



СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

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

МАТЕРИАЛЫ

**V Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП**



**Санкт-Петербург
2023**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**

Высшая школа технологии и энергетики



PULPFOR 2023



МАТЕРИАЛЫ

**V Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП**

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

13 – 14 ноября 2023 г.



Санкт-Петербург
2023

УДК 676 (665+378+628)+674.8+502.17

ББК 65.9(2)304.18

С 568

Редакционная коллегия:

кандидат химических наук, директор института технологии *А. В. Лоренцсон* (ВШТЭ СПбГУПТД)
кандидат технических наук, зав. кафедрой АТПИП *Д. А. Ковалев* (ВШТЭ СПбГУПТД)
доктор технических наук, зав. кафедрой ФиКХ *В. А. Липин* (ВШТЭ СПбГУПТД)
кандидат технических наук, зав. кафедрой ПМИ *И. В. Ремизова* (ВШТЭ СПбГУПТД)
доктор технических наук, зав. кафедрой ТБиК *Е. Г. Смирнова* (ВШТЭ СПбГУПТД)
кандидат технических наук, зав. кафедрой ПТЭ *С. Н. Смородин* (ВШТЭ СПбГУПТД)

С 568 Материалы V Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 13 – 14 ноября 2023 года) / Отв. ред. – О. В. Фёдорова, О. В. Запольская. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. — 122 с.

ISBN 978-5-91646-370-5

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

Представленные доклады освещают пять основных тем:

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

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

ISBN 978-5-91646-370-5

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Куртуков В. С., Антуфьев С. В., Громова Е. Н. Сжигание коро-древесных отходов ЦБП в топках с низкотемпературным кипящим слоем.....	5
Пожаркова С. А., Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д., Патраков В. А., Колосова Е. Р. Использование ножевого способа размола при получении микрокристаллической целлюлозы.....	11
Смирнова А. И., Ганева Д. С., Мазурик Д. И., Дягилева А. Б. Перспективные технологии использования осадков сточных вод от локальных систем целлюлозно-бумажной промышленности.....	17
Карелина А. А., Алашкевич Ю. Д., Кожухов В. А., Хохлов К. А. Получение экологичной бумажной продукции из технической конопли.....	21
Петрова А. А., Воронин И. А., Алашкевич Ю. Д. Особенности размола волокнистой массы при использовании комбинированной гарнитуры с различными рисунками ножевой полости.....	27
Ромашева М. М., Демьянцева Е. Ю., Смит Р. А. Получение порошковой целлюлозы из вегетативной части топинамбура.....	32
Лаврентьев И. В. Исследование свойств волокна для целлюлозных водоабсорбирующих материалов.....	36
Булычева В. Н., Лаврентьев И. В. Исследование композиций стеклянного и базальтового волокна для бумагоподобных фильтровальных материалов с повышенной эффективностью очистки.....	42
Немцев И. Г., Лаврентьев И. В. Исследование сырья и волокна для бумагоподобных теплозащитных материалов с эндотермическим эффектом.....	49
Томилин А. Ю., Лаврентьев И. В. Исследование получения биоразлагаемого волокна для бумагоподобных теплоизоляционных материалов.....	54
Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д., Марченко Р. А. Основные физико-механические характеристики готовых изделий при безножевом размоле однолетних растений.....	58
Новикова М. А., Ковалёв Д. А. Возможности применения виртуальных датчиков в процессе сжигания черного щелока в топке сорегенерационного котлоагрегата.....	64
Сергеенко Л. А., Болтовский В. С., Горбачев Н. М., Макаренко Д. С. Получение порошковой целлюлозы из растительных отходов сельскохозяйственного производства методом паровзрывного автогидролиза с использованием микроволнового излучения для нагрева.....	69
Еремеев М. О., Семилет С. А., Яровая В. И., Яровой С. В. Сравнительный анализ бумагообразующих показателей волокнистой массы при использовании различных видов сырья.....	75
Хохлов К. А., Карелина А. А., Кожухов В. А., Алашкевич Ю. Д. Влияние размола технической конопли при высокой концентрации на бумагообразующие свойства волокнистой массы.....	80
Рыжиков В. А., Аким Э. Л., Ерохина О. А., Пекарец А. А. Совместная переработка в топливные брикеты твёрдых древесных отходов и отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащих целлюлозу и синтетические полимеры....	85

Анисимов И. В., Сидельников В. И., Кокшаров А. В. Экспресс-анализ качества отбели бумажного полотна на базе искусственного интеллекта.....	90
Кулебакина Ю. Ю., Жужома Ю. Н. Проблемы применения профессиональных стандартов при разработке образовательных программ.....	97
Антонова В. С., Осовская И. И. Эффективность последовательного воздействия кислотного и ферментативного гидролиза на целлюлозу.....	105
Крутиков А. С., Демьянцева Е. Ю., Дубовый В. К., Сутайкин А. С. Анализ характеристик порошковых лигноцеллюлоз, полученных из экструзионной ХТММ.....	114
Мамматов В. О., Бескровная В. А. Малотоннажные заводы как одно из направлений развития целлюлозно-бумажной промышленности России в современных условиях.....	118

СЖИГАНИЕ КОРО-ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЦБП В ТОПКАХ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ КИПАЩИМ СЛОЕМ

В. С. Куртуков, С. В. Антуфьев, Е. Н. Громова*

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

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

Аннотация. В России широко используются твердые виды топлива для получения тепловой энергии. Для сжигания твердого топлива применяются два способа – слоевой и факельный.

В настоящее время разработан способ сжигания твердого топлива в кипящем слое. Этот способ обладает следующими достоинствами: возможность сжигания в топках низкокачественных или нетрадиционных видов топлива, в том числе органических отходов, экологичность и высокая эффективность.

В настоящей статье приводится обоснование перевода котла КЕ 25-24-350, предназначенного для слоевого сжигания угля, на топку с кипящим слоем. Рассмотрены изменения, которые необходимо внести в конструкцию котла, и предложено решение, заключающееся в установке под котлом, вместо колосниковой решетки, предтопка кипящего слоя и в оснащении котлоагрегата вспомогательным оборудованием.

В ходе работы был выполнен тепловой и аэродинамический расчет. Тепловой расчет показал, что после реконструкции котла КПД увеличился с 84 % до 86 %.

Ключевые слова: низкотемпературный кипящий слой, коро-древесные отходы, целлюлозно-бумажная промышленность, предтопок кипящего слоя, повышение эффективности.

Сжигание высокозольных и низкокалорийных видов топлива в топках энергетических котлов с низкотемпературным кипящим слоем (НТКС) – это перспективный способ утилизации как твердых бытовых, так и промышленных отходов, в частности, коро-древесных отходов целлюлозно-бумажной промышленности [1-4].

Преимуществами сжигания в НТКС являются:

- более полное, по сравнению со слоевым сжиганием, смешение окислителя и топлива;
- возможность использования в одном котле различных по составу и качеству топлив;
- увеличенное время пребывания частиц топлива в топочном объеме, что значительно сокращает величину механического недожога;

Кроме того, такой способ сжигания практически исключает образование шлаковых отложений на поверхностях нагрева и снижает вероятность спекания частиц топлива.

Тем не менее, опыт эксплуатации котлоагрегатов с топками НТКС показал, что регулирование производительности таких котлов является нетривиальной задачей и самые незначительные отклонения от достаточно узкого диапазона рабочих температур могут привести к аварийному останову.

Псевдооживленный или кипящий слой представляет собой систему постоянно перемещающихся дисперсных частиц топлива. Для образования такой системы в слой топлива со скоростью меньше скорости уноса при помощи высокопроизводительного дутьевого вентилятора подается воздух через специальную воздушораспределительную решетку. При этом, за счет интенсивного доступа окислителя к топливу, обеспечивается более полное сжигание топлива с минимизацией механического недожога [4].

Коэффициент избытка воздуха в топках НТКС составляет от 1,2 до 1,6, скорость подачи воздуха от – 2,5 до 4 м/с.

В настоящей статье рассматривается перевод котла КЕ 25-24-350, предназначенного для слоевого сжигания угля, на сжигание в топке с кипящим слоем.

Котел КЕ-25-24-350 (рис. 1) – двухбарабанный, вертикально-водотрубный котел, производительностью 25 тонн пара в час.

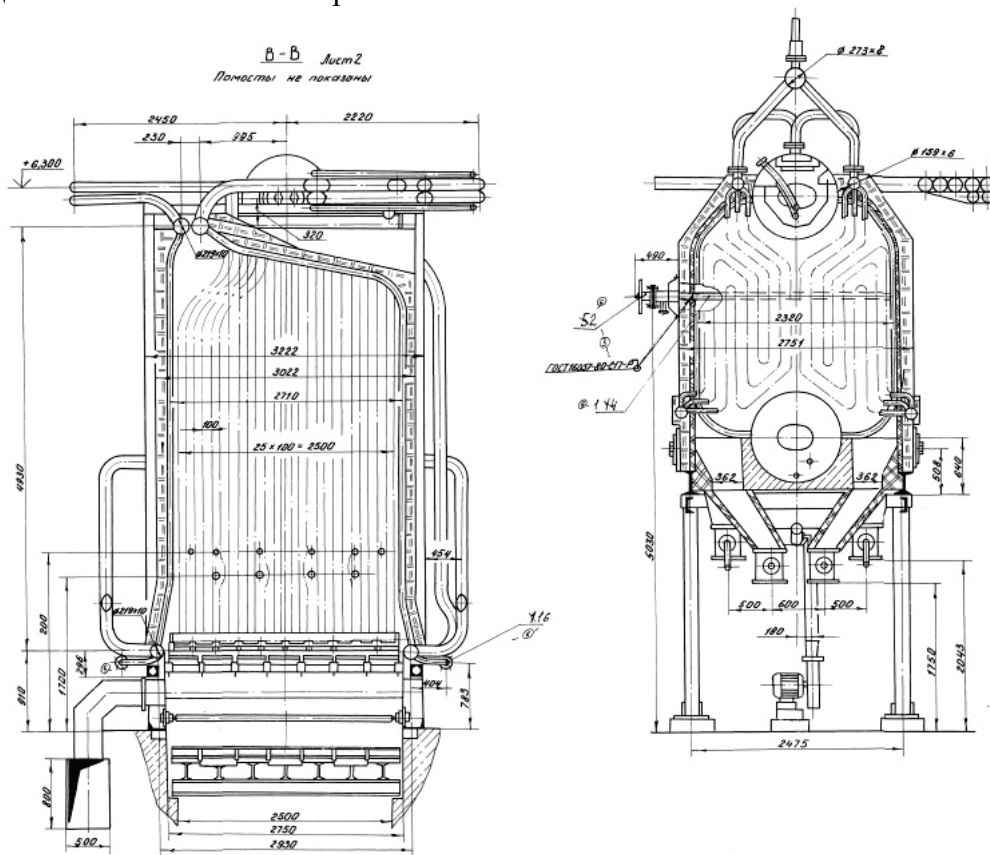


Рисунок 1 – Схема котла КЕ 25 24 350 до реконструкции

Котел предназначен для выработки перегретого пара с температурой 350 °С для технологических нужд, а также используемого в качестве промежуточного теплоносителя для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Котел состоит из двух барабанов ($d=1000$ мм), топочной камеры и конвективного пучка. Продольно расположенные барабаны соединены изогнутыми трубами, образующими развитый конвективный пучок. Топочная камера котла, образованная боковыми экранами, фронтальной и задней стенками, разделяется на топку и камеру догорания, что позволяет увеличить КПД котла за счет уменьшения потери тепла от механической неполноты сгорания топлива.

В соответствии с требованиями технического задания номинальная тепловая мощность котла после реконструкции составляет 15 МВт. Исходя из этой мощности, были выполнены основные расчеты, приняты конструктивные решения и определены параметры оборудования.

Котел предназначен для сжигания древесных отходов (щепы) влажностью до 55 % и теплотворной способностью 7542 кДж/кг. Расчеты проводились на топливо, характеристики которого получены путем пересчета нормативных данных на заданную влажность. Фракционный состав топлива: размер куска не более 50x50x10 мм; содержание пылевых фракций (менее 1 мм) – не более 10 % по массе. В качестве инертного материала слоя применяется сеяный песок фракцией 0,5 – 1,5 мм. Кажущаяся плотность 2100 – 2500 кг/м³, насыпная плотность 1300 – 1500 кг/м. Температура начала деформации – не менее 1400 °С. Содержание легкоплавких примесей не допускается.

В таблице 1 представлены технико-экономические показатели работы котла на номинальной нагрузке при сжигании расчетного топлива. Расчетные характеристики древесных отходов приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Техничко-экономические характеристики КЕ-25-24-350С

Параметр	Значение
Теплопроизводительность, МВт:	
- номинальная	±5% 15
- минимальная	±5% 5,3
Паропроизводительность, (т/ч)	20
Давление пара в барабане котла избыточное, МПа	2,4
Температура питательной воды, °С	104
Температура воды после экономайзера, °С	166,3
Температура воздуха на входе в котел, °С	60
Температура воздуха после воздухоподогревателя (только первичный), °С	247
Расход воздуха, нм³/ч	22530
Аэродинамическое сопротивление газового тракта в пределах котла, Па	880
Расход топлива расчетный, кг/ч	8208
Температура уходящих газов, °С:	
- за котлом	348
- за экономайзером	162,5
КПД котла, %	86
Концентрация окислов азота в дымовых газах, мг	<550
Концентрация окиси углерода в дымовых газах, м³	<1200

Таблица 2 – Расчетные характеристики древесных отходов

	W ^p	A ^p	S ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p	Q _н ^p
	%	%	%	%	%	%	%	кДж/кг
Древесные отходы	55	1,5	0	23,3	2,7	0,3	17,2	7379

Реконструкция котла типа КЕ-25-24-350, предназначенного для слоевого сжигания угля, заключается в установке под котлом вместо колосниковой решетки предтопка кипящего слоя и в оснащении котлоагрегата необходимым вспомогательным оборудованием.

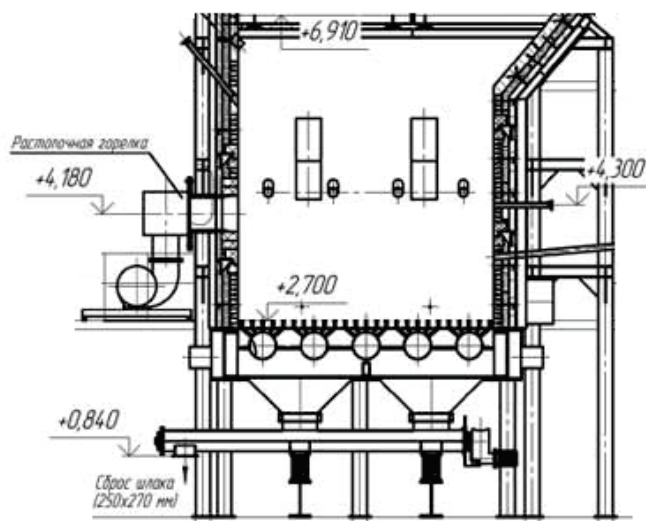


Рисунок 2 – Топка НТКС для сжигания древесных отходов

Предтопок кипящего слоя или топка НТКС (рис. 2) включает в себя воздухораспределительную решетку колпачкового типа, подрешеточный короб с установленным в нем растопочным устройством, узлы подачи топлива и удаления золо-шлаковых отходов, а также боковые ограждающие поверхности в виде газоплотных панелей.

Топка НТКС представляет собой воздушный короб, выполненный из водоохлаждаемых змеевиков. Для снижения тепловосприятия трубных поверхностей в период растопки нижняя и боковые поверхности подрешеточного короба теплоизолируются шамотным кирпичом (либо иным теплоизоляционным материалом). Верхняя ветвь змеевиков образует неподвижную колпачковую воздухораспределительную решетку. Колпачки, выполненные из легированной стали, сварены в проставки между трубами в шахматном порядке с шагом 170 мм.

Боковые, фронтальная и задняя стенки топки НТКС выполнены в виде водоохлаждаемых экранных поверхностей, включенных в единый водяной контур совместно со змеевиковыми поверхностями. Ограждающие кипящий слой стены топки НТКС футеруются шамотобетоном (либо иным теплоизоляционным материалом) на высоте 1600 мм от уровня решетки кипящего слоя.

Кипящий слой образуется над воздухораспределительной решеткой. Рабочая высота слоя инертного материала в неоглаженном состоянии находится в пределах 350 – 450 мм. Необходимый напор подаваемого под решетку воздуха – 10 КПа.

Инертный материал и золо-шлаковые отходы из топки выводятся через сливные сужающиеся книзу каналы, проходящие через подрешеточный короб.

Топливо подается в кипящий слой через два окна в правой боковой стенке. В конструкции разгонных коробов для подачи топлива предусмотрен подвод высоконапорного (2,5 – 4,5 кПа) воздуха на пневмозаброс топлива с целью его равномерного распределения по ширине топки.

Розжиг топки НТКС осуществляется от растопочного устройства, работающего на мазуте. Розжиг осуществляется в автоматическом режиме под контролем системы автоматизации котла.

Таблица 3 – Тепловой расчет котла КЕ-25-24-350

Наименование	Обозначение	Ед. измерения	Значение
Теплота сгорания топлива, низшая на рабочую массу	Q_n^p	кДж/кг	7371,5
Температура топлива	$t_{тл}$	°С	20
Теплоёмкость рабочего топлива	$c_{тл}$	кДж/кг·°С	3,56
Физическое тепло топлива	$i_{тл}$	кДж/кг	71,3
Располагаемое тепло на 1 кг топлива	Q_p^p	кДж/кг	7432
Температура уходящих газов	$\nu_{ух}$	°С	160
Теплосодержание уходящих газов	$I_{ух}$	кДж/кг	961,9
Расчетная температура холодного воздуха	$T_{хв}$	°С	30
Теплосодержание теоретически необходимого холодного воздуха	$I_{хв}^0$	кДж/кг	87,7
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	11,2
Потери тепла от химической неполноты сгорания	q_3	%	0,5
Потери тепла от механической неполноты сгорания	q_4	%	1,0
Потери тепла от наружного охлаждения	q_5	%	1,3
Потери тепла со шлаком	q_6	%	0
Суммарные потери тепла в котельном агрегате	Σq	%	14,0
КПД котлоагрегата (Брутто)	$\eta_{ка}$	%	86
Коэффициент сохранения тепла	ϕ	-	0,985

Вода, циркулирующая через предтопок, отбирается из деаэратора, затем направляется на калориферы, в которых охлаждается воздухом. После калориферов вода проходит через трубную систему предтопка и вновь направляется в деаэратор. Минимальный расчетный расход воды через предтопок – 40 т/ч. Гидравлическое сопротивление – 0,091 Мпа.

Авторами был выполнен тепловой расчет котла на номинальную нагрузку [5]. Расчёт конвективных поверхностей нагрева проводился по коэффициенту тепловой эффективности, значение которого принималось равным 0,6. Данное значение достижимо при условии регулярной и эффективной работы системы очистки конвективных поверхностей от наружных отложений (например, газоимпульсной очистки). В качестве хвостовой поверхности нагрева использовался экономайзер типа ЭП1-646 с площадью поверхности нагрева 646 м² при проходном сечении по газам 1,626 м². Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенные изменения в конструкции котлоагрегата позволят увеличить КПД с 84 до 86 %. Замена колосниковой неподвижной решетки на предтопок с кипящим слоем и перевод котла на сжигание кородеревесных отходов предприятий ЦБП приведет к повышению энергоэффективности производства, улучшению экологических показателей и позволит снизить затраты на выработку тепловой энергии.

Список литературы

1. Разработка котла для сжигания низкосортного твердого топлива в псевдоожиженном слое / Кузьмин С. Н., Будкова Е. В., Исьемин Р. Л., Кондуков Н. Б. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 5. – С. 73-78.
2. Ткаченко, А. Е. Методика повышения эффективности работы группы котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя / А. Е. Ткаченко, Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 100-106.
3. Козлов, Д. А. Сжигание низкосортного топлива в топках с низкотемпературным кипящим слоем / Д. А. Козлов, М. В. Марченко, А. С. Клепиков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: Материалы конференции, г. Белгород, 30 апреля 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. – С. 4081-4084.
4. Громова, Е. Н. Энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности / Е. Н. Громова // Энергия: экономика, техника, экология. – 2022. – № 9(453). – С. 55-59. – DOI 10.7868/S0233361922090075.
5. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М.: Энергия, 1973. –295 с.

INCINERATION OF BARK-WOOD WASTE FROM THE PULP AND PAPER INDUSTRY IN FURNACES WITH A LOW-TEMPERATURE FLUIDIZED LAYER

V. S. Kurtukov, S. V. Antufyev, E. N. Gromova*

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

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

Abstract. Currently, a method for burning solid fuel in a fluidized layer has been developed. This method has the following advantages: the possibility of burning low-quality or unconventional fuels in furnaces, including organic waste, environmental friendliness and high efficiency.

This article provides a justification for the transfer of the boiler KE 25-24-350, designed for layer combustion of coal, to a fluidized layer furnace. The changes that need to be made to the boiler design are considered and a solution is proposed, consisting in installing under the boiler, instead of a grate, pre-heating of the fluidized layer and equipping the boiler unit with auxiliary equipment.

In the course of the work, thermal and aerodynamic calculations were performed. The thermal calculation showed that after the reconstruction of the boiler, the efficiency increased from 84% to 86%.

