:0 до 1 : 0,5. Контроль процесса осуществлялся по показателю рН. После завершения процесса доконденсации смолы проводилась модификация полученного продукта путем введения в реакционную смесь заданного количества модификатора (водный раствор  $\epsilon$ -капролактама). В щелочной среде в присутствии воды капролактама гидролизуетея до  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты. Имеющаяся реакционноспособная аминная группа в результате взаимодействия с гидроксиметильными группами олигомеров приводит к образованию более прочных связей, обеспечивающих снижение массовой доли свободного формальдегида в полученных продуктах.

В качестве объекта сравнения выступал образец олигомеров, синтезированный без добавления модификатора. Полученные карбаминоформальдегидные олигомеры представляли собой прозрачный или мутно-белый продукт с массовой долей сухого остатка 58–62%. При модификации наблюдалось снижение массовой доли свободного формальдегида в полученных продуктах от 1,3 до 0,43%, а также повышение их смешиваемости с водой (в соотношении по объему) от 1 : 20 до 1 : 500.

**Результаты и их обсуждение.** Методом потенциометрического титрования с помощью анализатора заряда частиц CAS (AFG Analytic GmbH, Германия) получено, что водные растворы исследуемых образцов модифицированных КФО имеют анионный характер. Как видно из рисунка 1, при увеличении содержания  $\epsilon$ -капролактама в композиции КФО наблюдается

снижение катионной потребности их 0,1 %-ных водных растворов от 23,6 до 8,0 мк-экв./л, что свидетельствует об уменьшении электроотрицательности исследуемых КФО и будет способствовать снижению электростатического барьера при взаимодействии их с отрицательно заряженными в водной среде волокнами бумажной массы.

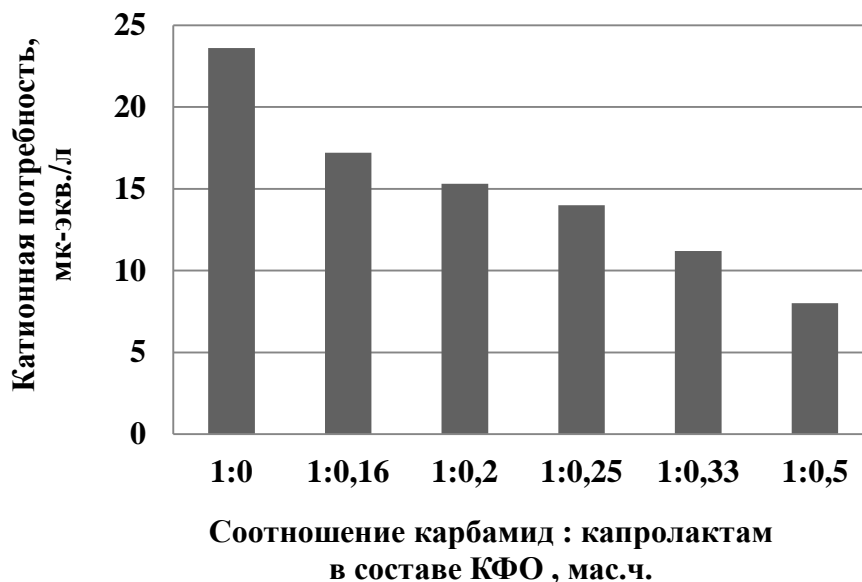


Рисунок 1 – Ионная потребность 0,1 %-ных водных растворов модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров

В присутствии волокон характер взаимодействия модифицированных КФО будет определяться видом используемого волокнистого полуфабриката. Количественная оценка адсорбционных свойств волокнистых полуфабрикатов осуществляется на основе таких фундаментальных характеристик как электрокинетический потенциал растительных волокон ( $\zeta$ -потенциал), возникающий в водной среде, и содержание интерферирующих веществ в волокнистом полуфабрикате (показатель катионной потребности), изменение которых оказывает существенное влияние на эффективность применения химических реагентов в процессах подготовки бумажной массы.

О взаимодействии КФО судили по изменению  $\zeta$ -потенциала волокон целлюлозы и ТММ, а также показателя катионной потребности бумажных масс, полученных на их основе. Определение указанных параметров осуществлялось с использованием анализатора заряда волокон FPA и анализатора заряда частиц CAS (AFG Analytic GmbH, Германия).

Для изучения влияния исследуемых модифицированных КФО на изменение  $\zeta$ -потенциала первичных волокон (целлюлоза, термомеханическая масса (ТММ)) были построены графические зависимости в координатах  $\zeta = f(\ln C)$ , где  $C$  (мг/дм<sup>3</sup>) – начальная концентрация полимера (КФО) в дисперсной системе. Оценка влияния на изменение  $\zeta$ -потенциала волокон целлюлозы и ТММ и катионной потребности бумажной массы на их основе

выполнена с использованием в композиции модифицированных КФО с содержанием  $\epsilon$ -капролактама в соотношении 1 : 0,16 (КФО №1) и 1 : 0,5 (КФО №5).