Keywords: low-temperature fluidized layer, bark-wood waste, pulp and paper industry, pre-heating of the fluidized layer, increasing efficiency.

References

1. Razrabotka kotla dlya szhiganiya nizkosortnogo tverdogo topliva v psevdoozhizhennom sloe. [Development of a boiler for burning low-grade solid fuel in a fluidized bed]. Kuz'min S.N., Budkova E.V., Is'emin R.L., Kondukov N.B. *E'kotexnologii i resursosberezhenie* [Ecotechnologies. and resource conservation], 2004, N 5, S.73-78. (In Russian).
2. Tkachenko, A. E. Metodika povы'sheniya e'ffektivnosti raboty' gruppy' kotloagregatov nizkotemperaturnogo kipyashhego sloya. [Methodology for improving the efficiency of a group of low-temperature fluidized bed boilers]. A. E. Tkachenko, B. V. Gavrilenko, S. V. Neezhmakov *E'nergeticheskie sistemy* [Energy systems], 2017, № 1, S. 100-106. (In Russian).
3. Kozlov, D. A. Szhiganie nizkosortnogo topliva v topkax s nizkotemperaturny'm kipyashhim sloem. [Combustion of low-grade fuel in furnaces with a low-temperature fluidized bed]. D. A. Kozlov, M. V. Marchenko, A. S. Klepikov. *Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya molody'x ucheny'x BGTU im. V.G. Shuxova: Materialy' konferencii, Belgorod, 30 aprelya 2021 goda* [International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of V.G. Shukhov BSTU: Conference Materials, Belgorod, April 30, 2021], Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny'j texnologicheskij universitet im. V.G. Shuxova, 2021, S. 4081-4084. (In Russian).
4. Gromova, E. N. E'nergoberezhenie v cellyulozno-bumazhnoj promy'shlennosti. [Energy saving in the pulp and paper industry]. *E'nergiya: e'konomika, texnika, e'kologiya* [Energy: economics, technology, ecology], 2022, № 9(453), S. 55-59. – DOI 10.7868/S0233361922090075. (In Russian).
5. Teplovoj raschet kotel'ny'x agregatov (normativny'j metod). [Thermal calculation of boiler units (standard method)] M.: E'nergiya, 1973, 295 s. (In Russian).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОЖЕВОГО СПОСОБА РАЗМОЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

С. А. Пожаркова*, Л. В. Юртаева, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Патраков, Е. Р. Колосова
Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева,
г. Красноярск
*E-mail: pzh02@mail.ru

Аннотация. В статье исследовано влияние ножевого способа размол волокнистой суспензии на процесс получения микрокристаллической целлюлозы из различных видов сырья. Показано, что с повышением степени помола волокнистой массы с 15 °ШР до 83 °ШР степень полимеризации микрокристаллической целлюлозы и расходы на проведение химической обработки снижаются.

Ключевые слова: микрокристаллическая целлюлоза, размол, волокнистая масса, степень полимеризации, степень помола.

Основным сырьем в производстве целлюлозно-бумажной промышленности является целлюлоза. Это растительный полисахарид, который обладает механической прочностью и выполняет роль опорного материала в растении. Несмотря на разнообразие видов сырья для получения целлюлозы, промышленное значение имеют лишь некоторые виды растений [1]. Так, например, чаще всего используются: хвойные породы древесины: ель, сосна, пихта, лиственница; лиственные породы древесины: тополь, осина, берёза, бук, эвкалипт; соломы культурных злаков: ржаная, пшеничная, рисовая, кукурузная; недревесных растений: хлопок, лён, техническая конопля, джут, бамбук, тростник и багасса.

Бумажные изделия – это не единственная продукция, которую можно получать из целлюлозы [2]. В 60-х годах XX века О. Баттистой были опубликованы исследования по получению микрокристаллической целлюлозы (МКЦ), которая представляет собой модифицированный, мелкодисперсный продукт гидролитической деструкции целлюлозы [3]. К уникальным свойствам МКЦ, обуславливающим сферы ее применения, относятся: отсутствие вкуса, способность к гелеобразованию в воде, водоудержание (характерно для гелей МКЦ), большая удельная поверхность, высокие сорбционные свойства, а также высокая объемная и насыпная плотность. Установлено, что свойства МКЦ во многом зависят от способа получения и вида сырья, из которого она получена. Например, порошок, который изготавливается из хлопковой целлюлозы, имеет белый цвет, а порошок из лиственной целлюлозы слабо окрашен в светло-желтый цвет. Окраска МКЦ связана с содержанием золы и смол в исходных целлюлозах и остаточного лигнина. Однако отличия заключаются не только в цвете, но и в насыпной плотности, значении удельной поверхности, степени полимеризации и в величине водоудержания [4, 5]. Общими свойствами, присущими МКЦ, выделенной из различных видов сырья, являются:

- отсутствие вкуса и запаха;
- высокая гигроскопичность;
- нерастворимость в органических растворителях;
- способность выдерживать термическую обработку;
- химическая стойкость;
- физиологическая инертность;
- химическая и бактериологическая чистота (это экологически чистый материал, не содержащий вредных примесей, безвредный для человека и животных).

Традиционно МКЦ получают различными способами: химическим (гидролиз целлюлозы различными концентрированными кислотами), механическим (сухой размол на специальном оборудовании) или их сочетанием.

Однако при получении МКЦ есть ряд экологических и экономических проблем [6]:

- В качестве исходного сырья используют в большинстве случаев деловую древесину. Так как проблема вырубки лесов приводит к исчезновению не только диких животных и редких растений, но также негативно сказывается на круговороте CO_2 , тепла и воды в атмосфере.

- В процессе получения МКЦ используются концентрированные кислоты, которые потом необходимо утилизировать.

На наш взгляд, одним из методов решения указанных проблем при производстве микрокристаллической целлюлозы служит замена деловой древесины альтернативными источниками сырья, например, одним из видов однолетних растений – технической конопли. Анализ литературных данных показал, что исследования влияния предварительного размала волокнистой массы на процесс получения микрокристаллической целлюлозы из технической конопли практически отсутствуют.

В СибГУ им. М. Ф. Решетнева, в лаборатории кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, ведутся исследования в области получения МКЦ с предварительным размолем волокнистых полуфабрикатов на дисковой мельнице, центробежном размалывающем аппарате, безножевой размалывающей установке типа «струя–преграда» [7]. Размол волокнистой массы – механический процесс обработки волокон в присутствии воды, проводимый в размалывающих аппаратах. Основное назначение процесса размала – придание волокнистому материалу определенной структуры в отношении размеров волокон по длине и толщине, сообщение волокнистому материалу определенной степени гидратации.

Цель работы – исследование влияния ножевого размала на процесс получения микрокристаллической целлюлозы из различных видов сырья.

В качестве сырья использовалась белая сульфатная хвойная целлюлоза (БСХЦ), белая сульфатная лиственная целлюлоза (БСЛЦ) – продукция ОАО «Группа «Илим» в г. Братск – и сульфатная целлюлоза, выделенная из костры технической конопли в лаборатории кафедры МАПТ.

На данном этапе в задачи исследования входило:

- размол волокнистой массы с использованием дисковой мельницы;
- обработка волокнистой массы химическим способом и определение ее степени полимеризации;
- сравнение степени полимеризации макромолекул целлюлозы при разной степени помола по шкале Шоппер-Риглера.

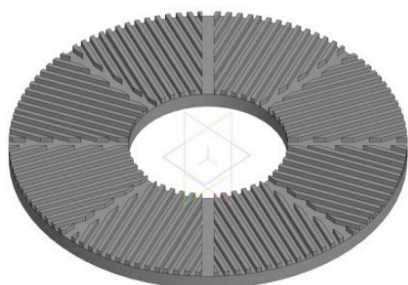
Для контроля процесса получения мелкодисперсной целлюлозы использовались следующие лабораторные методы:

- измерение степени помола проводилось в соответствии с ISO 5267-1:1999 [8];
- содержание лигнина определялось по ГОСТ 11960-79 [9];
- массовая доля альфа-целлюлозы определялась по ГОСТ 595-79 [10];
- определение степени полимеризации проводилось по ГОСТ 9105-74 [11].

Размол волокнистой массы концентрацией 1 % осуществлялся в полупромышленной дисковой мельнице с 15 °ШР до 83 °ШР. Частота вращения ротора – 2000 об/мин и межножевой зазор – 0,1 мм были выбраны как наиболее эффективные с точки зрения продолжительности размала и степени разработки волокна, на основании ранее проведенных на кафедре МАПТ исследований [12, 13]. При размале волокнистой массы использовалась традиционная восьмисекторная гарнитура с прямолинейной формой ножей и углом наклона к радиусу диска 22,5° (рис. 1), т. к. подавляющее большинство ножевых гарнитур сконструированы с учетом этих условий [14]. Она обеспечивает оптимальное соотношение

фибриллирующего и режущего эффектов при снижении энергоёмкости процесса размола, что в дальнейшем, как мы ожидаем, приведет к снижению:

- концентрации используемой кислоты при проведении гидролиза;
- времени проведения процесса гидролитической деструкции целлюлозы;
- количественных показателей степени полимеризации макромолекул целлюлозы во время процесса гидролиза.



- Наружный и внутренний диаметры:
 $D = 290 \text{ мм}$, $d = 130 \text{ мм}$;
- толщина и высота ножа: $\delta = 4 \text{ мм}$; $h = 4 \text{ мм}$;
- ширина канавки: $b = 4 \text{ мм}$;
- секундная режущая длина: $L_s = 25213 \text{ м/с}$;
- площадь контакта ножей ротора и статора:
 $F = 0,0076 \text{ м}^2$;
- отношение площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры: $F_{\text{разм.}}/F_{\text{общ.}} = 22,5 \%$

Рисунок 1 – Схема и характеристики ножевой размалывающей гарнитуры

После размола волокнистую массу подвергли гидролизу с целью усиления разрушения структуры целлюлозы и получения из нее МКЦ. Далее проводилась промывка, сушка и диспергирование полученной мелкодисперсной целлюлозы. Анализ полученных результатов после проведения гидролитической деструкции размолотой волокнистой массы показал, что с повышением степени помола волокнистой массы с 15 °ШР до 83 °ШР концентрация соляной кислоты снижается с 2 до 1,5 N, время проведения процесса гидролиза со 120 мин до 60 мин, температура на 30 °С.

Для оценки уровня физической деградации волокон у полученной микрокристаллической целлюлозы определяли степень полимеризации (СП), используя комплексное соединение гексанатрий тристарtrat железа [15]. На рис. 2 показана зависимость степени полимеризации МКЦ от степени помола волокнистой массы по шкале Шоппер-Риглера.

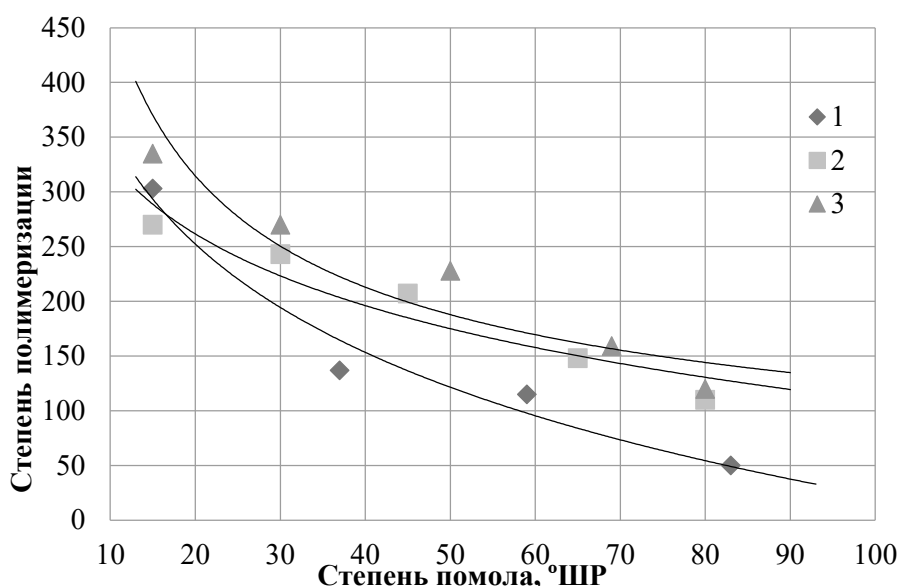


Рисунок 2 – Зависимость степени полимеризации мелкодисперсной целлюлозы от степени помола волокнистой массы по шкале Шоппер-Риглера:

1 – целлюлоза, выделенная из хвойных пород древесины; 2 – целлюлоза, выделенная из лиственных пород древесины; 3 – целлюлоза, выделенная из костры технической конопли

Как видно из графика, независимо от вида целлюлозы с повышением степени помола волокнистой массы степень полимеризации МКЦ снижается. Причем качественные характеристики практически не отличаются друг от друга, тогда как количественные отличаются. Например, степень полимеризации при 80 °ШР у МКЦ, полученной из костры технической конопли – 50, из лиственных пород древесины – 100, хвойных – 110. На наш взгляд, на отличие величины степени полимеризации исследуемых видов сырья оказывает влияние не только различие в химическом составе и строении волокон, но и направление процесса размола. Основную массу целлюлозы хвойных пород древесины составляют длинные лентообразные клетки – трахеиды. Большая часть лиственной целлюлозы состоит из клеток механической ткани, называемой либроформом. Это относительно короткие толстостенные клетки с иглообразными заостренными концами. Элементарное волокно костры технической конопли еще более короткое и представляет собой отдельную вытянутую, закрытую с обоих концов клетку с утолщенными стенками, имеющую внутри полость. Во время размола разрушение межмолекулярных связей внутри клеточной стенки волокна с образованием микротрещин происходит интенсивнее у целлюлозы, выделенной из костры технической конопли, что способствует в дальнейшем более эффективному протеканию химической реакции во время проведения гидролитической деструкции.

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать вывод, что:

- наиболее интенсивное снижение степени полимеризации при повышении степени помола происходит у МКЦ, выделенной из костры технической конопли;
- ножевой размол волокнистой массы перед ее гидролитической деструкцией позволяет сократить расходы (температуру, время, концентрацию кислоты) на получение микрокристаллической целлюлозы.

Список литературы

1. Carpita N. C.; Gibeaut D. M. Structural models of primary cell walls in flowering plants: Consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant J.* 1993, no.3, pp.1–30. URL:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8401598>.
2. Просвиников Д. Б., Ахметшин И. Р., Гайнуллина Д. Ш., Просвирикова Т. Д. Способы получения и области применения порошковой целлюлозы // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №17. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-polucheniya-i-oblasti-primeneniya-poroshkovoy-tsellyulozy>.
3. Orlando A. Battista. Method for obtaining microcrystalline cellulose Патент 3146168 (США); опубл. 25.08.1964 г.
4. Щербакowa Т. П., Котельникова Н. Е., Быховцева Ю. В. Сравнительное изучение образцов порошковой и микрокристаллической целлюлозы различного природного происхождения. Физико-химические характеристики // Химия растительного сырья. – 2011. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnoe-izuchenie-obraztsov-poroshkovoy-i-mikrokristallicheskoj-tsellyulozy-razlichnogo-prirodnogo-proishozhdeniya-fiziko>.
5. Abdelmageed K., Chang X. H., Wang D. M., Wang Y. J., Yang Y. S., Zhao G. C., Tao Z. Q. (2019) Evolution of varieties and development of production technology in Egypt wheat: A review. *J. Integr. Agric.* 18(3): 483–495. URL: [http://journals.caass.org.cn/zgnykx-en/EN/10.1016/S2095-3119\(18\)62053-2](http://journals.caass.org.cn/zgnykx-en/EN/10.1016/S2095-3119(18)62053-2).
6. Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины. – СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – г. Красноярск, Хвойные бореальные – 2022. – № 2. – С. 158-164.
7. Kaplyov E. V.; Yurtayeva L. V.; Marchenko R. A.; Vasilieva D. Y.; Alashkevich, Y. D. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products *Journal of Physics: Con-ference Series* 2021, Volume 2094, pp. 042069. DOI:10.1088/1742-6596/2094/4/042069.

8. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001 – Cellulose. Determination of the ability to dehydrate. Part 1. Shopper-Rigler Method. – 8 p.
9. ГОСТ 26177-84. Метод определения лигнина. Fodder, mixed feeds. Method for determination of lignin. ОКСТУ 9709, 9209, 1985.
10. ГОСТ 6840-78. Целлюлоза. Метод определения альфа-целлюлозы. Государственный комитет СССР по стандартам – Москва: 1978.
11. ГОСТ 9105-74 Целлюлоза. Метод определения средней степени полимеризации. – Москва ИПК Издательство стандартов, 1974.
12. Алашкевич Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: Дис. докт. техн. наук. – Л., 1980. – 334 с.
13. Набиева, А. А. Оценка влияния и совершенствование основных технологических параметров ножевых размалывающих машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Набиева Анна Александровна. – г. Красноярск, 2004. – 182 с.
14. Патент 2314381 РФ, МПК D21D 1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура для дисковой мельницы: № 2006121711; заявл. 19.06.2006; опубл. 10.01.2008 / Алашкевич Ю. Д., Ковалев В. И., Набиева А. А.
15. Оболенская А. В.; Щеголев В. П.; Аким Г. Л. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. – Лесная промышленность: Москва, 1985. – 412 с.

USING THE KNIFE GRINDING METHOD IN PRODUCING MICROCRYSTALLINE CELLULOSE

S. A. Pozharkova*, L. V. Yurtayeva, Y. D. Alashkevich, V. A. Patrakov, E. R. Kolosova
*Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F.
 Reshetnev, Krasnoyarsk*
 *E-mail: pzh02@mail.ru

Abstract. In the article, the influence of the knife method of grinding a fibrous suspension on the process of obtaining microcrystalline cellulose from various types of raw materials was studied. It is shown that with an increase in the degree of grinding of the fibrous mass from 15 °SR to 83 °SR, the degree of polymerization of microcrystalline cellulose and the cost of chemical processing are reduced.

Keywords: microcrystalline cellulose, grinding, fibrous mass, degree of polymerization, degree of grinding.

References

1. Carpita N. C.; Gibeaut, D. M. Structural models of primary cell walls in flowering plants: Consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant J.* 1993, no.3, pp.1–30. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8401598>.
2. Prosvirnikov D. B., Akhmetshin I. R., Gainullina D. Sh., Prosvirnikov T. D. Methods of obtaining and applications of powdered cellulose // *Bulletin of Kazan Technological University.* 2014. №17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-polucheniya-i-oblasti-primeneniya-poroshkovoy-tsellyulozy>. (In Russian).
3. Orlando A. Battista. Method for obtaining microcrystalline cellulose Патент 3146168 (США); опубл. 25.08.1964 г.
4. Shcherbakova T. P., Kotelnikova N. E., Bykhovtseva Yu. V. Comparative study of samples of powdered and microcrystalline cellulose of various natural origin. Physico-chemical characteristics // *Chemistry of vegetable raw materials.* 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnoe-izuchenie-obraztsov-poroshkovoy-i-mikrokristallicheskoj-tsellyulozy-razlichnogo-prirodnogo-proishozhdeniya-fiziko>. (In Russian).

5. Abdelmageed, K., Chang, X.H., Wang, D.M., Wang, Y.J., Yang, Y.S., Zhao, G.C., Tao, Z.Q. (2019) Evolution of varieties and development of production technology in Egypt wheat: A review. *J. Integr. Agric.* 18(3):483–495. URL: [http://journals.caass.org.cn/zgnykx-en/EN/10.1016/S2095-3119\(18\)62053-2](http://journals.caass.org.cn/zgnykx-en/EN/10.1016/S2095-3119(18)62053-2).
6. Yurtayeva, L. V.; Alashkevich, Yu. D. A method for obtaining microcrystalline cellulose based on bio-damaged wood – SibGU named after M. F. Reshetnev - Krasnoyarsk, Coniferous boreal 2022, No. 2, pp. 158-164. (In Russian).
7. Kaplyov, E. V.; Yurtayeva, L. V.; Marchenko, R. A.; Vasilieva, D. Y.; Alashkevich, Y. D. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products *Journal of Physics: Conference Series* 2021, Volume 2094, pp. 042069. DOI:10.1088/1742-6596/2094/4/042069. (In Russian).
8. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001 - Cellulose. Determination of the ability to dehydrate. Part 1. Shopper-Rigler Method. – 8 p.
9. GOST 26177-84. Method of lignin determination. Fodder, mixed feeds. Method for determination of lignin. OKSTU 9709, 9209, 1985. (In Russian).
10. GOST 6840-78. Cellulose. Method of determination of alpha-cellulose. USSR State Committee on Standards - Moscow: 1978. (In Russian).
11. GOST 9105-74 Cellulose. Method for determining the average degree of polymerization. Moscow IPK Publishing House of Standards, 1974. (In Russian).
12. Alashkevich Yu. D. Fundamentals of the theory of hydrodynamic processing of fibrous materials in grinding machines: Dis. doct. technical sciences. -L., 1980. 334 p. (In Russian).
13. Nabieva A. A. Assessment of the impact and improvement of the main technological parameters of knife grinding machines: dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.21.03 / Nabieva Anna Aleksandrovna. – Krasnoyarsk, 2004. – 182 p. (In Russian).
14. Alashkevich Yu. D., Kovalev V.I., Nabieva A.A. Grinding headset for disc mill. Patent RF, no. RU 2314381 C1, 2008. (In Russian).
15. Obolenskaya, A.V.; Shchegolev, V. P.; Akim, G. L. Practical work on the chemistry of wood and cellulose, Forest industry, Moscow, 1985; 412 p. (In Russian).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. И. Смирнова*, Д. С. Ганева, Д. И. Мазурик, А. Б. Дягилева
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург
*E-mail: smirnova_nasty87@mail.ru

Аннотация. Целлюлозно-бумажная промышленность является источником значительного количества сточных вод, объем которых на типовом предприятии в среднем составляет 300...400 тыс. м³/сут. Современная технология переработки осадков этих вод включает следующие стадии: уплотнение, кондиционирование, обезвоживание и утилизацию. В целом, технология переработки осадков является исключительно затратной, что сказывается на себестоимости продукции. Поэтому возникает потребность в снижении затрат за счет использования осадков сточных вод в качестве реагента для получения новых товарных продуктов, возможность использования которых обусловлена большим количеством органических (лигнинсодержащих) веществ с широким набором функциональных групп. Таким образом, модификация технических лигнинов путем золь-гель синтеза позволяет получить новые формы лигнина в режиме самоорганизации с созреванием гелевого гибридного продукта на основе доминирующей матрицы в виде лигнина или минеральной составляющей, выбранной по требуемой степени участия компонентов.

Спектр товарных продуктов, специально подготовленных с использованием перспективных технологий, может значительно расшириться при дополнительных исследованиях этих продуктов. Сегодня уже доказанными направлениями использования данных композиций могут являться: ветеринария (энтеросорбенты), растениеводство (стимуляторов роста растений). Особое направление – это строительство, как гражданское (буровые растворы), так и при организации дорожного строительства для снижения пылимости поверхностей при реализации мероприятий по снижению негативного воздействия в зоне влияния пылевых частиц. Все эти направления способствуют улучшению качества жизни и здоровья населения в урбанизированных зонах и зонах с деградацией почвенного слоя.

Ключевые слова: лигнин, золь-гель синтез, органоминеральная композиция, пылеподавление, стабилизация грунта.

На сегодняшний день вопрос утилизации и использования осадков сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) является одним из самых проблематичных, так как стоки содержат большое количество мелкодисперсных частиц и органических веществ. Количество данных осадков значительно и достигает десятки тысяч тонн в сутки. Влажность осадков составляет более 95%, поэтому начальным этапом их переработки является обезвоживание. Однако обезвоживание не решает основной задачи – утилизации этих осадков.

Перспективные технологии использования осадков ЦБП основаны на их качественном составе, а именно на содержании лигнинных компонентов. Состав стоков небеленой сульфатной целлюлозы в виде органических компонентов в параметре ХПК представлен: 3 % неорганический углерод, 19 % органический углерод, 56 % лигнинные вещества и 22 % прочие. Комплекс этих компонентов является воспроизводимыми биополимерами, которые и входят в новые органоминеральные структуры при очистке воды. В процессах химической и биохимической переработки биомассы нативные лигнины подвергаются первичной модификации и являются потенциальным вторичным сырьем для получения новых гелевых композиций с набором полезных свойств.

В результате взаимодействия водных дисперсий технического лигнина и минеральной составляющей, содержащей SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , при реализации процесса золь-гель модификации лигнина в водной среде происходит формирование гибридных продуктов нового поколения, обладающих специфической организацией пространственной структуры. Они приобретают дополнительные полифункциональные свойства, определяющие пути их технического использования. В качестве минеральной составляющей композиции можно использовать вторичное сырье природного (нефелинсодержащие порошки, нефелиновый концентрат) или техногенного происхождения (зола от установок для сжигания биомассы: зольный остаток (подовая зола); зола уноса из циклонов; зола уноса из фильтров) [1].

Продукты на основе модифицированных технических лигнинов могут быть использованы в растениеводстве в качестве стимуляторов роста высших растений [2], в качестве реагентов для снижения пылимости поверхностей при реализации мероприятий по снижению негативного воздействия пылевых частиц на здоровье населения в урбанизированных зонах с активным использованием автотранспорта [3], а также для стабилизации грунтов, для усиления устойчивости насыпей для автомобильных и железных дорог.

Расширение рынка пылеподавителей является актуальной задачей для современного развития экономики. Процессы урбанизации активно внедряются при освоении новых территорий, для которых требуется качественное регулирование природной среды, оказывающей непосредственное воздействие на здоровье и благосостояние населения.

Для успешного развития инфраструктуры сегодня проводятся комплексные исследования по отработке мероприятий с элементами управления качества окружающей среды на проблемных территориях. К ним принято относить организацию специфического озеленения, где для активации этого процесса возможно использование стимуляторов роста на основе сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности. Часть исследований в этом направлении приводилась на предыдущих конференциях [4]. В продолжение этих работ рассматриваются испытания пылеподавляющих компонентов, которые обладают рядом специфических свойств и способствуют как снижению концентрации взвешенных веществ, так и улучшению состоянию почв вблизи магистралей.

Известно, что опасным токсикантом, поступающих в воздух при эксплуатации автотранспорта, является дисперсия пылевых частиц, которая представляет серьезную угрозу здоровью населения. Частицы пыли являются важнейшим патогенным фактором при заболеваниях дыхательных путей, таких как астма и хроническая обструктивная болезнь легких, что приводит к риску заболеваемости населения в местах ее образования.

Предлагаемые новые системы пылеподавления показывают позитивный эффект снижения пылевых частиц. Исследования были проведены с моделированием процесса пылеуноса дисперсии взвешенных веществ с определенным набором частиц в лабораторных условиях. Для создания искусственного потока воздуха использовался вентилятор, который жестко закреплялся на поверхности с регулируемой подачей воздуха. Скорость подачи воздуха в исследованиях варьировалось, в первом случае составила $0,75 \pm 0,02$ м/с. На расстоянии 0,5 м от источника воздействия располагались исследуемые образцы выбранной фракции минерализированных пылевых частиц, используемых в смеси для обслуживания территорий. Данные образцы подвергались гравиметрическому анализу и наносились на поверхность предметного стекла в зоне воздействия воздушного потока.

В качестве примера представлена зависимость по оценке эффективности пылеподавления за счет закрепления пылевых частиц на поверхности после обработки водными растворами пылеподавителей на основе лигнинов различной модификации. Представленная зависимость удержания пылевых частиц (рис.1) доминирующей фракции с размерами частиц 0,063 мм, которых в общем составе дисперсии песка составляет 67,62 %. Величина удержания по экспериментальным данным была пересчитана на массу песка. Сами зависимости удержания пылевых частиц на поверхности стекла были построены от

концентрации лигнина в растворе – пылеподавитель. Время воздействием воздушного потока во всех случаях составляло 5 минут.

Фракция 0,063 мм

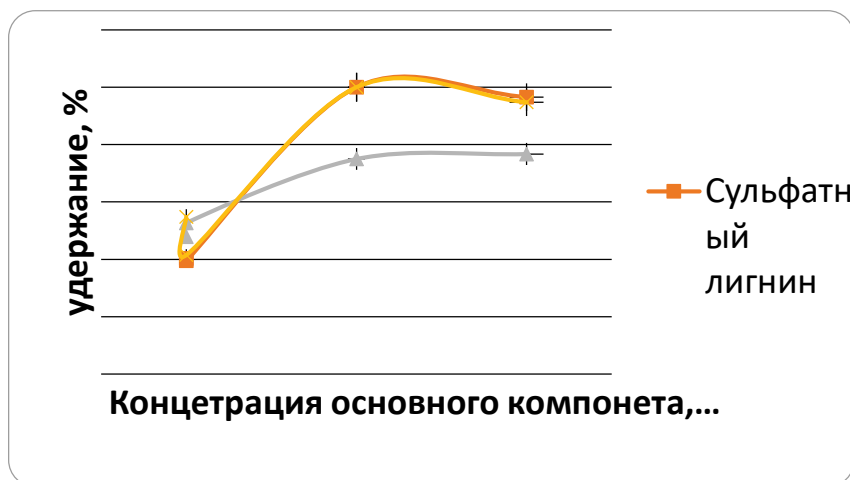


Рисунок 1 – Зависимость удержания пылевых частиц фракции 0,063 мм от концентрации лигнина в растворе пылеподавателя под воздействием воздушного потока $0,75 \pm 0,02$ м/с, время контакта 5 минут

Обработка водой дисперсии взвешенных пылевых частиц и смачивание аэрозолем воды на поверхности стекла приводит к существенному удержанию частиц на предметном стекле. Влияние лигнина в составе пылеподавателя с использованием черного щелока проявляется активно при концентрации сульфатного лигнина (СЛ) 100 мг/дм^3 и достигает эффекта удержания практически 100 %. Гидролизный лигнин в составе раствора пылеподавления при соизмеримой концентрации 100 мг/дм^3 обладает меньшим эффектом, чем раствор на основе черного щелока. Таким образом, при экспериментальном исследовании установлено, что присутствие модифицированных технических лигнинов различного происхождения оказывает различное воздействие на удержание пыли на поверхности стекла, и каждый из них может являться матрицей для разработки линейки товарных пылеподавателей.

К перспективным направлениям использования модифицированных композиций на основе лигнинных компонентов и минеральной составляющей следует отнести возможность их использования для глубокой стабилизации различных типов слабых грунтов, таких как глина, сапропель и торф. Традиционно основными компонентами смесей являются известь, цементы, доменный шлак и гипс. Возможно использование промышленных отходов при их совместном применении, например, высококачественная зольная пыль при стабилизации торфяников показывает принципиальную возможность создания новых композиций для целей стабилизации грунтов с использованием лигногуминовых продуктов. Однако эти исследования требуют проведения полевых испытаний на натуральных объектах.

Список литературы

1. Патент РФ 2 658 907 С2. МПК C07G 1/00, C08L 97/00. Способ модификации лигнина путем золь-гель синтеза с минеральными компонентами / А. Б. Дягилева; патентообладатель; авторы: А. Б. Дягилева, А. И. Смирнова, А. Е. Присмакова, Д. В. Дягилева. Заявлено 10.03.2016; опублик. 26.06.2018. – Бюл. №18. – 4 с.
2. Безуглова О. С., Полиенко Е. А., Горовцов А. В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор) // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. №4 (60). – С. 11-14.
3. Летуев К. В., Ковшов С. В., Гридина Е. Б. Технология гидрообеспыливания автомобильных дорог угольных разрезов с применением очищенных сточных и дренажных вод // Экология и промышленность России, 2020. – Т. 24. – № 1. – С. 30–33.

4. Дягилева А. Б., Смирнова А. И., Мазурик Д. И. Потенциальная возможность применения сточных вод древесноподготовительного цеха в биологическом цикле рекультивации полигонов ТБО // Материалы IV Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения». – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. – С. 19-25.

PROMISING TECHNOLOGIES FOR THE USE OF SEWAGE SLUDGE FROM LOCAL PULP AND PAPER INDUSTRY SYSTEMS

A. I. Smirnova*, D. S. Ganeva, D. I. Mazurik, A. B. Dyagileva
Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg

**E-mail: smirnova_nasty87@mail.ru*

Abstract. The pulp and paper industry is a source of a significant amount of wastewater, the volume of which at a typical enterprise averages 300... 400 thousand m³/day. Modern technology for processing wastewater sludge includes the following stages: compaction, conditioning, dehydration and disposal. In general, precipitation processing technology is extremely costly, which affects the cost of production. Therefore, there is a need to reduce costs by using wastewater sludge as a reagent to produce new marketable products that can be used due to the large amount of organic (lignin-containing) substances with a wide range of functional groups. Thus, modification of technical lignins by sol-gel synthesis makes it possible to obtain new forms of lignin in self-organization mode with maturation of gel hybrid product based on dominant matrix in the form of lignin or mineral component selected according to required degree of involvement of components.

Thus, modification of technical lignins by sol-gel synthesis makes it possible to obtain new forms of lignin in self-organization mode with maturation of gel hybrid product based on dominant matrix in the form of lignin or mineral component selected according to required degree of involvement of components.

Keywords: lignin, sol-gel synthesis, organomineral composition, dust suppression, soil stabilization.

References

1. Dyagileva A. B. Sposob modifikacii lignina putem zol'-gel' sinteza s mineral'nymi komponentami [Method of modification of lignin by sol-gel synthesis with mineral components]/ Patent RF 2 658 907 C2, 2018. (In Russian).
2. Bezuglova O. S., Polienko E. A., Gorovcov A. V. Guminovye preparaty kak stimulyatory rosta rastenij i mikroorganizmov (obzor) [Humic preparations as growth stimulators of plants and microorganisms (review)]. Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. [Izvestiya Orenburg State Agrarian University]. 2016. №4 (60). pp.11-14. (In Russian).
3. Letuev K. V., Kovshov S. V., Gridina E. B. Tehnologija gidroobespylivanija avtomobil'nyh dorog ugol'nyh razrezov s primeneniem ochishhennyh stochnyh i drenaznyh vod [Technology of hydro-spraying of coal mine roads using treated wastewater and drainage water]. Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. 2020. T. 24, № 1. pp. 30–33. (In Russian).
4. Dyagileva A. B., Smirnova A. I., Mazurik D. I. Potencial'naja vozmozhnost' primeneniya stochnyh vod drevesnopodgotovitel'nogo cexa v biologicheskom cikle rekul'tivacii poligonov TBO [The potential possibility of using waste water from a wood processing plant in the biological cycle of recultivation of landfills]. V sbornike: IV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii molodyh uchjonyh i specialistov CBP «Sovremennaja celljuloznobumazhnaja promyshlennost'. Aktual'nye zadachi i perspektivnye reshenija» [Materials of the IV International Scientific and Technical Conference of young scientists and specialists of the Central Bank «Modern pulp and paper industry. Actual tasks and promising solutions»]. SPb.: VShTJe SPbGUPTD, 2023. pp. 19-25. (In Russian).

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОЙ БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ

А. А. Карелина*, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов, К. А. Хохлов
*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева,
г. Красноярск*

**E-mail: karelina.alexandra@mail.ru*

Аннотация. Техническая конопля как сырье для целлюлозно-бумажного производства имеет ряд преимуществ. Одним из преимуществ является то, что конопля дает высокий выход волокна с гектара посевной площади по сравнению с традиционными источниками, такими как древесина. Кроме того, конопляные волокна прочнее и долговечнее, чем древесные, что позволяет производить бумажные изделия более высокого качества. Конопля также является быстрорастущей культурой, которую можно выращивать с меньшими затратами и меньшим воздействием на окружающую среду, чем традиционное древесное сырье [1].

Ключевые слова: техническая конопля, размол, бумажная продукция, экология.

В настоящее время древесина является основным сырьем для мировой целлюлозно-бумажной промышленности. Однако это относительно новое сырье для производства бумаги. Исторически бумага изготавливалась исключительно из недревесных растительных волокон. Первое настоящее производство бумаги приписывают Цай Луню в 5 г. н. э. в Китае. Первая бумага была сделана из текстильных отходов, старых тряпок и использованных рыболовных сетей, которые состояли из волокон технической конопли и китайской крапивы (рами) [2]. Однако в конце XVII века древесина стала преобладающим источником волокна и по сей день является таковым.

На данный момент существующих древесных ресурсов недостаточно для удовлетворения неуклонно растущего спроса на бумагу. Как следствие, возникла потребность в доступном альтернативном сырье. Таковым снова могут стать недревесные растения.

Использование недревесного сырья в производстве бумажной продукции актуально по следующим причинам:

- Расширение сырьевой базы. Это позволит уменьшить зависимость от очень ограниченных древесных ресурсов, что поспособствует сохранению лесов и биоразнообразию.
- Экологичность. Недревесное сырье может быть получено из сельскохозяйственных отходов (пшеничная солома, отходы сахарного тростника), технических культур (техническая конопля, лен) и естественно растущих растений (бамбук, сизаль).
- Высокое качество готовой продукции. Некоторые виды сырья (например, техническая конопля) имеют высокую прочность волокон, что даёт возможность изготавливать прочную бумагу.
- Экономическая выгода. Использование недревесного сырья может создать экономические возможности в регионах, где древесные ресурсы ограничены или недоступны. Это может способствовать развитию местной промышленности, основанной на сельскохозяйственных отходах или других источниках недревесного волокна [1].

В то время как древесное сырье по-прежнему является основным источником для производства бумаги, актуальность недревесного сырья заключается в его способности к более устойчивой и диверсифицированной бумажной промышленности. Непрерывные исследования и инновации в области технологий обработки недревесных волокон и внедрение

их на рынок являются ключевыми факторами расширения использования этих материалов в производстве бумажной продукции.

На протяжении тысячелетий конопля (*Cannabis sativa* L.) была одним из распространенных видов, ценных для человека. Род *Cannabis* возник в Центральной Азии, а затем распространился по разным регионам мира. Быстрый рост растения как в умеренных, так и в тропических климатических условиях, а также обогащение почвы после выращивания каждого урожая привлекли многих людей к его выращиванию [3].

Конопля обыкновенная (*Cannabis sativa*) – однолетнее лубоволокнистое растение рода *Cannabis* семейства коноплевых (*Cannabaceae*).

Волокно конопли – пенька – обладает большой прочностью и не претерпевает заметных изменений при контакте с водой, широко используется при изготовлении канатов, парусины, пожарных рукавов и многих других изделий. Короткое волокно конопли – пакля – после очистки от костры употребляется для набивки мебели, для изготовления пряжи, которая хорошо противостоит гниению. При переработке стеблей конопли на волокно получается отход – костра, составляющая около 70 %. Костра (древесина), получаемая в результате переработки тресты (вымоченных стеблей конопли), является ценным сырьем для изготовления целлюлозы, бумаги, пластмасс, строительных и термоизоляционных плит [4, 5].

Большим преимуществом культивирования конопли, по сравнению с другими легковозобновляемыми целлюлозосодержащими источниками сырья, является высокий выход биомассы за довольно короткий промежуток времени – почти 3,5 месяца, при скорости роста около 50 см/мес. С посевной площади в 1 гектар возможно получить около 5-6 тонн целлюлозы в год. Данная культура неприхотлива к климатическим условиям, обладает повышенной засухоустойчивостью, высокой устойчивостью к микробам и вредителям, а также характеризуется низкой потребностью в питательных веществах и пестицидах.

Благодаря высокому содержанию в биомассе конопли целлюлозы она широко используется при изготовлении ценных и тонких сортов бумаги [5].

Основой бумажной продукции является целлюлоза. Благодаря своей структуре, в отличие от древесного сырья, техническая конопля не требует химической обработки. Бумага из конопли может быть получена путём размола без использования химической обработки.

Особый интерес представляет ножевой размол массы высокой концентрации. В сравнении с размолотой массой низкой концентрации он имеет следующие преимущества:

- незначительное укорочение волокон;
- рост удельной поверхности волокон и, как следствие, увеличение способности волокон к образованию межволоконных связей;
- повышение показателей прочности бумаги;
- повышение производительности размалывающего оборудования и снижение удельного расхода электроэнергии [6].

Из вышесказанного можно заключить, что размол волокнистой массы высокой концентрации из технической конопли несет в себе множество преимуществ.

В связи с этим на кафедре машин и аппаратов промышленных технологий СибГУ им. М. Ф. Решетнева проводятся исследования по получению бумажной продукции из технической конопли. Особенностью исследования является то, что применяется только механический способ обработки волокнистого материала, что дает дополнительные экологические преимущества.

Предподготовка сырья проводится путем измельчения лубяных волокон в молотковой дробилке и последующим их замачиванием.

Размол проводится на лабораторной дисковой мельнице, разработанной на кафедре МАПТ, при концентрации волокнистой массы 10%, скорости вращения ротора 2500 об/мин и межножевом зазоре 1,5 мм [7]. Для сравнения физико-механических свойств использовались две различные гарнитуры: с окружной формой ножей и равномерным их распределением и традиционной гарнитурой с прямолинейной формой ножей.

На рисунке 1 показана зависимость изменения длины волокна от степени помола.

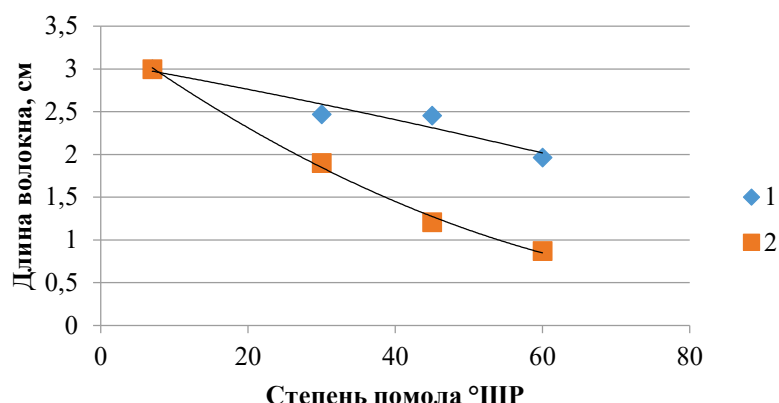


Рисунок 1 – Зависимость изменения средней длины волокна от степени помола:

- 1 – гарнитура с окружной формой ножей и равномерным их распределением;
- 2 – традиционная гарнитура с прямолинейной формой ножей

Для гарнитуры с окружной формой ножей зависимость имеет вид, близкий к линейному, тогда как для традиционной гарнитуры зависимость принимает параболический характер.