Установлено, что изменение  $\zeta$ -потенциала волокон целлюлозы в зависимости от начальной концентрации олигомера ( $\ln C$ ) в системе (рис. 2 а) имеет экстремальный характер с минимумом минус 25,6 мВ для КФО с содержанием  $\epsilon$ -капролактама в соотношении карбамид :  $\epsilon$ -капролактама 1 : 0,5 и минус 26,5 мВ для КФО с содержанием  $\epsilon$ -капролактама в соотношении карбамид :  $\epsilon$ -капролактама 1 : 0,16 в диапазоне начальной концентрации от  $\ln C = 3$  (соответствует содержанию КФО в бумажной массе 0,4 % от а.с.в.) до  $\ln C = 3,91$  (1,0 % от а.с.в.).

Сравнительный анализ изменения электрокинетических свойств дисперсных систем на основе целлюлозных волокон в зависимости от начальной концентрации исследуемых КФО в системе показал, что введение в бумажную массу модифицированных КФО с содержанием  $\epsilon$ -капролактама в соотношении карбамид :  $\epsilon$ -капролактама 1 : 0,5 в количестве от  $\ln C = 2,33$  до  $\ln C = 3,91$  приводит к снижению ее катионной потребности от 22,5 до 19,7 мл/л (рис. 2 б). Такое поведение дисперсной системы на основе целлюлозы обусловлено присутствием в композиции бумажной массы исследуемых КФО. В водной среде поверхность целлюлозных волокон имеет отрицательный заряд, обусловленный образованием двойного электрического слоя (ДЭС) [5–7]. Вследствие отрицательного характера заряда модифицированных КФО взаимодействие с отрицательно заряженным волокном можно объяснить их специфической адсорбцией на поверхности волокон вследствие ион-дипольного взаимодействия с участием диполей воды. При этом, так как волокна сильно гидратированы, прочно удерживаемые поверхностью волокна молекулы воды [6, 7], вероятно, не вытесняются при адсорбции модифицированных олигомеров [8]. Последующее увеличение содержания КФО в композиции бумажной массы более  $\ln C = 3,91$  демонстрирует рост ее катионной потребности, что говорит о перераспределении ионов в диффузной части двойного электрического слоя в присутствии КФО.

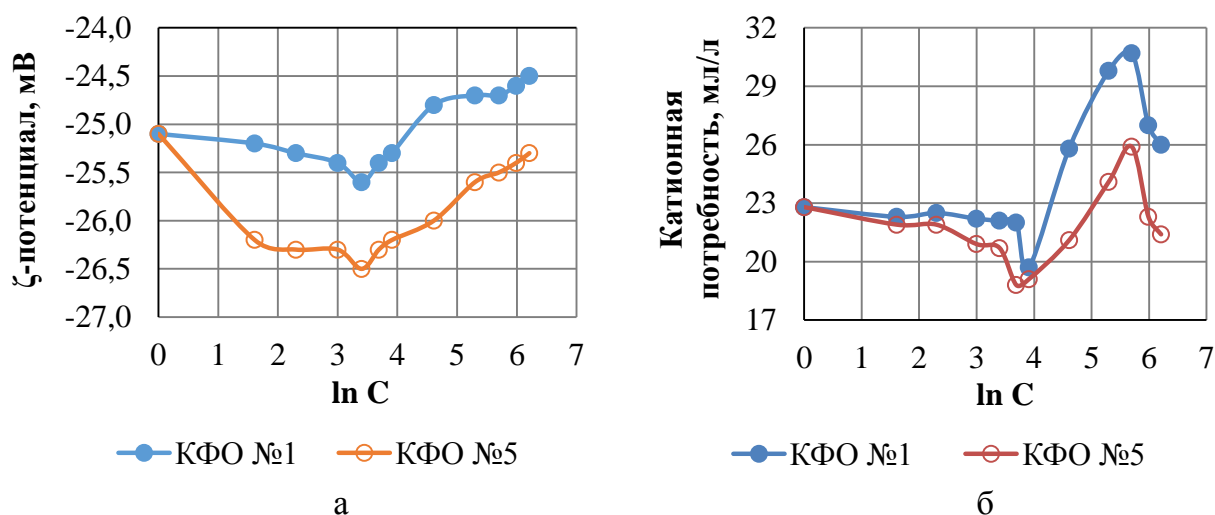
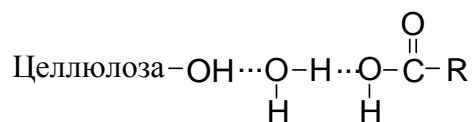


Рисунок 2 –  $\zeta$ -потенциал волокон целлюлозы (а) и катионная потребность бумажной массы (б) в зависимости от содержания КФО в дисперсной системе

Влияние одноименно заряженных полиэлектролитов на изменение электрокинетического потенциала волокон целлюлозы существенно отличается, чем противоположно заряженных. Как показано на рисунке 2 при незначительных концентрациях КФО наблюдается небольшое снижение  $\zeta$ -потенциала волокон целлюлозы, тем большее, чем выше электроотрицательный характер КФО. С увеличением начальной концентрации КФО в композиции бумажной массы толщина полимерного адсорбционного слоя растет, при этом электрокинетические характеристики волокон будут в большей мере определяться свойствами адсорбированного на их поверхности самого КФО [5], что наблюдается в некотором увеличении  $\zeta$ -потенциала.