Известно, что независимо от конструкции гарнитуры длина волокна с увеличением степени помола снижается. При этом использование гарнитуры с окружной формой ножей и равномерным их распределением для размола даёт меньшее укорочение волокна, чем использование традиционной гарнитуры. Значительное изменение средней длины волокна оказывает влияние на прочность бумажной отливки. Как отмечают исследователи [8, 9], при большей длине волокна возникает большее количество контактов между ними и как следствие, возрастает прочность бумажного листа [8, 9]. Сформировать дополнительные точки соприкосновения также помогает и фибрилляция волокна.

Свойства бумажных отливок сравниваются по показателю разрывной длины. Этот показатель является наиболее широко распространенной прочностной характеристикой бумаги. Он характеризует внутреннюю прочность бумажной продукции и зависит от таких факторов, как прочность, длина волокна, межволоконные силы связи.

На рисунке 2 представлены показатели разрывной длины бумажных отливок после размола волокнистой массы на дисковой мельнице с использованием гарнитуры с окружной формой ножей и равномерным их распределением и гарнитуры с прямолинейной формой ножей.

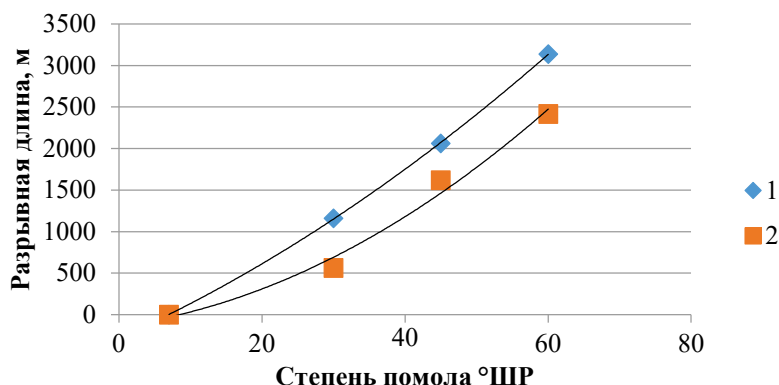


Рисунок 2 – Зависимость разрывной длины от степени помола:

- 1 – гарнитура с окружной формой ножей и равномерным их распределением;
- 2 – традиционная гарнитура с прямолинейной формой ножей

Как видно из рисунка, качественные характеристики имеют идентичные значения, но количественные значения при этом отличаются, и вне зависимости от вида гарнитуры показатели возрастают.

Значения разрывной длины для гарнитуры с окружной формой ножей выше, чем для гарнитуры с прямолинейной формой ножей. Это может объясняться тем, что при использовании гарнитуры с окружной формой ножей волокна подвергаются меньшему укорочению, нежели при размоле на гарнитуре с прямолинейными ножами. Помимо меньшего укорочения волокна больше фибриллируются благодаря конструктивным особенностям размалывающей гарнитуры, что, в свою очередь, увеличивает межволоконные силы связи [8].

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- Вне зависимости от выбора конструкции гарнитуры длина волокна при размоле уменьшается. Однако использование гарнитуры с окружной формой ножей и равномерным их распределением в большей степени сохраняет исходную длину волокна.
- Показатель разрывной длины имеет одинаковый качественный характер, но при этом количественные значения более высокими являются у отливок, полученных после размола на дисковой мельнице, на гарнитуре с окружной формой ножей и равномерным их распределением. Такой эффект достигается благодаря лучшему фибриллированию волокна и меньшему его укорочению.

Список литературы

1. Abd El-Sayed, E.S., El-Sakhawy, M.A., & El-Sakhawy, M.A. (2020). Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35, 215 - 230.
2. Маркова, В. Н. Китайская бумага: история появления и технология производства / В. Н. Маркова, М. О. Сурина // Молодой исследователь Дона. – Донской государственный технический университет: Ростов-на-Дону, 2017. – № 3(6). – С. 138-140. – EDN YUHDRD.
3. Karche T. & Singh M. R. (2019). The application of hemp (*Cannabissativa* L.) for a green economy: a review. *Turkish Journal of Botany*, 43, 710-723.
4. Лаврентьева, Е. П. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России / Е. П. Лаврентьева, О. К. Санина, Р. О. Белоусов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 3(399). – С. 130-139. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_130. – EDN GLLRRJ.
5. Корчагина, А. А. Конопля в качестве перспективного сырья для химии и биотехнологии (обзор) / А. А. Корчагина // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию юбилею академика Саковича Г. В., г. Бийск, 19–21 мая 2021 года. – г. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2021. – С. 134-139. – DOI 10.25699/tohbip.2021.24.24.012. – EDN VERHMD.
6. Ушаков А. В. Размол волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации в целлюлозно-бумажном производстве: дис. ... канд. тех. наук: 05.21.03. – СибГУ им. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, 2022 – 173 с.
7. Патент № 2761545 С1 Российская Федерация, МПК D21D 1/30, B02C 7/00. размалывающая гарнитура: № 2021112036: заявл. 26.04.2021: опубл. 09.12.2021 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, В. А. Кожухов, А. В. Ушаков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева». – EDN FGFMFA.

8. Borodulina, S., Motamedian, H.R., & Kulachenko, A. (2016). Effect of fiber and bond strength variations on the tensile stiffness and strength of fiber networks. *International Journal of Solids and Structures*.
9. Ушаков, А. В. Влияние межножевого зазора на размол волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации / А. В. Ушаков, В. А. Кожухов, К. А. Хохлов // Экология, рациональное природопользование и охрана окружающей среды : Сборник статей по материалам X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, Лесосибирск, 23–25 декабря 2020 года. – г. Лесосибирск: Лесосибирский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2020. – С. 153-155. – EDN KQYQQJ.

OBTAINING ECO-FRIENDLY PAPER PRODUCTS FROM TECHNICAL HEMP

A. Karelina*, Y. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov, K. A. Khokhlov
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk
**E-mail: karelina.alexandra@mail.ru*

Abstract. Technical hemp as a raw material for pulp and paper production has a number of advantages. One advantage is that hemp produces a high yield of fiber per hectare compared to traditional sources such as wood. In addition, hemp fibers are stronger and more durable than wood fibers, allowing for higher quality paper products. Hemp is also a fast growing crop that can be grown at a lower cost and with less environmental impact than traditional wood raw materials.

Keywords: technical hemp, refining, paper products, ecology.

References

1. Abd El-Sayed, E.S., El-Sakhawy, M.A., & El-Sakhawy, M.A. (2020). Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35, 215 - 230.
2. Markova, V. N. Chinese paper: the history of appearance and production technology / V. N. Markova, M. O. Surina // *Young researcher of the Don*. - 2017. - No. 3(6). - S. 138-140. – EDN YUHDRD.
3. Karche, T., & Singh, M.R. (2019). The application of hemp (*Cannabissativa* L.) for a green economy: a review. *Turkish Journal of Botany*, 43, 710-723.
4. Lavrent'eva, E. P. Deep processing of bast fibers - the way to the revival of national traditions of Russia / E. P. Lavrent'eva, O. K. Sanina, R. O. Belousov // *News of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. - 2022. - No. 3 (399). - P. 130-139. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_130. – EDN GLLRJ.
5. Korchagina, A. A. Hemp as a promising raw material for chemistry and biotechnology (review) / A. A. Korchagina // *Technologies and equipment for the chemical, biotechnological and food industries: Proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young people scientists with international participation, dedicated to the 90th anniversary of Academician Sakovich G.V., Biysk, May 19–21, 2021*. - Biysk: Altai State Technical University. I.I. Polzunova, 2021. - S. 134-139. – DOI 10.25699/tohbipp.2021.24.24.012. – EDN VERHMD.
6. Ushakov A. V. Refining of fibrous semi-finished products of high consistency in the pulp and paper industry: PhD thesis: 05.21.03. – Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 2022 - 173 p.
7. Patent No. 2761545 C1 Russian Federation, IPC D21D 1/30, B02C 7/00. refining set : no. 2021112036 : dec. 04/26/2021 : publ. 09.12.2021 / Y. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, V. A.

- Kozhukhov, A. V. Ushakov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology". – EDN FGFMFA.
8. Borodulina, S., Motamedian, H.R., & Kulachenko, A. (2016). Effect of fiber and bond strength variations on the tensile stiffness and strength of fiber networks. *International Journal of Solids and Structures*.
 9. Ushakov, A. V., Kozhukhov, V. A., and Khokhlov, K. A., Influence of the knife gap on the refining of fibrous semi-finished products of high consistency, Ecology, environmental management and environmental protection: Collection of articles based on materials X All-Russian scientific and practical conference with international participation of schoolchildren, students, graduate students and young scientists, Lesosibirsk, December 23–25, 2020. - Lesosibirsk: Lesosibirsk branch of the federal state budgetary educational institution of higher education "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", 2020. – P. 153-155. -EDN KQYQQJ.

ОСОБЕННОСТИ РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАРНИТУРЫ С РАЗЛИЧНЫМИ РИСУНКАМИ НОЖЕВОЙ ПОЛОСТИ

А. А. Петрова*, И. А. Воронин, Ю. Д. Алашкевич

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева,
г. Красноярск

*E-mail: www.sss19951@gmail.com

Аннотация. Постоянное улучшение процесса размола связано с высокими требованиями к качеству готовой продукции, необходимостью экономии сырьевых ресурсов и снижением энергозатрат в производстве целлюлозно-бумажных изделий. В данной статье рассматривается влияние рисунка комбинированной гарнитуры дисковой мельницы на размол беленой сульфатной хвойной целлюлозы. Для проведения размола использовалась гарнитура с волнообразной межножевой полостью, для сравнения были использованы рисунки ножевой поверхности с прямолинейными однонаправленными и прямолинейными разнонаправленными ножами. В результате исследований были получены и проанализированы основные бумагообразующие свойства волокнистого полуфабриката и физико-механические характеристики готовых изделий.

Ключевые слова: дисковая мельница, размалывающая гарнитура, размол, волокнистый полуфабрикат.

Процесс размола волокнистых полуфабрикатов является важнейшей и наиболее энергоемкой операцией целлюлозно-бумажного производства. Процессу размола посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов [1-3]. Постоянное совершенствование технологий производства и применение эффективных методов размола обусловлено постоянно растущими требованиями к продукции целлюлозно-бумажного производства. Улучшение качества готовой продукции способствует увеличению ее долговечности, а модернизация технологических процессов позволяет уменьшить производственные затраты на изготовление.

В процессе исследований было проведено сравнение влияния рисунков ножевой поверхности комбинированной гарнитуры дисковой мельницы, спроектированной и изготовленной на кафедре машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного университета науки и технологий имени М. Ф. Решетнева [4], на бумагообразующие и физико-механические показатели готовых бумажных отливок. Размол производился на гарнитурах, собранной в волнообразном исполнении с прямолинейными однонаправленными и прямолинейными разнонаправленными ножами (рис. 1).

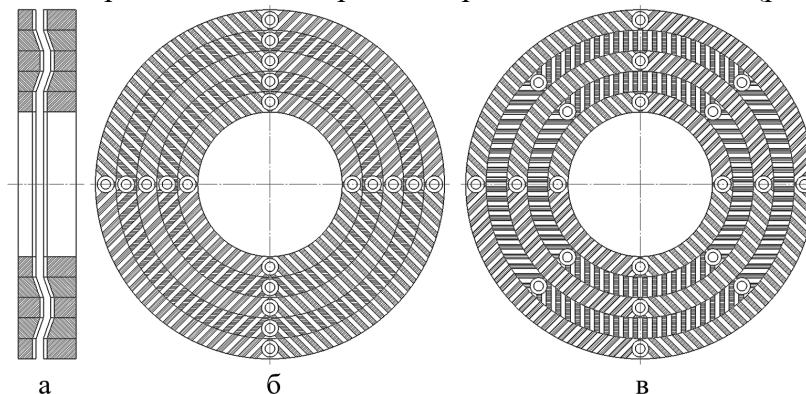


Рисунок 1 – Комбинированная гарнитура дисковой мельницы: *а* – волнообразная полость размола (диаметральное сечение); *б* – прямолинейные однонаправленные ножи (вид сверху); *в* – прямолинейные разнонаправленные ножи (вид сверху)

Размол производился при концентрации массы 2%, межножевом зазоре 0,2 мм и частоте вращения ротора 2000 об/мин на полупромышленной дисковой мельнице. В качестве сырья использовалась продукция производства предприятия ОАО «Группа «Илим» – беленая сульфатная хвойная целлюлоза.

Для определения влияния рисунка ножевой поверхности на процесс размола были исследованы отдельные бумагообразующие свойства волокнистой массы, такие как прирост степени помола волокнистой массы и длина волокна.

На рисунке 2 представлен график зависимости степени помола от времени размола. Как видно из рисунка, качественные зависимости имеют схожий линейный характер, однако для рисунка гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами требуется большее количество времени при достижении степени помола 75 °ШР, а, следовательно, можно предполагать, что количество затрачиваемой на размол энергии увеличивается.

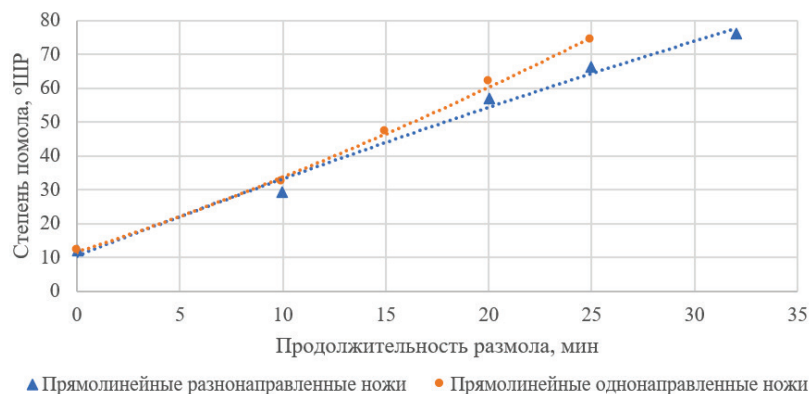


Рисунок 2 – Зависимость степени помола от времени размола

На рисунке 3 изображена зависимость длины волокна от степени помола волокнистой массы. Как видно из графика, воздействие на волокнистый полуфабрикат у гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами носит характер рубки. Причем резкое укорочение волокон начинается с 30 °ШР и продолжается до окончания размола (75 °ШР), укорочение волокна составляет 1,45 мм. Зависимость имеет параболический характер (обратная парабола).

Зависимость для гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами имеет линейный характер, а длина волокна при достижении степени помола 75 °ШР уменьшается на 0,75 мм.

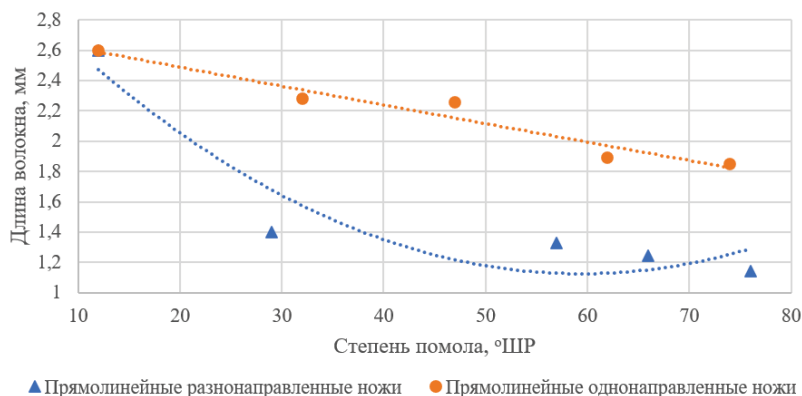


Рисунок 3 – Зависимость длины волокна от степени помола

На рисунке 4 представлена зависимость разрывной длины от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что обе зависимости носят схожий параболический характер, однако показатель разрывной длины для гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами имеет большие количественные значения. Повышение значения

данного показателя сохраняется до 66 °ШР, а у гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами – до 75 °ШР.

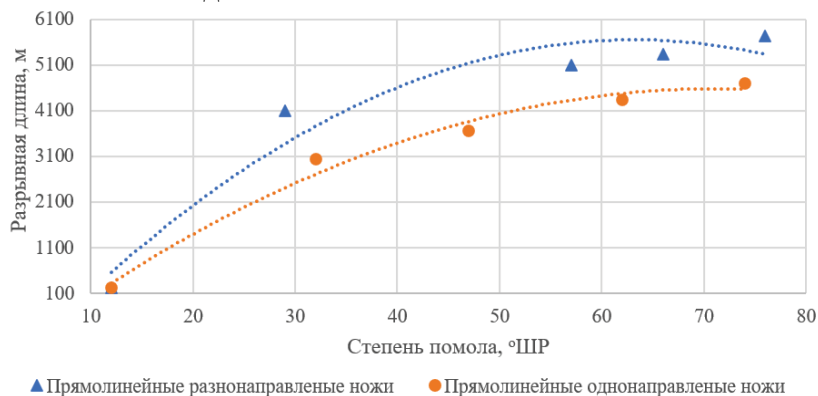


Рисунок 4 – Зависимость разрывной длины от степени помола

На рисунке 5 представлена зависимость сопротивления раздиранию от степени помола волокнистой массы. Как видно из рисунка, обе зависимости носят схожий параболический характер. Повышение показателя сопротивления раздиранию для гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами продолжается до достижения степени помола 55 °ШР, для гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами – до 45 °ШР, после чего, при повышении степени помола, данный показатель начинает снижаться в обоих случаях. Большие количественные значения носит зависимость с прямолинейными однонаправленными ножами.

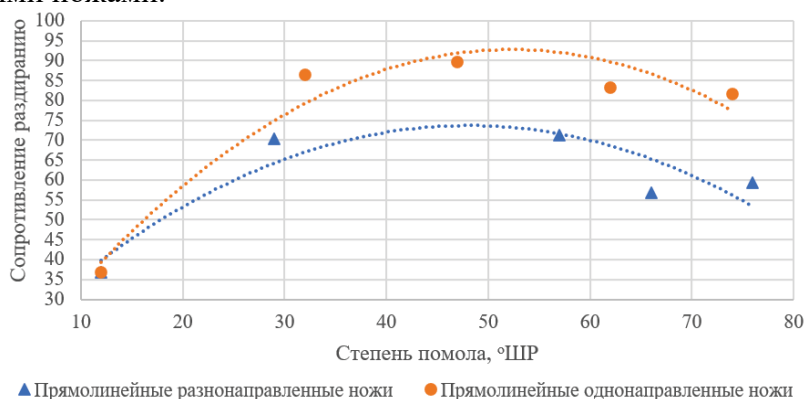


Рисунок 5 – Зависимость сопротивления раздиранию от степени помола

На рисунке 6 представлена зависимость числа двойных перегибов от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что при использовании гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами повышение показателя сохраняется с ростом степени помола до 75 °ШР и достигает значения 668 шт., а зависимость носит характер обратной параболы.

При использовании гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами показатель числа двойных перегибов повышается до 47 шт. при достижении степени помола 57 °ШР, при дальнейшем росте степени помола показатель снижается. Зависимость носит характер, близкий к параболическому.

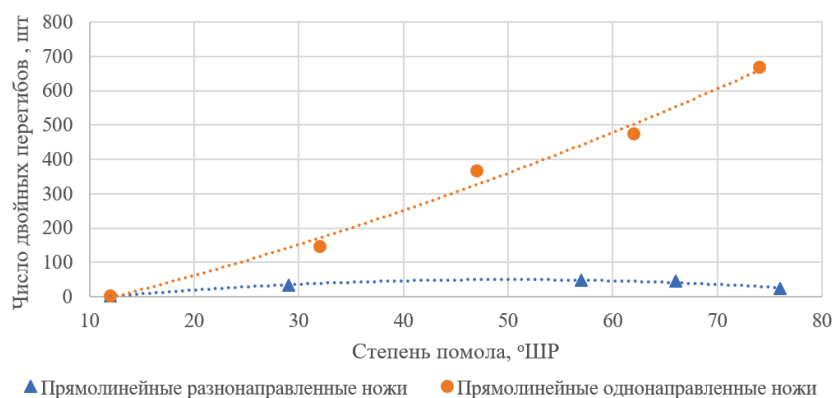


Рисунок 6 – Зависимость числа двойных перегибов от степени помола

На рисунке 7 представлена зависимость сопротивления продавливанию от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что рост показателя при использовании прямолинейных разнонаправленных ножей продолжается с ростом степени помола до 55 °ШР, при дальнейшем повышении степени помола данный показатель начинает снижаться. В случае использования гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами рост показателя сопротивления продавливанию продолжается до окончания размола (75 °ШР). Обе зависимости носят параболический характер.

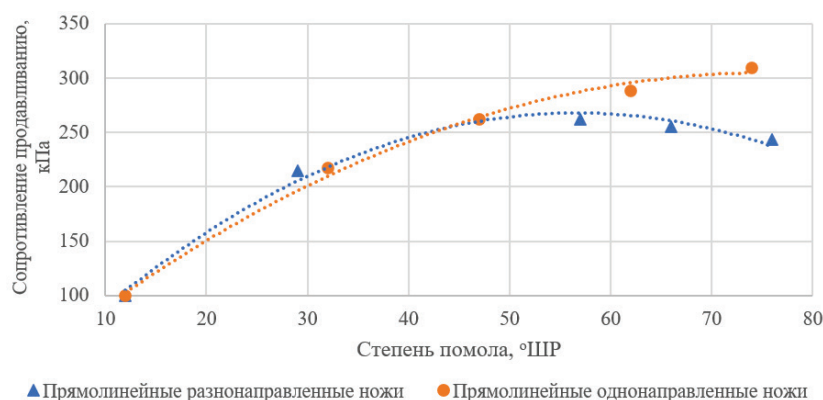


Рисунок 7 – Зависимость сопротивления продавливанию от степени помола

Таким образом, в ходе исследований были определены отдельные бумагообразующие свойства волокнистой массы и основные физико-механические характеристики готовых бумажных отливок при использовании комбинированной гарнитуры дисковой мельницы в волнообразном исполнении с прямолинейными однонаправленными и прямолинейными разнонаправленными ножами.