Адсорбция одноименно заряженного макроиона в этом случае может происходить в результате ориентационного взаимодействия [8]. Причем молекулы воды не вытесняются при адсорбции полимера, а вероятно образуют связь с гидроксильными группами целлюлозы и модифицированным КФО по схеме:



где  $\underset{\text{H}}{\text{O}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$  – макромолекула модифицированного КФО.

Для ТММ в области малых концентраций КФО на кривых изменениях  $\zeta$ -потенциала от начальной концентрации полимера (рис. 3 а) наблюдается обратная экстремальная зависимость. Максимум наблюдается на кривой  $\zeta$ -потенциала также в области невысоких концентраций олигомеров от  $\ln C = 3$  до  $\ln C = 4,32$ , при чем больший максимум наблюдается при меньшем



содержанием модификатора в композиции КФО и более высокой электроотрицательности самого олигомера.

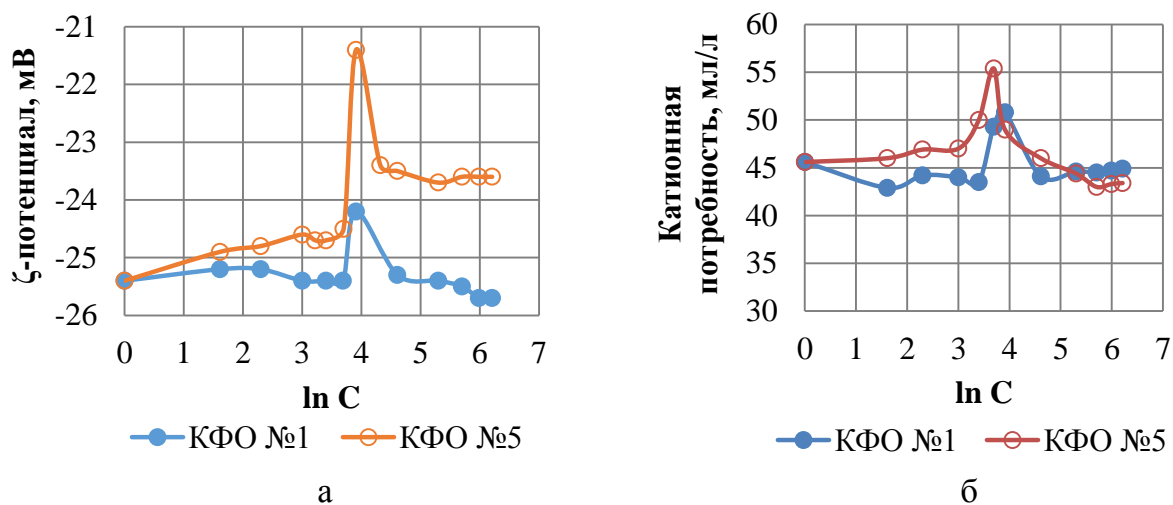


Рисунок 3 –  $\zeta$ -потенциал волокон ТММ (а) и катионная потребность бумажной массы (б) в зависимости от содержания КФО в дисперсной системе

Вероятно, противоположный характер влияния на изменение  $\zeta$ -потенциала связан с видом используемого волокнистого сырья и обусловлен наличием значительного количества анионных загрязнений, содержание которых в бумажной массе из ТММ выше, чем в бумажной массе из целлюлозы. Об этом свидетельствует начальное значение катионной потребности бумажной массы из ТММ, которое в два раза выше, чем величина катионной потребности бумажной массы из целлюлозы. Именно присутствие анионных загрязнений во внешнем адсорбционном слое волокон ТММ может препятствовать адсорбции КФО и обуславливать его взаимодействие с отрицательно заряженными интерферирующими веществами. Следует также отметить, что в области концентраций  $\ln C = 3$  до  $\ln C = 4,32$  наблюдается резкое повышение КП бумажной массы из ТММ (рис. 3 б) при одновременном увеличении  $\zeta$ -потенциала. Такой характер изменения  $\zeta$ -потенциала вероятно обусловлен присутствием значительного количества анионных загрязнений, способных изменять  $\zeta$ -потенциал и заряд частиц в нежелательном направлении.

**Выводы.** Таким образом, установлено, что модификация карбамидоформальдегидных олигомеров  $\epsilon$ -капролактамом способствует снижению токсичности полученных продуктов и приводит к снижению массовой доли свободного формальдегида в три раза при содержании модификатора в соотношении карбамид : капролактамы 1 : 0,5. Модификация приводит к повышению водорастворимости исследуемых олигомеров, что наряду со снижением токсичности будет способствовать расширению области применения КФО в технологии бумаги и картона. Показано, что характер взаимодействия модифицированных КФО зависит от вида волокнистого полуфабриката содержания КФО в композиции водно-волокнистой суспензии.

## Список литературы

1. Технология связующих и полимерных материалов / В.И. Азаров, В.Е. Цветков. – М.: Лесн. пром-ть, 1985. – 216 с.
2. Ковернинский И.Н. Влияние растворения в воде на свойства карбамидных олигомеров // Химия древесины, 1990. – С. 91–96.
3. Дроздова В.С. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров для древесно-полимерных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2010.
4. Перминова Д.А. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров производным глиоксаля для снижения токсичности древесных плит на их основе / Д.А. Перминова, С.Л. Князева, А.С. Князев // Сб. науч. тр. – Томск, 2013. – С. 416–418.
5. Кожевников С.Ю. Научные основы упрочнения бумаги при участии полимерполиионных наночастиц / С.Ю. Кожевников, В.К. Дубовый // Целлюлоза. Бумага. Картон, 2010. – № 10. – С. 50–52.
6. Смолин А.С. Исследование дзета-потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов / А.С. Смолин, Р.О. Шабиев, П. Яккола // Химия растительного сырья, 2009. – №1. – С. 177–184.
7. Смолин А.С. Влияние размола и фракционирования на электроповерхностные свойства целлюлозных гидросуспензий / А.С. Смолин, М. Бисальски, С. Шабель, Р.О. Шабиев // Химия растительного сырья, 2011. – №3. – С. 183–192.
8. Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. – К.: Наукова думка, 1966. – 24 с.

**Эколого-технологическое нормирование техногенной нагрузки для  
природно-технических комплексов ЦБП**

**Ecological and technological regulation of technogenic load  
for natural-technical complexes of pulp and paper industry**

М.С. Строганова, А.И. Шишкин

M.S. Stroganova, A.I. Shishkin

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург

Территориальный природно-технический комплекс (ТПТК) – система объектов окружающей среды, характеризующаяся признаками взаимодействия антропогенных и природных факторов на определенной территории. Система обеспечения и поддержания экологической безопасности ТПТК весьма сложна и включает большое количество составляющих. Критериями обеспечения экологической безопасности территориальных природно-технических комплексов являются интегральные показатели комплексной оценки состояния компонентов окружающей среды. Качество водного объекта оценивается по гидробиологическим и гидрохимическим индексам и показателям. Основные из них – индекс загрязнения воды (ИЗВ), удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ), индекс трофического состояния водного объекта (ITS), индекс Шеннона, индекс сапробности, олигохетный индекс Гуднайта-Уотлея и другие.

The territorial natural-technical complex (TNTC) is a system of environmental objects characterized by signs of the interaction of anthropogenic and natural factors in a certain territory. The system for ensuring and maintaining the environmental safety of the TNTC is very complex and includes a large number of components. Criteria for ensuring the environmental safety of territorial natural-technical complexes are integrated indicators of a comprehensive assessment of the state of environmental components. The quality of a water body is assessed by hydrobiological and hydrochemical indices and indicators. The main ones are the water pollution index (WPI), the specific combinatorial water pollution index (SCWPI), the trophic state index of the water body (ITS), the Shannon index, the Saprobity index, the Goodnight-Wattle index and others.

Ключевые слова: техногенная нагрузка, природно-технический комплекс, эколого-технологическое нормирование, ЦБП, река Вуокса.

Keywords: technogenic load, natural-technical complex, ecological-technological regulation, pulp and paper industry, Vuoksa river.

При оценке фактического состояния водоема применяют установленные нормативы, которые не должны быть превышены. Для экосистемы в целом используются региональный и экологический нормативы. Региональный норматив - это величина определенного показателя, установленная для каждого региона вследствие территориальных особенностей (к примеру, залежи руд). Экологический нормативы – норматив допустимого сброса, норматив допустимого воздействия. Для оценки воздействия на человека – санитарно-гигиенические нормативы, то есть предельно допустимые концентрации, применимые к определенному виду водопользования. Для технологии, применяемой на производстве, существует особый технологический норматив.

Нормирование качества окружающей природной среды производится для установления предельно допустимых норм воздействия на окружающую природную среду, гарантирующих экологическую безопасность населения и сохранение генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности [1].