Было определено, что для гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами требуется меньшее количество времени при достижении степени помола волокнистой массы 75 °ШР в сравнении с конструкцией гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами. При исследовании показателя длины волокна выяснилось, что гарнитура с прямолинейными однонаправленными ножами оказывает меньшее укорачивающее воздействие на волокна в сравнении с прямолинейными разнонаправленными ножами, а разница данного показателя при достижении степени помола 75 °ШР составляет 0,7 мм.

Таким образом, физико-механические характеристики, полученные при размоле волокнистой массы на указанных конструкциях гарнитур, имеют следующие значения: для гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами наблюдается большее значение показателя разрывной длины в сравнении с конструкцией гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами. Что касается показателей сопротивления продавливанию,

сопротивления раздиранию и числа двойных перегибов, они имеют более высокие значения для гарнитуры с прямолинейными однонаправленными ножами в сравнении с конструкцией гарнитуры с прямолинейными разнонаправленными ножами.

Список литературы

1. Алашкевич, Ю. Д. Влияние рисунка гарнитуры на процесс размол волокнистых полуфабрикатов: Монография в 2-х частях. Часть 1 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. А. Набиева. – г. Красноярск: СибГТУ, 2010. – 168 с.
2. Сутерлэнд М. Размол массы в дисковой мельнице // Труды технической ассоциации. – Нью-Йорк, 1936.– Т. 19.– С. 175-187
3. Видуэлл Г., Сутерлэнд М. Основные параметры размол целлюлозы в дисковом рафинере// Труды технической ассоциации. – Нью-Йорк, 1936.– Т. 19.– С. 162-175
4. Патент № 2314380 С1 Российская Федерация, МПК D21D 1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура дисковой мельницы: № 2006121708/12 : заявл. 19.06.2006 : опубл. 10.01.2008 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, М. А. Карбышев [и др.]; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».

PECULIARITIES OF GRINDING FIBROUS MASS WHEN USING A COMBINED SET WITH DIFFERENT PATTERNS OF THE KNIFE CAVITY

A. A. Petrova*, I. A. Voronin, Yu. D. Alashkevich

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

**E-mail: www.sss19951@gmail.com*

Abstract. The constant improvement of the grinding process is associated with high requirements for the quality of the finished product, the need to save raw materials and reduce energy costs in the production of pulp and paper products. This article discusses the influence of the design of the combined set of a disk mill on the refining of bleached sulphate softwood pulp. For grinding, a set with a wavy inter-knife cavity was used; for comparison, drawings of the knife surface with straight unidirectional and straight multidirectional knives were used. As a result of the research, the main paper-forming properties of the fibrous semi-finished product and the physical and mechanical characteristics of the finished products were obtained and analyzed.

Keywords: disc mill grinding set, grinding, fibrous semi-finished product.

References

1. Alashkevich Yu.D. Vliyanie risunka garnitury na process razmola voloknistykh polufabrikatov: Monografiya v 2-h chastyah. CHast' 1 [Influence of the drawing of the headset on the process of grinding fibrous semi-finished products: Monograph in 2 parts. Part 1 YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, A.A. Nabieva]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2010. – 168 p. (in Russ.).
2. Suterlend M. Razmol massy v diskovoy mel'nice// Trudy tekhnicheskoy associacii. [Grinding the mass in a disk mill // Proceedings of the technical association.] - New York, 1936.– vol. 19.– pp. 175-187
3. Viduell G., Suterlend M. Osnovnye parametry razmola cellyulozy v diskovom rafinere// Trudy tekhnicheskoy associacii. [The main parameters of pulp milling in a disk refiner // Proceedings of the technical association.] New York, 1936, Vol. 19, pp162-175.
4. Alashkevich Yu. D., Kovalev V.I., Karbyshev M.A. [i dr.] Razmalyvayushchaya garnitura diskovoy mel'nitsy [Grinding set for disc mill] Patent RF no. 2314380 C1, 2008. (In Russian).

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ТОПИНАМБУРА

М. М. Ромашева, Е. Ю. Демьянцева, Р. А. Смит*

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: rita.romasheva@gmail.com*

Аннотация. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – инвазивный вид растений, произрастающий на территории Российской Федерации. На данный момент клубни используют для производства сиропов, витаминов и пищевой добавки – инулина. При этом стебли не утилизируют. В работе была исследована возможность получения порошковой целлюлозы из стеблей топинамбура.

В качестве сырья была выбрана вегетативная часть топинамбура, собранная в июне 2023 года. Из стеблей предварительно была получена химико-термомеханическая масса (ХТММ) методом экструзионной обработки, при температуре 150°C до и после предварительной экстракции дистиллированной водой при температуре 100°C. Порошковая целлюлоза была получена кислотным гидролизом с применением надуксусной кислоты. Проведен сравнительный анализ полученного продукта.

Ключевые слова: целлюлоза, экология, топинамбур, переработка отходов, *Helianthus tuberosus* L.

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) является ценной культурой для получения инулина, используемого в пищевой промышленности для получения фруктозы. В России на данный момент нет стабильного производства инулина из топинамбура [1], что позволяет выстроить безотходное производство полного цикла. Для производства сиропов используют только богатые витаминами, минералами и инулином клубни [2]. Стебли в таком производстве являются отходом, при этом использование их в качестве корма для скота не всегда является экономически целесообразным из-за расходов на перевозку и хранение. В то же время свежие стебли пригодны для получения волокнистого полуфабриката, так как содержание целлюлозы в растении может достигать 40 % [3].

В качестве сырья использовали стебли топинамбура, собранные в июне 2023 года в черте Санкт-Петербурга. В качестве делигнифицирующего агента был использован 10 % гидроксид натрия. Процесс делигнификации проводили при температуре 100°C в стационарных условиях в течение 120 минут до и после предварительной обработки сырья дистиллированной водой при температуре 100 °C также в течение 120 минут. Обработанные стебли подвергли переработке в одношнековом экструдере. Из волокнистого полуфабриката путём гидролиза надуксусной кислотой была получена порошковая целлюлоза [4].

Были определены следующие характеристики исходного сырья: влажность по ГОСТ 16932-93, содержание кислоторастворимого лигнина по Комарову, легкогидролизуемых веществ [5]. В полученных продуктах методом перманганатометрии было определено остаточное содержание лигнина [6], степень полимеризации – методом вискозиметрии в кадоксене, содержание целлюлозы по Кюршнеру [5].

Характеристика исходного сырья представлена на рисунке 1. Влажность исходного сырья составила 85-90 %.

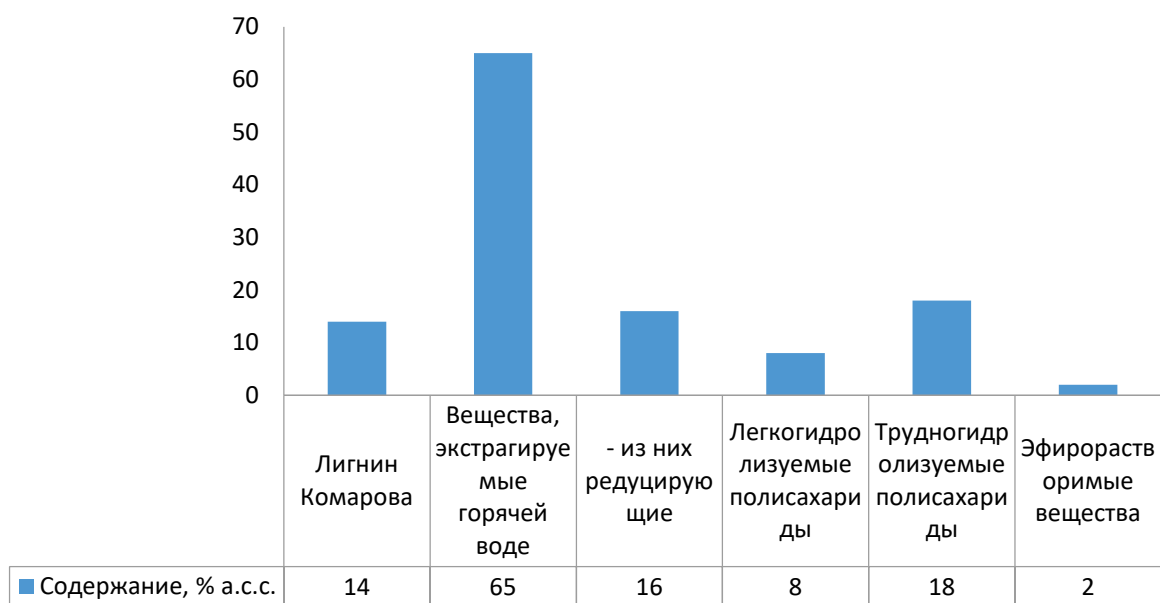


Рисунок 1 – Характеристика исходного сырья

Стебли топинамбура содержат малое количество кислоторастворимого лигнина по сравнению с березой (22%) и осиной (32,5%) [7], что даёт преимущество при производстве химико-термомеханической массы. Большое количество сахаров и иных редуцирующих веществ делает целесообразным производство дополнительно сахарного сиропа из стеблей.

Содержание лигнина в химико-термомеханической массе соответствовало 40 ед. Каппа. Предварительная экстракция за счет удаления водорастворимых легкогидролизуемых веществ и увеличения пористости способствовала ускорению диффузии делигнифицирующего агента, снижению содержания лигнина на 5 %. Выход целлюлозного полуфабриката при этом составил 37 %.

Полученный волокнистый полуфабрикат был подвергнут гидролитической деструкции в среде надуксусной кислоты. Предварительная обработка исходного сырья водой позволила повысить выход порошковой целлюлозы и уменьшить степень полимеризации за счет удаления легкогидролизуемых веществ. Характеристика порошковых целлюлоз представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика образцов порошковой целлюлозы [4]

МКЦ	Выход, % а.с.с	Степень полимеризации
С предварительной обработкой водой исходного сырья	50	190
Без предварительной обработки вдой исходного сырья	54	320

Согласно литературным источникам, степень полимеризации порошковых целлюлоз составляет от 1 до 500 [8]. По данному параметру полученный целлюлозный материал соответствует порошковым целлюлозам.

Таким образом, показана возможность получения из вегетативной части топинамбура волокнистых полуфабрикатов с перспективой их переработки в порошковую целлюлозу.

Список литературы

1. Зелепукин Ю. И., Яньшин В. П., Швецов Н. Н., Зелепукин С. Ю. Производство сахаросодержащих сиропов // Сахар. – № 1. – 2022. – С. 32-36.

2. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Мандрыка Е. А., Лазунин Ю. Т., Топинамбур – уникальное растительное сырье // Пищевая промышленность, 2015. – С. 16-20.
3. Каримова С. С., Кедельбаев Б. Ш., Лаханова К. М. Исследования химического состава твёрдого остатка топинамбура // Научные исследования, открытия и развитие технологий в современной науке. Сборник материалов XX Международной очно-заочной научно-практической конференции. – Т. 2. – 2019. – С. 239-241.
4. Способ получения микрокристаллической целлюлозы: пат. RU 2178033, МПК D21C 1/04, C08B 15/00. № 2006126226; заявл. 04.08.1999; опубл. 10.01.2002. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2312110C1_20071210 (дата обращения: 06.09.2023).
5. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1991. – 320 с.
6. ГОСТ 10070-74 Целлюлоза и полуцеллюлоза, Москва, 1974.
7. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. – 2-е изд. – СПб., 2021. – 624 с.
8. Просвирников Д. Б., Ахметшин И. Р., Гайнуллина Д. Ш., Просвирникова Т. Д. Способы получения и области применения порошковой целлюлозы // Вестник Казанского технологического университета, 2014. С. 109-112.

PRODUCTION OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE FROM THE VEGETATIVE PART OF JERUSALEM ARTICHOKE

M. M. Romasheva*, E. Yu. Demyantseva, R. A. Smith

¹*Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg*

*E-mail: rita.romasheva@gmail.com

Abstract. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is an invasive plant species that grows on the territory of the Russian Federation. At the moment, tubers are used for the production of syrups, vitamins and a food additive – inulin. Meanwhile stems are not recycled. The possibility of obtaining powdered cellulose from Jerusalem artichoke stems is considered.

The vegetative part of Jerusalem artichoke harvested in June 2023 was chosen as the raw material. A chemical-thermomechanical mass was previously obtained from the stems by extrusion processing at a temperature of 100°C, and pre-extraction with distilled water at a temperature of 100°C was also carried out. Powdered cellulose was obtained by acid hydrolysis using peracetic acid. A comparative analysis of the resulting product is presented.

Keywords: cellulose, ecology, Jerusalem artichoke, recycling, *Helianthus tuberosus* L.

References

1. Zelepukin. Yu. I, Yanshin V. P., Shvetsov N. N., Zelepukin S. Yu., *Proizvodstvo saharosoderzhashchih siropov* [Production of sugar-containing syrups], *Sahar* [Sugar], No. 1, 2022, pp. 32-36. (In Russian).
2. Starovojtov V. I., Starovojtova O. A., Zvyagincev P. S., Mandryka E. A., Lazunin YU. T., *Topinambur - unikal'noe rastitel'noe syre* [Jerusalem Artichoke - a unique vegetable raw material], *Pishchevaya promyshlennost* [Food industry], 2015, p 16-20 (In Russian).
3. Karimova S. S., Kedelbaev B. Sh., Lakhanova K. M. *Issledovaniya himicheskogo sostava tvèrdogo ostatka topinambura* [Studies of the chemical composition of the jerusalem artichoke residue]// *Nauchnye issledovaniya, otkrytiya i razvitie tekhnologij v sovremennoj nauke sbornik materialov XX-oy mezhdunarodnoj ochno-zaochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Scientific research, discoveries and development of technologies in modern science collection of materials of the XX-th international correspondence scientific and practical conference]. Volume 2. 2019, pp. 239-241 (In Russian).

4. Method of producing microcrystalline cellulose: pat. RU 2178033, IPC D21C 1/04, From 08 To 15/00. No. 2006126226; application 04.08.1999; publ. 10.01.2002. URL: https://yandex.ru/patents/doc / RU2312110C1_20071210 (accessed 06.09.2023) (In Russian).
5. Obolenskaya A. V., Yelnitskaya 3. P., Leonovich A. A. *Laboratornye raboty po himii drevesiny i cellyulozy: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: a textbook for universities]. M.: "Ecology". 1991. 320 p (In Russian).
6. GOST 10070-74 Cellyuloza i polucellyuloza, Moscow, 1974 (In Russian).
7. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V., *Himiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]: 2nd ed. ispr. SPb., 2021. 624 p.
8. Prosvirnikov D. B., Akhmetshin I. R., Gainullina D. Sh., Prosvirnikov T. D., *Sposoby polucheniya i oblasti primeneniya poroshkovoy cellyulozy* [Methods of obtaining and applications of powdered cellulose]// *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, p. 109-112.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНА ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОДОАБСОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

И. В. Лаврентьев

*Белоярская фабрика асбокартонных изделий (БФАИ),
Свердловская обл., п. Белоярский
E-mail: supersmesi@mail.ru*

Аннотация. Научная работа выполняется в лаборатории Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД и опытно-промышленном отделе Белоярской фабрики асбокартонных изделий (ООО «БФАИ»). Рост потребления одноразовых санитарно-гигиенических изделий (памперсы, пеленки, простыни, прокладки) требует развития науки и производства целлюлозных материалов для их изготовления, так называемой «флафф-целлюлозы». Исследовано целлюлозное волокно различных российских предприятий и его подготовка для получения флафф-целлюлозы и одноразовых санитарно-гигиенических изделий. На основе результатов планируется продолжение исследования одноразовых изделий с внедрением в ООО «БФАИ». Ожидается высокая экономическая эффективность выполненной работы.

Ключевые слова: целлюлоза, целлюлозноволокнистый полуфабрикат, волокно, флафф-целлюлоза, сульфатная варка, санитарно-гигиенические изделия, целлюлозный композит, физико-механические свойства, размол, помол, отливка.

Для производства флафф-целлюлозы практическую значимость представляют целлюлозноволокнистые полуфабрикаты, выпускаемые отечественными целлюлозно-бумажными предприятиями по ГОСТ 9571-89 (Целлюлоза сульфатная беленая из хвойной древесины Технические условия) и ГОСТ 6501-82 (Целлюлоза сульфатная небеленая из хвойной древесины Технические условия). Кроме них, для исследования выбран волокнистый полуфабрикат (ВП) из осины, являющийся перспективным для этой цели.

Источником полуфабрикатов (волокон) является древесина хвойных и лиственных пород. Волокно из древесины выделяют разными промышленными способами, среди которых доминирующим является сульфатный. Волокно выделяется в виде технической целлюлозы с различным выходом от массы древесины и остаточным содержанием химических компонентов, сопутствующих главному компоненту – целлюлозе. Выход (глубина деструкции волокна) и содержание остаточных компонентов древесины (главным образом, лигнина) являются критериями классификации технической целлюлозы [1-2].

Целью работы стало исследование целлюлозноволокнистых полуфабрикатов для разработки технологии изготовления впитывающего композитного материала: флафф-целлюлозы. Основу научной работы составляют результаты исследования ряда целлюлозных полуфабрикатов (волокон), влияния их на впитывающие и физико-механические свойства флафф-целлюлозы.

Целевым продуктом, полученным в результате исследования, является флафф-целлюлоза. В переводе с английского «флафф» – пушистый, рыхлый. При получении из целлюлозы материалы называли «fluff pulp» – распушенная целлюлоза (вспушенная целлюлоза). Из распушенной целлюлозы получали «воздушно-укладываемую бумагу», что соответствует современному «сухому способу» формования бумаги, которая используется для производства высоковпитывающих гигиенических изделий: подгузников, прокладок, полотенец, простыней и др. По сравнению с обычной бумагой, эта бумага обладает лучшими характеристиками объема, пористости, мягкости, прочности и высокой впитываемостью воды.

Для исследования выбрана: а) сульфатная беленая целлюлоза из хвойной древесины ОАО «Архангельский ЦБК»; б) сульфатная беленая целлюлоза из хвойной древесины (филиал ООО Группа «Илим» в г. Усть-Илимске. Целлюлоза была исследована по стандартным методикам и подтверждено соответствие техническим условиям [3-4].

Расширенное исследование волокна целлюлозы проведено микроскопическими методами анализа, которые дали следующие результаты [5]:

- а) степень помола целлюлозных волокон 16 °ШР;
- б) средняя длина волокна 2,24 мм; межволоконные силы связи 0,59 МПа;
- в) плотность 0,51 г/см³;
- г) нулевая разрывная длина 11,1 км

Для получения целлюлозного композита – флафф-целлюлозы – была исследована также целлюлоза сульфатная небеленая ООО «Марийский ЦБК», завода «Питкяранта» и полуфабрикат из осины лабораторной отбелки пероксидом водорода [6-7]. Данные исследования свойств образцов целлюлозы в качестве основы для флафф-материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства образцов целлюлозы в качестве основы для получения впитывающего целлюлозного композита (флафф-целлюлозы), массой 760 г/м²

№ п/п	Наименование волокна	Прочность на разрыв, Н	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Влаго-впитываемость, г/г	Белизна, %
1	Сульфатная хвойная беленая целлюлоза	160	1,5	500	4	86
2	Сульфатная хвойная небеленая целлюлоза пероксидной отбелки	250	1,5	500	4	72
3	Волокнистый полуфабрикат из осины пероксидной отбелки	86	1,3	580	13	67

Анализ данных таблицы 1 позволяет обосновать виды волокна для основы флафф-целлюлозы. Лучшими свойствами по впитываемости воды обладает волокнистый полуфабрикат перекисной отбелки из осины. В то же время он имеет низкую механическую прочность и белизну. Но в композиции волокна он рекомендуется, так как усиливает водопоглотительную способность. Лучшими свойствами по прочности и белизне отличаются образцы из сульфатной беленой и небеленой целлюлозы перекисной отбелки. Они рекомендуются для использования в производстве всех видов высоковпитывающих гигиенических изделий.

Образцы флафф-материалов, полученные из образцов флафф-целлюлозы (разработанной композиции, таблица 1), показаны на рисунке 1. Распушение образцов проводили на лабораторной ворсовальной установке. Испытание образцов флафф-материалов, представленных на рисунке 1, показало их высокую впитываемость воды, в пределах 17-19 г воды на 1 г материала. К такому уровню впитываемости воды относятся супервпитывающие материалы [8-10].

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие заключительные положения:

1. Целлюлоза сульфатная беленая из хвойных пород древесины Архангельского ЦБК и Усть-Илимского ЦБК отвечая требованиям ГОСТ 9571-89, отличается показателями средней длины волокна, фракционным составом по длине волокна, а, следовательно, механической прочностью. Эти показатели существенно лучше у целлюлозы Архангельского ЦБК. Учитывая высокие требования к данным показателям в производстве флафф-целлюлозы, для ее производства рекомендуется использование целлюлозы Архангельского ЦБК.



Рисунок 1 – Образцы флафф-материалов из отливок разработанных композиций

2. Целлюлоза сульфатная небеленая Марийского ЦБК и завода «Питкяранта» отличается низкой белизной. Однако исследование пероксидной отбелики целлюлозы показало возможность ее белить до минимально требуемой белизны 72 % с экономически меньшими затратами в сравнении с традиционной многоступенчатой отбелкой хлорсодержащими соединениями. Данные результаты позволяют рекомендовать белить небеленую целлюлозу и использовать для производства флафф-целлюлозы. Такой вариант обеспечивает качество материалов и значительно уменьшает себестоимость производства (до 10 %).

3. Волокнистый полуфабрикат из осины отличается прочностью, жесткостью и белизной при пероксидном отбеливании и подходит для производства флафф-целлюлозы. Такое волокно является наиболее экономичным, но требует постройки завода по его

производству. Этот вариант рекомендуется на перспективу, так как ожидаемое снижение себестоимости составляет 30-50 %.

4. Сульфатная беленая целлюлоза, сульфатная небеленая целлюлоза с пероксидной отбелкой, небеленый и беленый осиновый полуфабрикат использованы при получении основы флафф-целлюлозы.

5. Основа флафф-целлюлозы (целлюлозный композит) получена с требуемыми исходными свойствами по массе 1 м² (760 г), толщине (1,5 мм), механической прочности (160 Н), повышенной впитываемости по воде (5,0-13,0 г воды/г основы). Из основы получены флафф-материалы по впитываемости воды в пределах 17-19 г/г, которые полностью удовлетворяют требованиям лучших образцов.

6. Увеличение степени помола целлюлозы значительно снижает качество целлюлозного композита, и тем больше, чем выше степень помола; впитываемость воды с повышением степени помола целлюлозы несколько повышается, но до степени помола 18-22 °ШР; эта степень помола рекомендуется для получения композита, умеренное повышение СП (до 20-22 °ШР) дает положительное сочетание всех основных свойств композиту.

7. В исследовании влияния сушки на свойства целлюлозного композита из хвойной и лиственной целлюлозы в интервале температуры 95-50 °С установлено, что впитываемость воды больше в пределах температуры 80-95 °С при приемлемых показателях прочности, толщины и плотности композита.

8. Продолжительность сушки на свойства целлюлозного композита показывает, что степень оказывает определяющее влияние на сушку; учет всех установленных значений факторов технологии позволяет получать высококачественный и экономичный композит при сушке в пределах 12-17 мин, в условиях температуры 95 °С и добавках лиственной целлюлозы 50-70 % к массе хвойной целлюлозы.

9. Контактная и конвективная сушка на свойства целлюлозного композита влияют существенно. Конвективная сушка позволяет увеличивать, при всех равных условиях, впитывание воды примерно на 4 г/г. При этом почти в 3 раза увеличивается толщина и плотность композита, а время сушки возрастает многократно. Композит отличается «вялостью» и «мягкостью»; свойства являются положительными, и их следует обеспечивать в бумагоделательной технологии.

10. Результаты исследования позволяют решать задачу организации производства флафф-материалов с высокой рентабельностью и экологической безопасностью.

Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы / Осипов П. С. и др. / ВНИИБ. – Санкт-Петербург, 2002. – 420 с.
2. Комплексная химическая переработка древесины: учебник для вузов / И. Н. Ковернинский, В. И. Комаров, С. И. Третьяков, Н. И. Богданович, О. М. Соколов, Н. А. Кутакова, Л. И. Селянина, Е. В. Дьякова; под ред. проф. И. Н. Ковернинского. – 3-е изд., испр. и доп. – г. Архангельск: Изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2006. – 374 с.
3. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие / В. К. Дубовый [и др.]. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 230 с.
4. Дулькин Д. А., В. А. Спиридонов, В. И. Комаров, Л. А. Блинова. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2011. – 176 с.
5. Чухчин, Д. Г. Исследование суспензий целлюлозных волокон методом электронной микроскопии / Д. Г. Чухчин, Е. А. Варакин, Е. В. Новожилов, К. Ю. Терентьев,

- Е. В. Смирнов, Е. А. Белых // Физикохимия растительных полимеров: Матер. V Междун. конфер. – Архангельск, Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 2013. – С. 46-50.
6. Исследование бумаги на основе беленой химико-термомеханической массы из древесины тополя / И. Н. Ковернинский, К. Д. Прокопенко, В. К. Дубовый, Н. А. Криницин, Г. А. Суслов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. – Вып. 226. – С.162-170.
 7. Гораздова В. В., Дернова Е. В., Дулькин Д. А., Окулова Е. О. Влияние фибриллирования и укорочения волокон при размоле на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости целлюлозных материалов // Известия вузов. Лесной журнал, 2018 – №2. – С. 262-265.
 8. Аввакумова А., Баста Ю., Быстрова Т., Вакерберг Э., Дейк Г., Дельбро У., Лундгрин П., Пузырев С. Современная технология волокнистых полуфабрикатов. Том 1. Отбеливающие реагенты. Теоретические основы отбелики. – Санкт-Петербург, 1998. – 131 с.
 9. Исследование физико-механических свойств химико-термомеханической массы из древесины тополя / И. Н. Ковернинский // Химия растительного сырья, 2019. – №2. – С. 305-310.
 10. Исследование свойств волокна из древесины, полученного по технологии двухвинтовой экструзии для применения в производстве бумаги и картона / Прокопенко К. Д., Ковернинский И. Н. // Мат-лы Межд. научн.-техн. конф. молодых ученых, специалистов в области целлюлозно-бумажной промышленности, посвященной памяти В. А. Чуйко. – СПб, 2018. – С. 107-112.

STUDY OF FIBER PROPERTIES FOR USAGE IN CELLULOSE WATER-ABSORBING MATERIALS

I. V. Lavrentev

*Limited Liability Company «Beloyarskaya Factory Asbestos Cardboard Articles» (LLC «BFAI»),
Sverdlovsk oblast, Beloyarsky settlement
E-mail: supersmesi@mail.ru*

Abstract. Scientific research is conducted in the laboratory of the Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, and in the experimental industrial department of the Beloyarsk factory of asbestos cardboard products (LLC "BFAI"). The growing demand for disposable hygiene products (such as diapers, swaddles, liners, and sanitary pads) underscores the need for advancements in the science and manufacturing of cellulose-based materials. Cellulose fibres from various Russian enterprises have been studied, and their pretreatment for the production of disposable sanitary and hygiene products has been examined. Based on these findings, the subsequent phases of the study have been planned in collaboration with LLC "BFAI". Considerable economic benefits are anticipated from the results.

Keywords: cellulose, cellulose fibre semi-finished products, fibre, fluff pulp, kraft pulping, sanitary and hygiene products, cellulose composites, physicommechanical properties, grinding, refining, casting.

References

1. Osipov P. S. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnye materialy. VNIIB, Sankt-Peterburg. – 2002. – 420 s.
2. Koverninskiy I. N., Komarov V. I., Tretyakov S. I., Bogdanovich N. I., Sokolov O. M., Kutakova N. A., Selyanina L. I., D'yakova E. V. Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny: uchebnik dlya vuzov. – 3-e izd., ispr. i dop. – Arkhangelsk: Izd-vo Arkh. gos. tekhn. un-ta, 2006. – 374 s.

3. Duboviy V. K. Laboratornyy praktikum po tekhnologii bumagi i kartona. Ucheb. Posobie. SPb.: Izd-vo Politekh. Un-ta, 2006. 230 s.
4. Dulkan D. A., Spiridonov V. A., Komarov V. I., Blinova L. A. Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyaniye na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bumagi i kartona – Arkhangelsk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet, 2011. - 176s.
5. Chukhchin D. G., Varakin E. A., Novozhilov E. V., Terent'yev K. Yu., Smirnov E. V., Belykh E. A. Issledovaniye suspensions tsellyuloznykh volokon metodom elektronnoy mikroskopii. V sb. «Fizikokhimiya rastitel'nykh polimerov»: Mater. V mezhdun. konfer. – Arkhangelsk, In-t ekol. problem Severa UrO RAN, 2013. – S. 46–50.
6. Koverninskiy I. N., Prokopenko K. D., Duboviy V. K., Krinitsin N. A., Suslov G. A. Issledovaniye bumagi na osnove belenoy khimiko-termomekhanicheskoy massy iz drevesiny topolya. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. – 2019. – Vyp. 226. – S.162-170.
7. Gorazdova V. V., Dernova E. V., Dulkan D. A., Okulova E. O. Vliyaniye fibrillirovaniya i ukorocheniya volokon pri razmole na kharakteristiki prochnosti, deformativnosti i treshchinostoykosti tsellyuloznykh materialov. Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal, 2018. – №2. – S. 262-265.
8. Avvakumova A., Basta Yu., Bystrova T., Vakerberg E., Deyk G., Del'bro U., Lundgrin P., Puzyrev S. Sovremennaya tekhnologiya voloknistykh polufabrikatov. Tom 1. Otblivayushchiye reagenty. Teoreticheskiye osnovy otbelki. – Sankt-Peterburg, 1998. – 131 s.
9. Koverninskiy I. N. Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv khimiko-termomekhanicheskoy massy iz drevesiny topolya. Khimiya rastitel'nogo syr'ya. – 2019. – №2. – S. 305-310.
10. Prokopenko K. D., Koverninskiy I. N. Issledovaniye svoystv volokna iz drevesiny, poluchennogo po tekhnologii dvukhvintovoy ekstruzii dlya primeneniya v proizvodstve bumagi i kartona. Mat-ly Mezhd. nauchn.-tekhn. konf. molodykh uchenykh, spetsialistov v oblasti tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti, posvyashchennoy pamyati V. A. Chuyko. – SPb, 2018. – S.107-112.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ СТЕКЛЯННОГО И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ БУМАГОПОДОБНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ОЧИСТКИ

В. Н. Булычева*, И. В. Лаврентьев
*Белоярская фабрика асбокартонных изделий (БФАИ),
Свердловская обл., п. Белоярский
E-mail: bulycheva_vn@bfai.ru

Аннотация. Научная работа выполняется в лаборатории Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД и опытно-промышленном отделе Белоярской фабрики асбокартонных изделий (ООО «БФАИ»). Результаты работы планируется внедрить в ООО «БФАИ». Ожидается высокая экономическая эффективность.

Композиции различного волокна (целлюлозного, минерального) позволяют найти сочетание, которое значительно меняет свойства материала. Разработке новых композиций стеклянного и базальтового волокна, позволяющих получить высокоэффективные фильтровальные бумагоподобные материалы для очистки воздушных сред, посвящены исследования по данной теме.

Ключевые слова: асбест, стеклянное волокно, базальтовое волокно, композиция, бумагоподобный материал, бумагоделательная технология, фильтровальный материал, фильтрация, степень очистки.

Актуальность, цель работы и качество фильтровального материала. Фильтровальные материалы нашли широкое применение во многих отраслях промышленности и процессах, где требуется определенная степень очистки жидких и газовоздушных сред. Разнообразие форм и конструкций фильтров очень велико, но главным конструкционным элементом является фильтрующий материал. Несмотря на многочисленные имеющиеся материалы, научные исследования и разработка новых фильтрующих материалов для снижения материалоемкости, повышения эффективности очистки, улучшения физико-химических и экологических характеристик продолжается [1-2].

Целью научной работы является исследование композиций стеклянного и базальтового волокна для бумагоподобных фильтровальных материалов, в которых базальтовое волокно является структуро- и эффективность определяющим компонентом. В данной публикации рассматривается фильтровальный композит (картон) на основе целлюлозы и базальтового волокна для фильтрации жидких сред.

Из всех волокнистых полуфабрикатов, применяемых в производстве фильтровальных видов бумаги и картона, базальтовое волокно отличаются рядом преимуществ. Это химическая и биологическая инертность, повышенная термостойкость, хемостойкость, выраженная стабильность размерно-дисперсионных характеристик, умеренная эластичность, не способность к фибриллированию, низкая гидрофильность в гидрофильно-гидрофобном балансе, диспергируемость в нейтральной среде, сравнительно низкая стоимость производства. Учитывая указанные преимущества базальтового волокна перед целлюлозой, была составлена композиция фильтровального картона. Для верхнего слоя: целлюлоза вискозная с массовой долей α – целлюлозы 92–85 %, базальтовое волокно 8–15 %. Для нижнего слоя: базальтовое волокно – 30 %, хлопковая целлюлоза – 30 %, целлюлоза сульфатная беленая из хвойных пород древесины – 40 % [3-5].

Разные компоненты волокна (различной целлюлозы, базальтовое) придают различие свойств композиту. Для потребителей картона и для его производителей весьма важно соотношение компонентов картона. Правильный подбор компонентов производителями картона определяющим образом влияет на его пористость, жесткость, механическую прочность, а,

следовательно, на экономичность. Важна также оценка химического состава компонентов, которой определяется санитарно-гигиеническая и экологическая безопасность фильтров и фильтруемых сред.

Требования к качеству композита для фильтрования жидких сред представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к качеству композита для фильтрования жидких сред

№ п/п	Наименование показателя	Норма
1	Толщина, мм	2,8-3,3
2	Масса картона площадью 1м ² , г, не менее	1000
3	Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа (кгс/см ²), во влажном состоянии, не менее	40 (0,4)
4	Скорость прохождения воды, дм ³ /мин х м ² , не менее	37
5	Коэффициент проницаемости латексных частиц, %, размером 0,15±0,02 мкм, не более	0
6	Влажность, %, не более	10

Для поверхностного покрытия композита фильтровального применяется латекс ВХВД-65 в количестве 3 % к массе абсолютно сухого волокна, наносится с сеточной стороны картона. Покрытие должно быть ровным по всей поверхности листа, допускается отсутствие или неровности покрытия на кромках листа, но не более 10 мм от кромки.

Композит выпускается в листах размером 400 х 800 и 610 х 620 мм или же других размеров по согласованию с потребителем. Предельные отклонения по размерам не должны быть более 5 мм и по косине более 7 мм.

Характеристика исходного сырья и химикатов для фильтровального материала.
Характеристика исходного сырья и химикатов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика исходного сырья и химикатов

Сырье и химикаты	Наименование показателей
Целлюлоза хлопковая марки 35 ГОСТ 595-79	1. Массовая доля λ-целлюлозы, %, не менее 97,7 2. Смачиваемость, г, не менее 140 3. Массовая доля воды, %, не более 10 4. Массовая доля золы, % не более 0,2 5. Внешний вид – рыхлая масса белого цвета, не содержащая посторонних включений в виде щепы, песка, кусочков резины, металлических включений и других примесей не целлюлозного характера 6. Массовая доля остатка нерастворимого в серной кислоте, %, не более 0,2 7. Массовая доля волокнистой пыли, %, не более 2,0 8. Белизна, %, не менее 85 9. Динамическая вязкость Па 3,1-4,5
Целлюлоза сульфатная белёная из хвойных пород древесины ТУ 5411-003-80255613-2007 с изм.1-3	1. Массовая доля λ-целлюлозы, %, не менее 91 2. Разрывная длина, %, н/м 4100 3. Сорность – число соринок на 1м ² Площадь>0,06 до 1,5мм ² включительно н/более 300 Площадь>1,5 до 2,0мм ² включительно н/более 10 Соринки площадь>2,0мм ² не допускаются 4. Излом (число двойных перегибов) н/м 1200 5. Белизна, %, не менее 82 6. Масса 1м ² , г, 600-850 7. Влажность, %, не более 20

Сырье и химикаты	Наименование показателей
Целлюлоза вискозная СТО 05711131-007-2008	1. Массовая доля λ -целлюлозы, %, не менее 92 2. Динамическая вязкость, МПа·с 21,5-26,5 3. Массовая доля золы, %, н/б 0,12 4. Массовая доля кальция, %, н/б 0,0100 5. Массовая доля железа, %, н/б 0,0010 6. Массовая доля жиров и смол, %, н/б 0,30 7. Белизна, %, не менее 90,0 8. Сорность – число соринок шт./500г площадью свыше 0,06 до 2,0 мм ² включительно, н/б 100 9. Масса целлюлозы площадью 1 м ² , г, 600-700 10. Набухание, % 500-600 11. Влажность, % 6-10 12. Массовая доля мелкого волокна, % не более 10 13. Реакционная способность, % не более 80/11 14. Растворимость в 10% NaOH, % не более 9,3 15. Растворимость в 18% NaOH, % не более 5,2
Базальтовое волокно супертонкое ТУ 6-48-142-97	1. Диаметр волокон – 0,6 – 0,9 мкм 2. Плотность н/б 25 кг/м ³ 3. Включения н/б 5 % 4. Теплопроводность н/б 0,042 Вт / м·К 5. Влажность н/б 2,0
Латекс сополимера винилиденхлорида с винилхлоридом ВХВД-65 ТУ 2241-336-05763458-2002	1. Внешний вид: жидкость от белого до кремового цвета 2. Величина РН 8,5-10 3. Массовая доля сухого остатка, %, не менее 44 4. Поверхностное натяжение, мН/м, не более 52 5. Массовая доля хлора в сополимере, %, 63-68 6. Массовая доля алкилсульфоната в латексе, % 1,0-1,4 7. Массовая доля остаточных мономеров %, не более Винилхлорида 0,03 Винилиденхлорида 0,01 8. Температура разложения плёнки, °С, не менее 150

Технологические основы бумагоподобного фильтровального композита [6-8]. Роспуск целлюлозы вискозной и базальтового волокна для верхнего слоя происходит при смешенной загрузке в массном ролле ($V=5 \text{ м}^3$, 1 шт) на свежей воде. В процессе размолла в водной среде волокна целлюлозы и базальта подвергаются разнообразным механическим и гидродинамическим воздействиям: прямому режущему, раздавливающему и расчесывающему действию размалывающих органов, гидродинамическим ударам волокнистой суспензии о твёрдые поверхности размалывающих органов и стенки аппарата, срезающим напряжением в зазоре между ножами, а также трению друг о друга и о твёрдые поверхности аппарата. Под воздействием этих факторов волокна целлюлозы и базальта укорачиваются и расщепляются, происходит разрушение наружных оболочек волокна, т. е. начинается процесс фибриляции, сопровождающийся усиленным поглощением воды, набуханием и пластификацией волокон. После размолла в течение 10-15 мин в ролл добавляется сульфат алюминия, в количестве 10 % от базальтового волокна.

Размолотая масса самотёком поступает в композиционный бассейн верхнего технологического потока, оснащённый лопастной мешалкой, где разбавляется до концентрации 3,0 % свежей водой, непосредственно через рабочий ролл. Разбавленная и

перемешанная масса с помощью насоса перекачивается на машину, в рабочий бассейн, также оснащённый лопастным перемешивающим устройством. Из рабочего бассейна масса, с помощью насоса поступает на песочницу, где разбавляется до концентрации 1,5 % и подвергается очистке. Очищенная масса из песочницы поступает самотёком в напускное устройство верхнего сеточного стола. Выпуск массы на сеточный стол происходит при помощи напускного устройства. На верхнем сеточном столе происходит формирование и отлив верхнего слоя картонного полотна, одновременно производится интенсивное обезвоживание картонной массы. В регистражной части верхнего сеточного стола происходит формирование верхнего слоя картонного полотна из разбавленной волокнистой суспензии и удаление из нее большей части воды под давлением напора массы на сетке, а также под действием вакуума, от отсасывающих ящиков. Скорость обезвоживания картонного полотна на регистражной части снижается по мере повышения сухости полотна. Дальнейшее обезвоживание верхнего слоя картонного полотна ведется принудительным способом под воздействием вакуума на отсасывающих ящиках. Сухость верхнего слоя картонного полотна после отсасывающих ящиков достигает 10-12%.

Приготовление массы для нижнего слоя картона производится также в массных роллах РМВ. Нижний слой картона состоит из базальтового волокна, целлюлозы хлопковой и целлюлозы белёной из хвойных пород древесины. Базальт загружается в ролл и в водной среде распускается, затем базальтовая суспензия самотёком отпускается в композиционный бассейн нижнего слоя. Целлюлоза хлопковая загружается в ролл РМВ, где в водной среде подвергается роспуску и рубке при полной нагрузке ножевого барабана, до степени помола 15-16 °ШР, а затем самотёком поступает в композиционный бассейн нижнего слоя. Целлюлоза белёная из хвойных пород древесины загружается в ролл РМВ и в водной среде подвергается размолу, а затем самотёком поступает в композиционный бассейн нижнего слоя.

В композиционном бассейне нижнего слоя происходит составление композиции, т. е. базальт, целлюлоза хлопковая и целлюлоза белёная перемешиваются и разбавляются водой непосредственно через роллы, в которых происходил размол, до концентрации 3,0 %. Перемешивание массы в композиционном бассейне производится циркуляционным устройством марки ЦУ-09. После перемешивания всех компонентов, составляющих нижний слой картона, масса с концентрацией 3,0 % с помощью насоса перекачивается в промежуточный накопительный бассейн, также оснащённый циркуляционным устройством марки ЦУ-09, где разбавляется оборотной водой до концентрации 2,5 %, а из него происходит непосредственная перекачка готовой массы в машинный (рабочий) бассейн.

В рабочем бассейне масса постоянно перемешивается с помощью лопастного устройства, из бассейна масса насосом подаётся на бак постоянного уровня массы БПУ, откуда самотёком поступает на песочницу. Одновременно с этим процессом происходит поступление массы из рабочего бассейна на песочницу при помощи черпаков, установленных на черпальном колесе непосредственно в рабочем бассейне.