В качестве примера природно-технического комплекса был взят бассейн реки Вуокса. Бассейн реки Вуокса, как и большинство других территорий Ленинградской области, характеризуется достаточно высокой степенью антропогенного воздействия, значительной плотностью населения в северной части города Светогорск, Каменногорск, Приозерск, поселок Лесогорский и сравнительно высоким развитием промышленности. Проблема сохранения природного качества воды является актуальной, ведь с этим связаны многие социально-экологические проблемы реки. Основное влияние на экологическую обстановку региона оказывают промышленные предприятия - Светогорский Целлюлозно-бумажный комбинат, Фабрика офсетных бумаг в городе Каменногорске, Приозерский завод по производству плит МДФ, гидроэлектростанции, сточные воды ряда городов и поселков. Кроме того, эта зона является очень популярным местом массового отдыха и туризма, что также влияет на экологическую обстановку.

Данные гидрохимического мониторинга для расчетов за период 2011 - 2016 год были взяты из ежегодника «Качество поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС», которые были предоставлены Невско-Ладужским Бассейновым водным управлением. Место отбора проб показано на рис. 1-4.



Рисунок 1 – Место отбора проб в точке № 1  
р. Вуокса – пгт. Лесогорский, створ 1



Рисунок 2 – Место отбора проб в точке № 2  
р. Вуокса – пгт. Лесогорский, створ 2



Рисунок 3 – Место отбора проб в точке № 3  
р. Вуокса – г. Каменногорск



Рисунок 4 – Место отбора проб в точке № 4  
р. Вуокса – г. Приозерск

На рис. 5 представлена линейная схема бассейна реки Вуокса, на основе которой можно дать комплексную оценку по использованию и охране, антропогенным нагрузкам на всем водосборном бассейне реки.

В точке контроля № 1 антропогенную нагрузку на водный объект дают хозяйственно-бытовые стоки г. Светогорска, Светогорская ГЭС, ЗАО «Интернейшнл Пейпер». В точке контроля № 2 – хозяйственно-бытовые стоки пгт. Лесогорский, Лесогорская ГЭС. В точке контроля № 3 – хозяйственно-бытовые стоки города Каменногорск, ЗАО «Каменногорская фабрика офсетных бумаг». В точке контроля № 4 – хозяйственно-бытовые стоки г. Приозерска, Приозерский ЦБК.

В ходе проведения эколого-технологического нормирования сделаны соответствующие выводы с применением новых технологий НДТ, был рассмотрен и рассчитан комплексный показатель УКИЗВ (удельный комбинаторный

индекс загрязненности воды), с учетом набора загрязняющих веществ. Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах (пунктах контроля) [3].

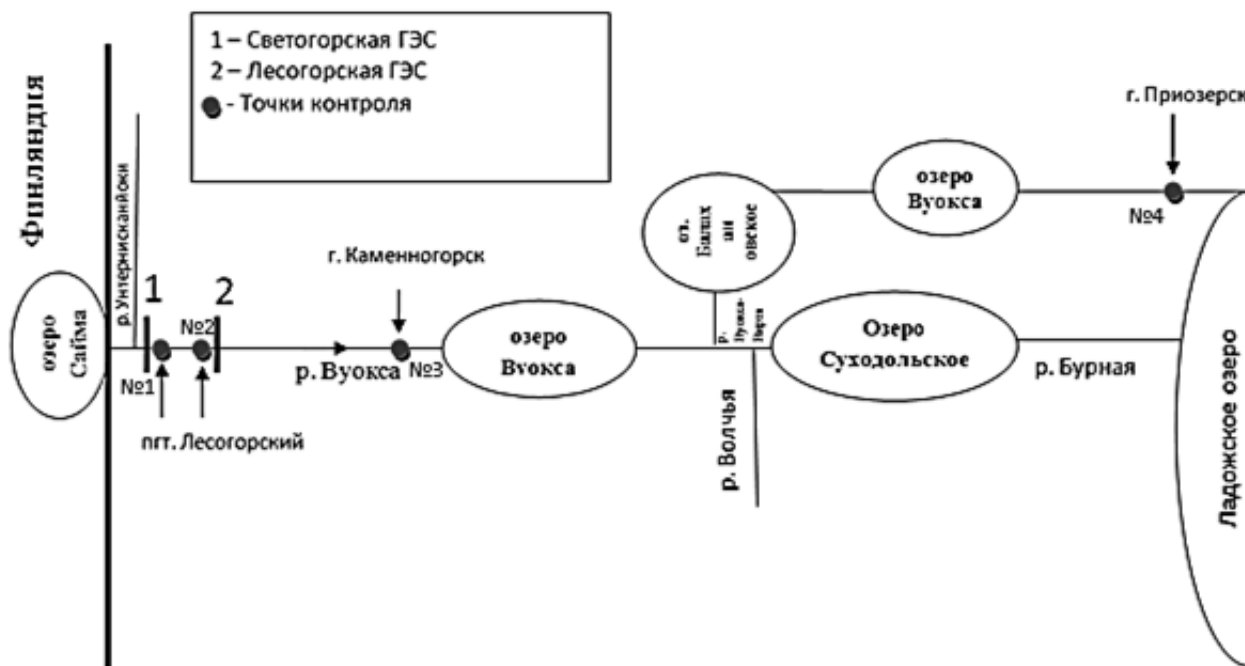


Рисунок 5 – Линейная схема водохозяйственного районирования бассейна реки Вуокса

Классификация качества воды по степени загрязненности осуществляется с учетом числа критических показателей загрязненности (КПЗ) и повторяемости случаев превышения ПДК. Значение КПЗ отражает устойчивую либо характерную загрязненность высокого (ВЗ) или экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ). Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ с учетом числа КПЗ, позволяет разделить поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности. 3-й и 4-й классы для более детальной оценки качества воды разбиты, соответственно, на 2 и 4 разряда.

Основным нормативным документом является РД 52.24.643-2002 «Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям» [1]. Результаты расчета представлены в таблице.

Результаты расчета УКИЗВ в четырех створах реки Вуокса за периоды с 2011 по 2016 год

Наименование точки контроля	Периоды	Значение УКИЗВ	Экологическое состояние	Ингредиенты с превышением ПДК
Пгт. Лесогорский, створ 1	2011-2012	1,69	3«А» - загрязненная	Cu, АСПАВ
	2013-2014	1,54	3«Б» - очень загрязненная	Fe, Cu, АСПАВ

Наименование точки контроля	Периоды	Значение УКИЗВ	Экологическое состояние	Ингредиенты с превышением ПДК
	2015-2016	1,58	3«Б» - очень загрязненная	Fe,Cu,АСПАВ
Пгт. Лесогорский, створ 2	2011-2012	1,63	3«Б»-очень загрязненная	Cu,Mg,АСПАВ
	2013-2014	1,25	3«А» - загрязненная	Cu,АСПАВ
	2015-2016	1,23	3«А» - загрязненная	Cu,АСПАВ
Каменногорск	2011-2012	2,24	3«А» - загрязненная	Fe,Cu,АСПАВ
	2013-2014	2,19	3-й класс разряд «А» - загрязненная	Fe,Cu,АСПАВ
	2015-2016	2,1	3«А» - загрязненная	Fe,Cu,АСПАВ
Приозерск	2011-2012	1,51	3«Б» -очень загрязненная	Fe,Cu,АСПАВ
	2013-2014	1,86	2 –слабо-загрязненная	Fe,Cu,Pb,АСПАВ
	2015-2016	1,4	3«А» - загрязненная	Cu,Mg,АСПАВ

По полученным данным расчета, представленным в таблице, были построены диаграммы по точкам отбора проб за период с 2011 по 2016 год (рис. 6-9) и проведена сравнительная оценка качества природных вод в реке Вуокса.

Сравнивая значения индекса на диаграммах на разных участках наблюдения, в основном прослеживается снижение уровня загрязненности реки Вуоксы к 2015-2016 годам. Изменения значений удельного комбинаторного индекса может быть связано с усовершенствованием технологий, строительством новых очистных сооружений, внедрению новых НДТ для целлюлозно-бумажной промышленности. Кроме того, необходимо рассматривать и улучшение процессов самоочищения, за счет увеличения содержания растворенного кислорода во всех точках контроля в периоде с 2011 по 2016 год.

Качество воды в реке Вуокса связано с высокой степенью антропогенного воздействия на водный объект, населенные пункты, целлюлозно-бумажные комбинаты, гидроэлектростанции. Постоянное развитие промышленности, рост городов и увеличение числа зон отдыха и населенных пунктов вследствие дачного и коттеджного строительства требуют повышения эффективности и регулярности контроля состояния реки. Проанализировав результаты значений удельного комбинаторного индекса и гидрохимических показателей, можно предположить, что качество воды в реке улучшится, так как при сравнении

отдельных ингредиентов наблюдается положительная тенденция (содержание растворенного кислорода увеличивается, а ХПК, БПК уменьшается).

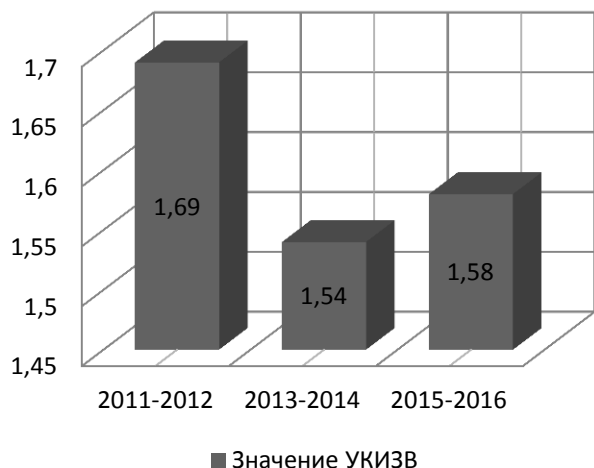


Рисунок 6 – Диаграмма значений УКИЗВ в точке контроля пгт. Лесогорский, створ 1 в период 2011-2016