На песочнице масса разбавляется оборотной водой из бака постоянного уровня оборотной воды до концентрации – 1,5 % и подвергается очистке от песка. Очищенная масса поступает в напускное устройство нижнего сеточного стола КДМ с концентрацией 1,45-1,55 %, представляющее собой напорный ящик открытого типа с разгонным валиком, установленным внутри, который предотвращает осаждение массы, а также равномерно распределяет все компоненты, входящие в суспензию.

Подвод массы к напускному устройству осуществляется через разветвленный трубопровод. Выпуск массы на сеточный стол происходит при помощи напускного устройства типа подпорной линейки с фартуком и регулируемой наклонной линейки. Масса подается на сеточный стол бумагоделательной машины, где происходит непрерывное формирование полотна и удаление из него воды через ячейки сетки; на грудной доске за счет свободного стекания воды, на регистровых валиках, за счет вращающегося их действия и силы тяжести массы на сетку. А когда вода не отбирается естественным путем, то она принудительно

удаляется через отсасывающие ящики путем создания разрежения (вакуума) на отсасывающих ящиках и гауч-вале.

Формирование, отлив и частичное обезвоживание нижнего слоя картона происходит в регистрающей части сеточного стола, состоящей из регистровых валиков.

На нижний слой картонного полотна, прошедшего регистрающую часть нижнего сеточного стола, накладывается верхний слой картонного полотна с верхнего сеточного стола ровным слоем. Затем оба слоя поступают на отсасывающие ящики, где подвергаются принудительному обезвоживанию под воздействием вакуума, что приводит как бы к сращиванию между собой верхнего и нижнего слоя. Для придания картонному полотну более ровной поверхности между отсасывающими ящиками установлен ровнитель. Сухость картонного полотна после отсасывающих ящиков достигает 17 %, а затем оно поступает на гауч-вал, пройдя который, его сухость возрастает до 22 %.

Вода, освобожденная в регистровых частях верхнего и нижнего сеточных столов, поступает в сборник регистровых вод, а обрывы мокрого картонного полотна (кромки) направляются в гауч-мешалку, откуда с помощью насоса перекачиваются в машинный (рабочий) бассейн нижнего слоя. Регистрающая вода из сборника регистровых вод насосом подается в бак постоянного уровня.

Далее обезвоживание и формирование картонного полотна происходит в прессовой части КДМ. Прессовая часть КДМ состоит из трех прессов. Первый пресс состоит из нижнего отсасывающего вала, верхний вал – гранитный. На втором и третьем прессах верхние валы – гранитные, нижние – обрезиненные.

Обезвоживание на первом прессе происходит под действием разрежения, которое создается вакуумным насосом УНВ – 03. Дальнейшее обезвоживание картонного полотна производится путем механического отжима влаги на втором и третьем прессах. На первом и втором прессах установлены сукномойки, предназначенные для промывки сукон во время работы. Сукномойки работают на свежей воде.

После прессовой части уплотненное картонное полотно подается на латексную установку. Нанесение на поверхность фильтр-картона латекса ВХВД-65, являющегося биологически инертным полимером, способствует улучшению физико-механических свойств, увеличению прочности картона во влажном состоянии и срока службы. Латексная установка состоит из ванны и двух валиков, обмотанных прессовым сукном, нанесение латексного покрытия производится с сеточной стороны картонного полотна. Установка включается в работу только после выхода требуемых показателей качества выпускаемой продукции. Латекс, предварительно разведенный свежей водой до концентрации 8 %, добавляется в приемное корыто ведром.

Сушка картонного полотна контактная, происходит в сушильной части КДМ на расположенных в два яруса сушильных цилиндрах. В сушильной части КДМ установлено 18 сушильных цилиндров диаметром 1250 мм и 6 сукносушильных цилиндров диаметром 600 мм. Цилиндры нагреваются перегретым паром, поступающим с котельной. Температура нагрева поверхности цилиндров на первом – 70 °С, далее на остальных – 125-143 °С. Высокая температура на всех сушильных цилиндрах объясняется пористостью данного картона. Пар подается с давлением 3,5-4,0 атм. Пар во все сушильные цилиндры подается первичный. Конденсат из сушильных цилиндров удаляется при помощи черпаков, установленных внутри, и через конденсатоотводчики (поплавкового типа) собирается в бак, откуда насосом перекачивается в деаэратор, установленный на котельной.

Пройдя сушильную часть, картонное полотно заправляется в саморезку, где разрезается на дольные полосы согласно необходимому размеру. Затем полотно направляют к поперечному ножу, где оно режется на листы требуемого формата. Разрезанные листы картона направляются на приемный стол, сортируются, а затем укладываются в пачки (кипы) на весы по 40 или 35 кг. С весов картон, уложенный пачками в столб, перевозится к упаковочной линии, где происходит его остывание (отлежка) и упаковка в термоусадочную пленку.

Упакованная продукция вывозится на склад готовой продукции, а с него отгружается потребителям.

Список литературы

1. Ормонбеков, Т. О. Технология базальтовых волокон и изделия на их основе [Текст] / Т. О. Ормонбеков. – Бишкек: Технология, 1997. – 122 с.
2. Определение оптимального состава материала для изготовления базальтоволокнистых композиционных плит [Текст] / Ж. К. Айдаралиев, Ю. Х. Исманов, А. Т. Кайназаров, М. С. Абдиев // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – №2-3. – С. 115-119.
3. Дубровский, В. А. Базальтовые расплавы для формования штапельного волокна [Текст] / В. А. Дубровский, В. А. Рычко, Т. М. Бачило и др.] // Стекло и керамика. – 1968. – №12. – С.18-20.
4. Новая сырьевая база для производства супертонких волокон [Текст] / М. Ф. Махова, Е. С. Мищенко, И. Н. Иванов и др. // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 4. – С. 20-23.
5. Устенко, А. А. Исследование механизма образования волокна в производстве минеральной и стеклянной ваты [Текст] / А. А. Устенко // Строительные материалы. – 1963. – № 9. – С. 32-35.
6. Фляте Д. М. Свойства бумаги. – СПб.: Мир и семья-95, 1999. – 680 с.
7. Фляте Д. М. Бумагообразующие свойства волокнистых материалов. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 131 с.
8. Кулешов А. В., Смолин А. С., Парамонова Л. Л. Расчет массоподготовительного отдела производства картона с белым верхним слоем: учебное пособие / СПб: СПбГТУРП, 2009. – 78с.

STUDY OF COMPOSITES INCORPORATING GLASS AND BASALT FIBRES FOR APPLICATIONS IN PAPER-LIKE AIR FILTERING MATERIALS WITH AN INCREASED DEGREE OF PURIFICATION

V. N. Bulycheva*, I. V. Lavrentev

*Limited Liability Company «Beloyarskaya Factory of Asbestos Cardboard Products» (LLC
«BFAP»), Sverdlovsk oblast, Beloyarsky settlement*

**E-mail: bulycheva_vn@bfai.ru*

Abstract. Scientific research is conducted in the laboratory of the Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, and in the experimental industrial department of the Beloyarsk factory of asbestos cardboard products (LLC “BFAP”). The compositions of various fibres (cellulose, mineral) allow for a combination that significantly alters the properties of the material. The focus of this research paper is on the development of new compositions of glass and basalt fibres, which enable the production of highly efficient paper-like filtering materials for air purification.

Keywords: asbestos, glass fibers, basalt fibers, composites, paper-like materials, papermaking technology, filtering materials, filtration, degree of purification.

References

1. Ormonbekov, T. O. Tekhnologiya bazal'tovykh volokon i izdeliya na ikh osnove. – Bishkek: Tekhnologiya, 1997. – 122 p.
2. Aydaraliev Zh. K., Ismanov Yu. Kh., Kaynazarov A. T., Abdiev M. S. Opredelenie optimal'nogo sostava materiala dlya izgotovleniya bazal'tovoloknistykh kompozitsionnykh plit [Text]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2019. – №3-2. – P. 115-119.
3. Dubrovskiy V.A., Rychko V.A., Bachilo T.M. Bazal'tovye rasplavy dlya formirovaniya shtapel'nogo volokna. Steklo i keramika. – 1968. – №12. – P. 18-20.

4. Makhova M. F., Mishenko E. S., Ivanov I.N. Novaya syr'evaya baza dlya proizvodstva supertonkikh volokon. Razvedka i okhrana neдр. – 1986. – №4. – P. 20-23.
5. Ustenko, A. A. Issledovanie mekhanizma obrazovaniya volokna v proizvodstve mineral'noy i steklyannoy vaty. Stroitel'nye materialy. – 1963. – №9. – P. 32-35.
6. Flyate D. M. Svoystva bumagi. - SPb.: Mir i sem'ya-95, 1999. 680 p.
7. Flyate D. M. Bumagoobrazuyushchie svoystva voloknistykh materialov. - M.: Lesnaya promyshlennost', 1990. 131 p.
8. Kuleshov A. V., Smolin A. S., Paramonova L. L. Raschet massopodgotovitel'nogo otdela proizvodstva kartona s belym verkhnim sloem: uchebnoe posobie. SPbGTURP. – SPb., 2009. 78 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЯ И ВОЛОКНА ДЛЯ БУМАГОПОДОБНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭНДОТЕРМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

И. Г. Немцев*, И. В. Лаврентьев
*Белоярская фабрика асбокартонных изделий (БФАИ),
Свердловская обл., п. Белоярский
E-mail: nemtsev_ig@bfai.ru

Аннотация. Научно-исследовательская работа выполняется в лаборатории Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД и опытно-промышленном отделе Белоярской фабрики асбокартонных изделий (ООО «БФАИ»). Исследовано минеральное сырье, технология получения волокна и волокно для нового перспективного тепло- и огнезащитного материала. Получено волокно из алюмосиликатного сырья с требуемым комплексом свойств для формирования теплозащитного композита по бумагоделательной технологии. Добавление в композит эндотермических веществ дополняет и усиливает энергосберегающую функцию.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, алюмосиликатное волокно, теплозащита, огнезащита, эндотермический эффект, бумагоподобный материал, бумагоделательная технология, тригидрат оксида алюминия, микротонкое волокно.

Развитие экономики страны тесно связано с экономным расходованием тепловой энергии. В этом плане тепловая защита является определяющим фактором энерго- и ресурсосбережения, сохранения огромных материальных ценностей от пожаров. Поэтому разработка и освоение новых высокоэффективных теплозащитных материалов остается актуальной задачей. Крайне востребованы материалы на основе тугоплавких керамических смесей оксидов, силикатов, карбидов, нитридов, боридов, устойчивых при высоких температурах – 1000-1400 °С [1, 2].

Целью настоящего исследования стало получение нового теплоизоляционного материала из алюмосиликатного сырья с эндотермическим эффектом для огнезащиты металлических конструкций, как с применением традиционного способа формования, так и разработка нового перспективного формования по бумагоделательной технологии [3].

Задачи работы:

- а) исследование получения алюмосиликатного микротонкого штапельного волокна;
- б) исследование получения эндотермического теплоизоляционного материала из алюмосиликатного волокна Bulk;
- в) исследование бумагоделательной технологии получения теплоизоляционного материала с эндотермическим эффектом.

По пункту «а» был исследован химический состав компонентов шихты для получения волокна [4, 5]. В результате теоретическим путем определен минимальный и достаточный перечень компонентов и предельное их содержание в шихте. В дальнейших экспериментах отработана промышленная технология получения алюмосиликатного волокна. Физико-химические показатели волокна представлены в таблице 1. Как видно, получено 3 марки волокна Bulk с классификационными температурами – 1050, 1260 и 1430 °С.

Эти волокна послужили основой разработки новых теплоизоляционных материалов, изготавливаемых по традиционной технологии – сухое формование в виде листовых мягких (мат) или жестких (плита) изделий и формование с применением бумагоделательной технологии (бумагоподобный материал или бумага). Последний способ формования – это относительно новое перспективное направление [6, 7].

Таблица 1 – Физико-химические показатели алюмосиликатного волокна марки Bulk

№ п/п	Наименование показателя	Bulk 1050	Bulk 1260	Bulk 1430
1	Классификационная температура, °C, не выше	1050	1260	1430
2	Химический состав, %			
	Алюминия оксид (Al_2O_3)	40	44	38
	Алюминия оксид + Кремния диоксид ($Al_2O_3+SiO_2$)	97	97	81
	Циркония оксид (ZrO_2)	-	-	12-16
3	Относительное изменение массы при прокаливании, %	1,0	1,0	1,0
4	Массовая доля влаги, %	1,0	1,0	1,0
5	Массовая доля неволокнистых включений, размером более 0,5 мм, %	3,0	3,0	3,0

По пункту «б» разработан эндотермический теплоизоляционный материал. Эндотермический эффект теплоизоляционного материала создается добавлением веществ, содержащих существенную долю химически связанной воды. При возникновении высокой температуры вода высвобождается и охлаждает поверхность бетонных и металлических конструкций, защищая от перегрева и подавляя распространение огня. В качестве водоземиссионного вещества в исследовании выбран антипирен – тригидрат оксида алюминия ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$). Это вещество выбрано по следующим основаниям:

а) песок тригидрата оксида алюминия является наиболее распространенным, эффективным и экономичным неорганическим антипиреном, который используется для повышения огнестойкости покрытий;

б) является замедлителем горения и выполняет несколько функций: наполнителя, собственно антипирена и дымоподавляющей добавки;

в) тригидрат оксида алюминия содержит воду (34,6 %); эта вода при пленкообразовании еще прочно связана, но выделяется при высоких температурах, развивающихся в процессе горения. При этом поглощается значительное количество теплоты. В результате К-фаза и пламя охлаждаются, а пары воды разбавляют пламя;

г) тригидрат оксида алюминия при высоких температурах образует теплоизолирующий слой на поверхности покрытия;

д) не выделяет токсичных и коррозионно-активных газов при воздействии высоких температур.

В результате исследования был разработан эндотермический мат (ЕТ Мат). Эндотермический теплозащитный материал представляет собой композит листовой формы, основой которого является алюмосиликатное волокно (температура плавления 1260 °C) с добавками в композицию волокна полиэфирного 1,4D*6 мм («Эслон»), антипирена – тригидрата оксида алюминия ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), неорганического и органического связующего – сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) и латекса ВАК-200М. Физико-химические показатели эндотермического материала представлены в таблице 2.

Свойства ЕТ Мат, представленные в таблице 2, оказались востребованными для теплозащиты бетонных и строительных металлоконструкций, емкостей, кабелей, кабельных каналов и лотков, электрооборудования, защиты зданий и сооружений в гражданском и промышленном строительстве.

По пункту «в» получен бумагоподобный теплоизоляционный материал (бумага). Исследовано приготовление композиции бумаги. Она создается последовательным смешением подготовленного водного раствора п/э волокна с водным раствором волокна алюмосиликатного, которые в композиционном бассейне смешиваются с растворенным тригидратом оксида алюминия и латекса. Вся смесь перекачивается в машинный бассейн и добавляется сульфат алюминия. Композиция представляет собой сложную смесь химически активных компонентов, результатом взаимодействия которых является сочетание свойств

дисперсии, способной формировать листовой материал с уникальными теплоизоляционными свойствами. В исследовании установлено соотношение компонентов, допустимая количественная вариация компонентов для эффективного управления свойствами композиции и бумаги.

Таблица 2 – Физико-химические показатели эндотермического материала (ЕТ Мат)

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Кажущаяся плотность, кг/м ³ , не более	700
2	Относительное изменение массы при прокаливании, %, не более	28
3	Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	1
4	Массовая доля влаги, %, не более	1
5	Выделение химически связанной воды при 300 °С, %, не менее	20
6	Гибкость на валу диаметром 57 мм	Без трещин и расслоений
7	Водопоглощение, %	2-5
8	Теплопроводность (λ), Вт/(м ² ·К) при температуре:	
	10 °С	0,048
	25 °С	0,052
	93 °С	0,065
	177 °С	0,082
9	Средняя удельная теплоемкость при 25-200 °С, кДж/(кг·К)	1,1-1,3
10	Кажущаяся плотность, кг/м ³ , не более	700
11	Относительное изменение массы при прокаливании, %, не более	28
12	Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	1
13	Массовая доля влаги, %, не более	1
14	Выделение химически связанной воды при 300 °С, %, не менее	20

Проведено исследование факторов формования бумаги на сеточной части машины, факторы прессования и конвективной сушки бумаги в сушильной камере. В результате получен теплоизоляционный бумагоподобный материал – бумага, физико-химические показатели которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели бумаги

№	Наименование показателя	Значение		
1	Классификационная температура, °С, не выше	1050; 1260		
2	Плотность, кг/м ³	200	300	400
3	Относительное изменение массы при прокаливании, %, не более	8,0	9,0	10,0
4	Огневая усадка (выдержка 5 часов при классификационной температуре), %, не более	3,8	3,9	3,9
5	Огнеупорность, °С, не менее	1650	1650	1650
6	Группа горючести	НГ (Не горючий)		
7	Теплопроводность при средней температуре 25 °С, Вт/(м·К)	0,034	0,035	0,036
8	Теплопроводность при средней температуре 600 °С, Вт/(м·К)	0,15	0,16	0,15

Свойства теплоизоляционной бумаги, представленные в таблице 3, позволили применить ее во многих отраслях промышленности.

1. Проведенный комплекс исследования по получению алюмосиликатного волокна Bulk на основе его эндотермического теплозащитного материала (ЕТ Мат) и эндотермической бумаги показал, что тема разработки эндотермических теплозащитных материалов является перспективной.

2. Учитывая перспективность темы, в дальнейшей работе планируются исследования:

а) свойств водной суспензии, в зависимости от вида и содержания компонентов;

б) влияния свойств суспензии на обезвоживание композита в сеточной и прессовой части;

в) влияния свойств суспензии на удержание компонентов при обезвоживании в сеточной и прессовой части;

г) влияния контактной и конвективной сушки на теплоизоляционные и эксплуатационные свойства композита.

д) исследование качества эндотермического теплоизоляционного композита и его теплозащитных свойств в промышленности.

Список литературы

1. Лидин Р. А. и др. Химические свойства неорганических веществ: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., испр. – М.: Химия, 2000. – 480 с.
2. Дубовый, В. К. Термостойкие композиционные материалы / В. К. Дубовый, Г. И. Чижов // Технология бумаги: межвузовский сборник научных трудов. – СПб.: изд. СПбГТУРП, 2000. – С. 111-116.
3. Васильева, Е. И. Неорганические волокна / Е. И. Васильева // Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. – Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. – СПб.: Политехника, 2006. – С. 301-308.
4. Джигирис, Д. Д. Основы получения базальтовых волокон и их свойства. Базальтоволкнистые материалы и конструкции // Д. Д. Джигирис. – Киев: Наукова думка, 1980. – 481 с.
5. Конкин, А. А. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна // А. А. Конкин. – Москва: Химия, 1978. – 424 с.
6. Дубовый, В. К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // В. К. Дубовый. – СПб.: ГЛТА, 2006. – 370 с.
7. Дубовый, В. К. Особенности технологии бумагоподобных материалов и минеральных волокон // В. К. Дубовый. – В 3-х т. – Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. – СПб.: Политехника, 2006. – С. 347-353.

STUDY OF RAW MATERIALS AND MINERAL FIBRES FOR PAPER-LIKE MATERIALS WITH ENDOTHERMIC PROPERTIES FOR APPLICATIONS IN THE THERMAL INSULATION AND FIRE PROTECTION FIELDS

I. G. Nemtsev*, I. V. Lavrentev

Limited Liability Company «Beloyarskaya Factory of Asbestos Cardboard Products» (LLC «BFAI»), Sverdlovsk oblast, Beloyarsky settlement

**E-mail: nemtsev_ig@bfai.ru*

Abstract. Scientific research is conducted in the laboratory of the Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, and in the experimental industrial department of the Beloyarsk factory of asbestos cardboard products (LLC “BFAI”). The study of mineral raw materials has encompassed both the methodologies for fibre

production and the intrinsic properties of the fibre intended for use in promising refractory materials. Fibres derived from aluminosilicate raw materials adhering to the required criteria for developing a thermal-protective composite through conventional paper-making processes have been produced. The addition of endothermic agents in the composite enhances its energy conservation properties.

Keywords: refractory material, aluminosilicate fibre, heat protection, fire protection, endothermic effect, paper-like material, paper-making technology, aluminium oxide trihydrate, and ultrafine fibre.