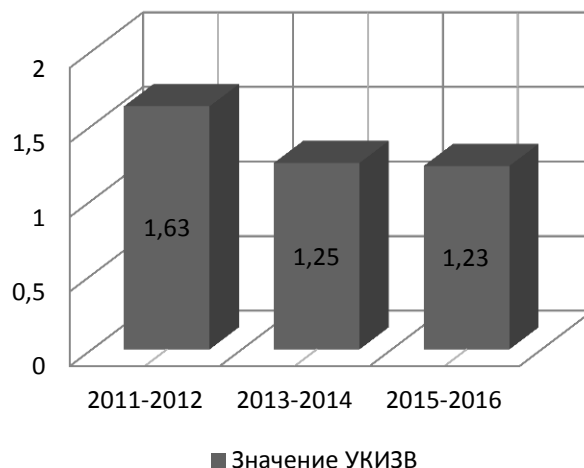


Рисунок 7 – Диаграмма значений УКИЗВ в точке контроля пгт. Лесогорский, створ 2 в период 2011-2016

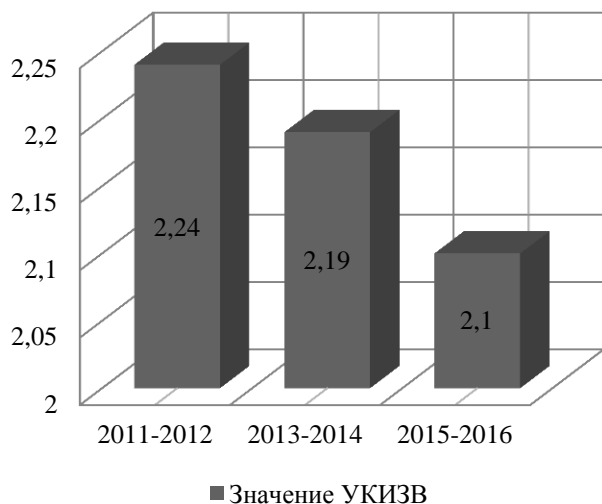


Рисунок 8 – Диаграмма значений УКИЗВ в точке контроля г. Каменногорск в период 2011-2016

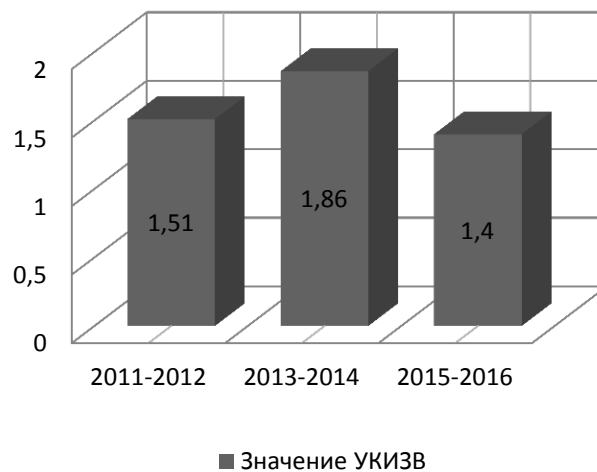


Рисунок 9 – Диаграмма значений УКИЗВ в точке контроля г. Приозерск в период 2011-2016

Для поддержания сложившейся тенденции и снижения вреда от загрязнения сточными водами необходимо сделать следующее:

- Совершенствование технологических процессов с целью снижения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах;
- создать и внедрить автоматическую систему контроля за составом и объемом сброса сточных вод на предприятиях;
- регулярно проводить контроль за состоянием водного объекта;
- внедрение ресурсосберегающих технологий (НДТ) для целлюлозно-бумажной промышленности.



Практические аспекты перехода на технологическое нормирование на основе НДТ предполагает получение в обязательном порядке крупными предприятиями ключевых отраслей народного хозяйства комплексного экологического разрешения (КЭР) с 2019 года. Предприятия будут доказывать соответствие своего производственного процесса установленным принципам НДТ с применением справочных материалов по НДТ. До 2019 года получение КЭР возможно в инициативном порядке [5].

#### Список литературы

1. Руководящий документ 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». 2002.
2. Camp T.K. Water and its impurities. Boston, Massachusetts, 1963. 355 p.
3. Новиков С.М. Современные проблемы оценки рисков и ущербов здоровью от воздействия факторов окружающей среды / С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, Н.С. Скворцова, Т.А. Шашина // Гигиена и санитария. 2007. № 5. С. 18 - 20.
4. Строганова М.С. Методология оценки лимитирующих факторов антропогенного и природного взаимодействия для квотирования нагрузки водопользователей бассейнового округа: дис. магистра. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017 – 102 с.
5. Технологическое нормирование на основе НДТ. Бюро НДТ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.burondt.ru/informacziya/novosti/kruglyij-stoltechnologicheskoe-normirovanie-okruzhayushhej-sredyi-i-ekonomicheskayaeffektivnost-ndt.html> (дата обращения 10.10.18).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Исследование свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии</b> Н.В. Виноградов, С.З. Роговина, Э.Л. Аким.....	3
<b>Сохранение чистоты теплообменной поверхности в процессах варки и выпаривания черного щелока</b> К.В. Полякова, О.Т. Чебанова, О.В. Федорова, В.Г. Казаков.....	11
<b>Прочность и деформативность формованных изделий из отходов сортирования сульфатной целлюлозы</b> А.В. Поташев .....	15
<b>«Сегежская звезда» или пусконаладка БДМ-11</b> Д.А. Прохоров.....	22
<b>Особенности проектирования интерфейса АСУ газораспределительной сети мегаполиса с учетом эргономических требований</b> В.И. Рожков, А.А. Лахай .....	26
<b>Пропитка технологической щепы варочным раствором в загрузочной циркуляции котла установки непрерывной варки целлюлозы</b> В.П. Сиваков, А.В. Вураско, И.А. Партин.....	32
<b>Внедрение системы энергетического менеджмента на предприятиях ЦБП</b> Д.В. Тибилова, Н.Н. Голивцова .....	39
<b>Наноцеллюлоза и технология ее получения</b> А.А. Филимонова.....	48
<b>Переработка методики размола нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы на лабораторном ролле Валлея</b> Н.Е. Семина, А.В. Лапухова, А.Г. Кузнецов .....	52
<b>Моделирование процесса обработки целлюлозных материалов амфифильными соединениями</b> Р.А. Смит, А.Н. Харламова, Е.Ю. Демьянцева .....	59
<b>Частичное осаждение лигноуглеводного комплекса из черного щелока как основного направления биорефайнинга древесины</b> О.Т. Чебанова, К.В. Полякова, О.В. Федорова, В.Г. Казаков.....	64

<b>Разработка мероприятий по энергосбережению для промышленного предприятия ООО «ЭкоТехЭнерджи»</b>	
А.В. Ян, М.С. Липатов .....	68
<b>Мицеллообразующие свойства облагороженного сульфатного мыла при введении добавки отечественного ПАВ неопола 9-6</b>	
М.М. Яровцова, О.С. Андранович, Е.Ю. Демьянцева, Р.А. Смит .....	73
<b>Экспорт биотоплива из России и его причины</b>	
В.О. Айкашева, А.Г. Кузнецов.....	76
<b>Исследование возможности использования ТОС-анализа для измерения степени загрязнённости оборотных вод в ЦБП</b>	
М.А. Боненкова, И.С. Малашенкова, А.Г. Кузнецов, Э.Л. Аким.....	82
<b>Аналитический обзор технологий переработки многослойного бумажного ламината</b>	
М.А. Боненкова, А.Г. Кузнецов .....	88
<b>Применение методов биотестирования для определения показателей безопасности товаров народного потребления на примере санитарно-гигиенической бумаги</b>	
М.А. Ковкова, Д.В. Ковков, А.Г. Кузнецов .....	93
<b>Влияние конгрева на прочностные характеристики картона для упаковки сигарет</b>	
С.В. Константинов, А.А. Кожухарь, А.Г. Кузнецов .....	101
<b>Перспектива использования гофрокартона в индустрии ритуальных услуг</b>	
И.С. Малашенкова, А.Г. Кузнецов .....	107
<b>Экстракция горячей водой из опилок лиственницы с одновременным сгущением раствора</b>	
А.Г. Кузнецов, А.В. Подчасова, В.Н. Дасмаев, Ю.Г. Мандре, Э.Л. Аким, Н.В. Виноградов, А.В. Брисюк .....	111
<b>Переработка методики размола волокнистых полуфабрикатов на лабораторном ролле Валлея</b>	
А.В. Лапухова, Н.Е. Семина, А.Г. Кузнецов .....	116
<b>Квантово-химическое изучение ИК спектров структурных фрагментов лиственных лигнинов</b>	
В.Е. Воронко, М.М. Ишанходжаева, О.Ю. Деркачева.....	124

<b>Особенности взаимодействия модифицированных карбамидо-формальдегидных олигомеров в водно-волокнистых суспензиях</b> И.В. Николайчик, А.А. Казакевич, Н.В. Жолнерович.....	130
<b>Эколого-технологическое нормирование техногенной нагрузки для природно-технических комплексов ЦБП</b> М.С. Строганова, А.И. Шишкин.....	138

Научное издание

Материалы

Международной научно-технической конференции

молодых ученых, специалистов в области

целлюлозно-бумажной промышленности,

посвященной памяти В. А. Чуйко

(Санкт-Петербург, 12 ноября 2018 года)

Часть III

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2018 г., поз. 82

---

Подп. к печати 15.10.18. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1. Объем 9,25 печ. л.

9,25 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Изд. № 82. Заказ

---

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