References

1. Lidin R. A. i dr. Khimicheskie svoystva neorganicheskikh veshchestv: cheb. posobie dlya vuzov. — 3-e izd., ispr. — M.: Khimiya, 2000. — 480 s. — ISBN 5-7245-11630.
2. Duboviy V. K., Chizhov G. I. Termostoikie kompozitsionnye materialy. Tekhnologiya bumagi: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. — SPb.: izd. SPbGTU RP, 2000. — S.111-116.
3. Vasilyeva E. I. Neorganicheskie volokna. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva, V 3 t.—T.II. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch.2. Osnovnye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit — SPb.: Politehnika, 2006. — S.301-308.
4. Dzhigiris D. D. Osnovy polucheniya bazaltovykh volokon i ikh svoystva. Bazaltovoloknistye materialy i konstruktsii. Kiev: Naukova dumka, 1980. — 481 s.
5. Konkin A. A. Termo-, zharostoikie i negoryuchie volokna. Moskva: Khimiya, 1978. — 424 s.
6. Duboviy V. K. Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineralnykh volokon. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. — SPb.: GLTA, 2006. — 370 s.
7. Duboviy V. K. Osobennosti tekhnologii bumagopodobnykh materialov i mineralnykh volokon. Proizvodstvo bumagi i kartona. V 3-kh t. - T.2. Ch.2. Osnovnye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit — SPb.: Politehnika, 2006. — S. 347-353.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМОГО ВОЛОКНА ДЛЯ БУМАГОПОДОБНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Ю. Томилин*, И. В. Лаврентьев
Белоярская фабрика асбокартонных изделий (БФАИ),
Свердловская обл., п. Белоярский
*E-mail: tomlin_au@bfai.ru

Аннотация. Научно-исследовательская работа выполняется в лаборатории Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД и опытно-промышленном отделе Белоярской фабрики асбокартонных изделий (ООО «БФАИ»). В работе исследовано сырье и технология получения биоразлагаемого волокна из кальций-магний-силикатных минералов для бумагоподобных теплоизоляционных материалов. Исследования актуальны, так как расширяют ассортимент экологически безопасных материалов, повышающих эффективность энергопотребления объектов защиты.

Ключевые слова: глинозем металлургический, песок кварцевый, кальций-магний-силикатный минерал, каолин, шихта, расплав, биоразлагаемое волокно, теплоизоляционный материал, бумагоподобный материал, энергопотребление.

Разработка новых высокоэффективных теплоизоляционных материалов является актуальной задачей. Целью исследования было сырье и технология получения биоразлагаемого волокна из кальций-магний-силикатных минералов для бумагоподобных теплозащитных материалов [1-3]. Волокно, материалы и изделия должны отличаться улучшенными потребительскими свойствами, расширить ассортимент теплоизоляции, снизить себестоимость продукции. Особым свойством новых материалов является биоразлагаемость, а, следовательно, экологическая безопасность [4-5].

Общая технологическая схема получения нового биоразлагаемого материала следующая [6].

1. Компоненты сырья для получения керамического волокна марки AVANTEX SW «Blanket»:

- а) глинозём металлургический Г-0(00) ГОСТ 30558-17;
- б) песок кварцевый обогащённый С-070-1;
- в) каолин КД – 42 ТУ – 5729-001-3119308-2016;
- г) ПАВ (замасливатель) Duron NV-12;

2. Процесс получения волокна марки AVANTEX «Blanket», подача компонентов:

а) сырьё поступает на предприятие автотранспортом в мешках Биг-Бэг, автоцистерной, в ж/д полувагонах;

б) глинозём подаётся в бункер-накопитель;

в) песок при необходимости сушится в сушильном барабане и подаётся в бункер-накопитель;

г) каолин подаётся в бункер-накопитель;

д) ПАВ складировается и подаётся на производство по необходимости.

3. Смешивание компонентов и подача в плавильную печь:

а) глинозём, песок, каолин подаются в весовой дозатор согласно установленной формуле;

б) дозированные компоненты подаются в смеситель, где перемешиваются;

в) полученная шихта подаётся в бункер;

г) шихта посредством пневмокамерного насоса поступает в бункер-накопитель готовой шихты;

д) шихта при помощи пневмокамерного насоса подаётся в расходный бункер над печью плавления.

4. Плавление:

- а) шихта через систему подачи и распределитель поступает в печь плавления;
- б) плавление происходит в печи сопротивления путем подачи напряжения на молибденовые электроды, 1500-1750 А;
- в) при образовании гомогенной массы расплава происходит выпуск через молибденовое водоохлаждаемое устройство;
- г) скорость истечения расплава регулируется путём изменения подачи напряжения на выпускное устройство или иглой регулирования.

5. Волокнообразование:

- а) выпущенный расплав попадает на валки центрифуги (верхний и нижний), где расщепляется на отдельные волокна;
- б) в зону волокнообразования подаётся ПАВ (замасливатель) Dugon;
- в) полученное волокно подаётся в камеру осаждения, где посредством разряжения под сетчатым конвейером формируется первичный ковер из волокна.

6. Получение прошивного одеяла:

- а) выходящий из камеры осаждения ковер попадает в иглопробивную машину, где происходит сшивка и придание необходимых параметров прошивного одеяла;
- б) сформированное одеяло после иглопробивной машины попадает в печь термической обработки для выжигания замасливателя и закалки волокна;
- в) полученное одеяло проходит контроль ОТК, форматируется, упаковывается и поступает на склад готовой продукции.

Готовое одеяло имеет высокую гибкость, прочность, сочетает в себе высокую сопротивляемость температуре – до 1430 °С, низкую теплопроводность и низкую аккумуляцию тепла, соответствует всем нормам охраны окружающей среды.

Для решения задачи выбрано сырьё, содержащее основные химические соединения: оксид кальция, диоксид кремния, оксид магния. Исследован ряд шихт с различным содержанием компонентов. Исследован целый ряд композиций шихты, теоретически обеспечивающих ожидаемое качество волокна и материалов из него.

Исследованные варианты шихты представлены в таблице 1.

В результате исследования установлен состав шихты, например, №4/3, позволяющий получать качественное высокотемпературное керамическое минеральное волокно с высокой производительностью и экономичностью.

Опытные работы по получению высокотемпературного бумагоподобного теплоизоляционного материала показали перспективность этого направления. На опытно-промышленной бумагоделательной линии «Bruderhaus» планируется продолжить научные исследования по получению нового теплоизоляционного материала. Результатом исследования ожидается промышленная технология и перспективный материал для широкого использования в качестве высокотемпературной (до 1260 °С) футеровки в различных отраслях промышленности.

Теоретической основой инновационного теплоизоляционного материала является функциональная зависимость теплопроводности материала от его пористости и гидрофильности. Эти факторы легко управляются при использовании бумагоделательной технологии, посредством влияния на основные процессы – композиция и свойства волокнистой суспензии, обезвоживание в сеточной части, прессование, сушка [2].

Таблица 1 – Варианты исследованной шихты

Наименование, состав шихты	Период (начало) засыпки	Количество выпущенного волокна, кг	Примечание (качество волокна)
1. Начальная рецептура (ввод ПМК-83 для улучшения свойств одеяла)			
№ 4/1 (700,45 кг): 1. Известь – 200 кг; 2. Песок – 458 кг; 3. ПМК-83 – 42 кг	20.01. в 10:45 ч	14 003	Через сутки настраивались на 25/128 – разрыва нет, max – 0.040 МПа, + стал меняться цвет от голубого до серого и образовывались «нашлепки» темно серого цвета.
2. По результатам хим. анализа увеличение содержание песка в шихте			
№ 4/2 (700,45 кг): 1. Известь – 193 кг; 2. Песок – 465 кг; 3. ПМК-83 – 42 кг	21.01. в 18:00 ч.	3 159	Увеличилось количество «нашлепок», одеяло стало серого оттенка.
3. Определили причину «серого» цвета одеяла, убрали ПМК, вернулись к рецептуре №2 выработки 2019 г.			
№ 4/3 (700.45 кг (№2 в 2019 г.)): 1. Известь – 205 кг; 2. Песок – 495 кг	22.01. в 09:45 ч.	36 748	После 2-х суточного перехода и настройки – выпуск Pro Hurt: 25/128, 38/128 и 50/128.
№ 4/4 (700.45 кг): 1. Мука известняковая – 192 кг; 2. Песок – 508 кг	-	-	Не применялась, сделанные замесы скорректировали до шихты № 4/5.
№ 4/5 (738.45 кг): 1. Мука известняковая – 230 кг; 2. Песок – 508 кг	28.01. в 13:20 ч.	3 164	Во время перехода выпущено 48 рулонов 50/128, далее волокно очень хрупкое, «ломкое», разрыва нет.

Список литературы

1. Дубовый, В. К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // В. К. Дубовый. – СПб.: ГЛТА, 2006. – 370 с.
2. Дубовый, В. К. Термостойкие композиционные материалы / В. К. Дубовый, Г. И. Чижов // Технология бумаги: межвузовский сборник научных трудов. – СПб.: изд. СПбГТУ РП, 2000. – С. 111-116.
3. Васильева, Е. И. Неорганические волокна /Е. И. Васильева // Технология целлюлозно-бумажного производства. – В 3 т. – Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит – СПб.: Политехника, 2006. – С. 301-308.
4. Джигирис, Д. Д. Основы получения базальтовых волокон и их свойства. Базальтоволокнистые материалы и конструкции // Д. Д. Джигирис. – Киев: Наукова думка, 1980. – 481 с.
5. Конкин, А. А. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна // А. А. Конкин. – Москва: Химия, 1978. – 424 с.
6. Дубовый, В. К. Особенности технологии бумагоподобных материалов и минеральных волокон // В. К. Дубовый. В 3-х т. – Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. – СПб.: Политехника, 2006. – С. 347-353

STUDY OF METHODS FOR PRODUCING BIODIGRADABLE FIBRES FOR APPLICATIONS IN PAPER-LIKE THERMAL INSULATION AND FIRE PROTECTION MATERIALS

A. Y. Tomilin*, I. V. Lavrentev

*Limited Liability Company «Beloyarskaya Factory Asbestos Cardboard Articles» (LLC «BFAI»),
Sverdlovsk oblast, Beloyarsky settlement*

**E-mail: tomilin_au@bfai.ru*

Abstract. Scientific research is conducted in the laboratory of the Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, and in the experimental industrial department of the Beloyarsk factory of asbestos cardboard products (LLC “BFAI”). In the study, the raw materials and technology for producing biodegradable fibres from calcium magnesium silicates for paper-like thermal insulation materials were studied. The research is relevant, as it broadens the range of environmentally sustainable materials that enhance the energy efficiency of the insulated structures.

Keywords: metallurgical alumina, quartz sand, calcium magnesium silicate, kaolin, furnace charge, melt, biodegradable fibre, thermal insulation material, paper-like material, energy consumption.

References

1. Duboviy V. K. Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh volokon. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk // V. K. Dubovyy. – SPb.: GLTA, 2006. – 370 s.
2. Duboviy V. K., Chizhov G. I. Termostoikiye kompozitsionnye materialy. Tekhnologiya bumagi: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. – SPb.: izd. SPbGTU RP, 2000. – S.111-116.
3. Vasilyeva E. I. Neorganicheskie volokna. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. T.3 Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 2. Osnovnyye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit – SPb.: Politehnika, 2006. – S. 301-308.
4. Dzhigiris D. D. Osnovy polucheniya bazaltovykh volokon i ikh svoystva. Bazaltovoloknistye materialy i konstruktsii. Kiev: Naukova dumka, 1980. – 481 s.
5. Konkin A. A. Termo-, zharostoikiye i negoryuchiye volokna. Moskva: Khimiya, 1978. – 424 s.
6. Duboviy V. K. Osobennosti tekhnologii bumagopodobnykh materialov i mineral'nykh volokon. Proizvodstvo bumagi i kartona. V 3-kh t.- T. 2. Ch. 2. Osnovnyye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit– SPb.: Politehnika, 2006. – S. 347-353.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ БЕЗНОЖЕВОМ РАЗМОЛЕ ОДНОЛЕТНИХ РАСТЕНИЙ

М. М. Литвинова*, Ю. Д. Алашкевич, Р. А. Марченко

Научный руководитель – Ю. Д. Алашкевич

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва,
г. Красноярск*

**E-mail: marg32883@gmail.com*

Аннотация. Несмотря на большой объем использования древесного волокна в получении готовой продукции в целлюлозно-бумажном производстве, потребление последней значительно увеличивается. Для снижения расхода волокнистого сырья из древесины целесообразно использовать для этих целей однолетние растения, в числе которых наиболее часто встречается использование технической конопли. Это связано с положительными особенностями физико-механических характеристик готовой продукции, получаемой из технической конопли. Особенно это важно при использовании безножевого способа размол полуфабрикатов из технической конопли.

Ключевые слова: размол; растительные полимеры; бумажная продукция.

Производство бумаги в значительной степени зависит от процесса размола, который играет решающую роль в определении ключевых свойств бумаги.

Прежде всего неразмолотые волокна приводят к получению листов бумаги низкого качества и с ограниченной гибкостью волокон. Кроме того, недостаточная гидратация неразмолотых волокон препятствует их способности эффективно встраиваться в структуру бумажного листа. Хотя основной целью размола не является укорачивание волокон, оно в первую очередь направлено на расщепление волокон на фибриллы по их длине. Этот процесс повышает гибкость, пластичность и набухание волокон, что, в конечном счете, приводит к улучшению адгезии волокон. Адгезия волокон является жизненно важной характеристикой, определяющей механическую прочность и впитывающую способность бумажного листа.

В области обработки волокон существуют различные методы, использующие механическое или гидродинамическое воздействие. В процессе размола волокна подвергаются резке, дроблению, расчесыванию и разделению на пучки волокон.

В процессе размола в конических и дисковых мельницах ножевое измельчение происходит в зазоре между неподвижными ножами статора и подвижными ножами ротора. Эти мельницы сконструированы для работы на высоких окружных скоростях, что приводит к повышенным напряжениям сдвига, колебаниям давления и значительным ударам.

При использовании ножевых установок для размола волокнистых полуфабрикатов могут возникнуть определенные проблемы при вторичном размоле и при работе с коротковолокнистой древесиной, особенно лиственных пород. Чтобы преодолеть эти трудности, рекомендуется использовать метод размола без использования ножа. Одним из таких методов является экспериментальная установка «Струя-преграда», которая используется на Кафедре машин и аппаратов промышленных технологий в Сибирском государственном университете науки технологий имени М. Ф. Решетнева [1].

В безножевой установке процесс размола волокнистых материалов в основном осуществляется за счет сочетания нескольких физических воздействий, которые можно разделить на четыре основные группы. Во-первых, существует эффект кавитации, при котором кавитационные пузырьки образуются и схлопываются в жидкой среде, взаимодействуя с волокнистым материалом. Во-вторых, пульсирующий эффект достигается за счет вольного истечения струи суспензии. В-третьих, струя суспензии воздействует на

барьер при контакте с преградой. В-четвертых, эффект гидродинамического трения, который вызван градиентом вязкости и скорости внутри жидкости, что приводит к возникновению сил трения, способствующих размолу [2].

В течение длительного периода бумажные изделия изготавливались преимущественно из древесины хвойных и лиственных пород, что привело к обширной вырубке лесов и значительным экологическим последствиям. Основная проблема возникает из-за того, что древесине требуется длительный период созревания, обычно около 80-100 лет, прежде чем ее можно будет использовать в качестве сырья. Однако в последние годы были предприняты усилия по изучению альтернативных источников целлюлозы с целью смягчения неблагоприятных последствий обезлесения. Эти альтернативы включают недревесные источники, такие как сельскохозяйственные отходы, однолетние растения и синтетические волокна. Кроме того, были внедрены методы устойчивого лесоводства, направленные на уменьшение воздействия на окружающую среду. По мере того, как глобальное изменение климата и опасения по поводу экологической устойчивости усиливаются, переход к более экологичным материалам и практикам в целлюлозно-бумажной промышленности становится все более насущным.

В последние годы наблюдается растущая склонность к использованию технической конопли в качестве сырья в целлюлозно-бумажном производстве. Использование технической конопли в этой отрасли дает ряд преимуществ, включая ее быстрый рост, высокое содержание целлюлозы и минимальное воздействие на окружающую среду. Дополнительным преимуществом является то, что техническую коноплю можно выращивать без использования пестицидов или удобрений, что делает ее более экологически чистой альтернативой традиционным культурам, таким как древесина. Несмотря на то, что все еще существуют определенные проблемы, связанные с переработкой и использованием технической конопли для производства бумаги и целлюлозы, продолжающиеся исследования и разработки в этой области дают многообещающие результаты для более устойчивого и экологичного будущего. Бумага на основе конопли обладает многочисленными преимуществами по сравнению с традиционной бумагой на основе древесины, такими как повышенная стойкость к разрыву и превосходное впитывание чернил [3].

На начальном этапе приготовления лубяная часть конопли подвергается измельчению. Это необходимо, поскольку волокна конопли исключительно длинные, достигают 2-4 метров в длину, что делает непрактичным их непосредственный размол с помощью безножевой установки. Следовательно, первый этап включает в себя процесс предварительного измельчения для расщепления волокон на более мелкие фрагменты. В упомянутом исследовании для этой цели был использован дезинтегратор-дробилка, известный как «Рекорд», облегчающий измельчение стебля конопли [4].

На рисунке 1 представлена зависимость степени помола технической конопли от времени размолу для безножевой установки «Струя-преграда» и для центробежно-размольной установки (ЦРА). Как видно из рисунка, в обоих случаях наблюдается значительный рост степени помола от времени размолу, независимо от вида размольной установки. Как видно из рисунка, качественные зависимости при безножевом способе размолу и при ЦРА не отличаются друг от друга и представляют собой параболу. Что касается количественных зависимостей прироста степени помола с использованием безножевой установки, они имеют более высокие показатели по сравнению с использованием ЦРА. Разница между показателями помола для этих двух установок составляет примерно 8 %.

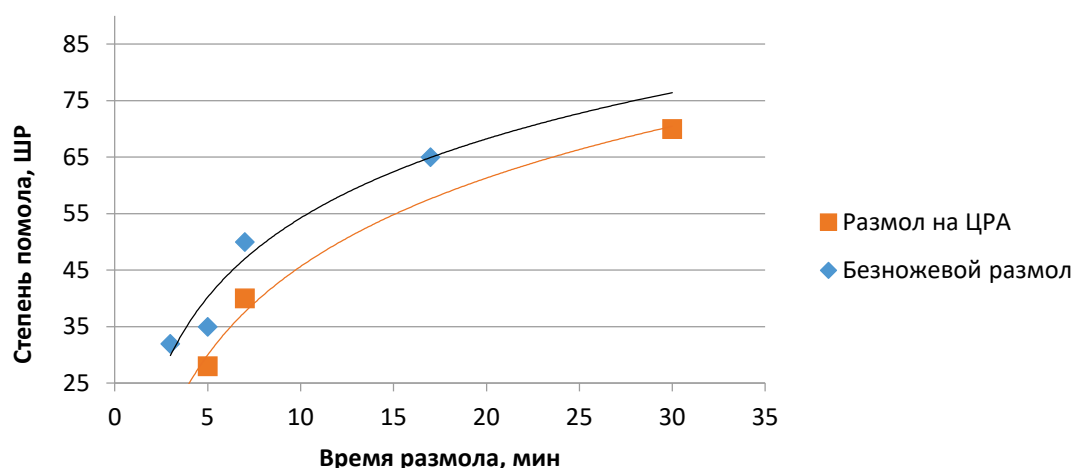


Рисунок 1 – Степень помола от времени

Водоудерживающая способность является одним из важнейших параметров, используемых для оценки качества массы размола. На рисунке 2 представлена зависимость водоудерживающей способности от степени помола. Из графика видно, что водоудерживающая способность конопли на безножевой установке выше, чем у конопли, которая была размолота на ЦРА. Это говорит о том, что на безножевой установке волокно лучше гидратируется, чем на ЦРА.

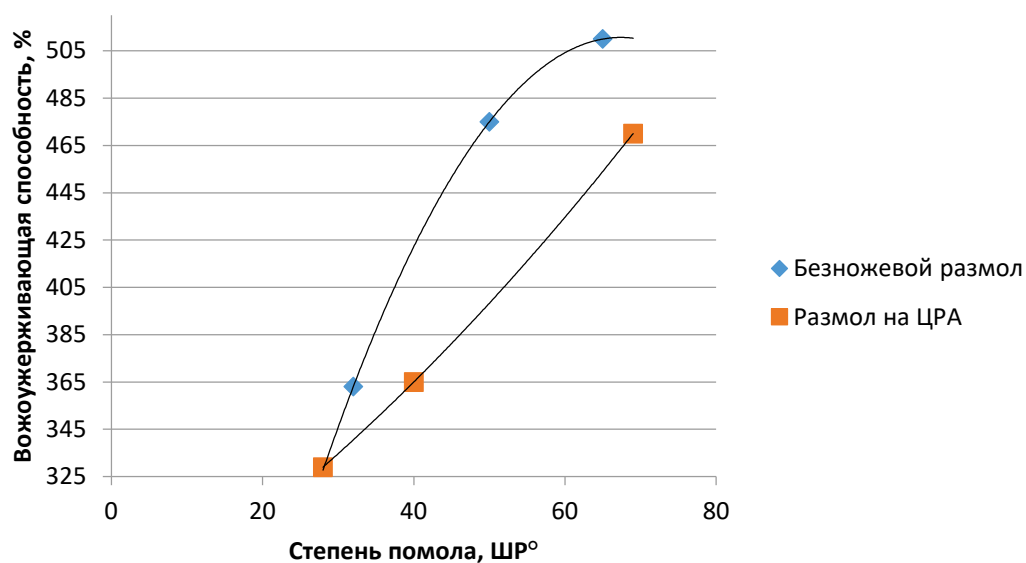


Рисунок 2 – Водоудерживающая способность

Длина волокна – один из ключевых факторов в изготовлении бумажной продукции. На рисунке 3 представлена зависимость длины волокна при размоле технической конопли от степени помола. Как видно из графиков, в обоих случаях есть разница в качественных и количественных зависимостях. Так, для безножевой установки имеет место прямая параболическая зависимость, а для ЦРА – обратная параболическая зависимость. Что касается количественных зависимостей, то более высокие показатели наблюдаются при размоле массы на безножевой установке «Струя-преграда».

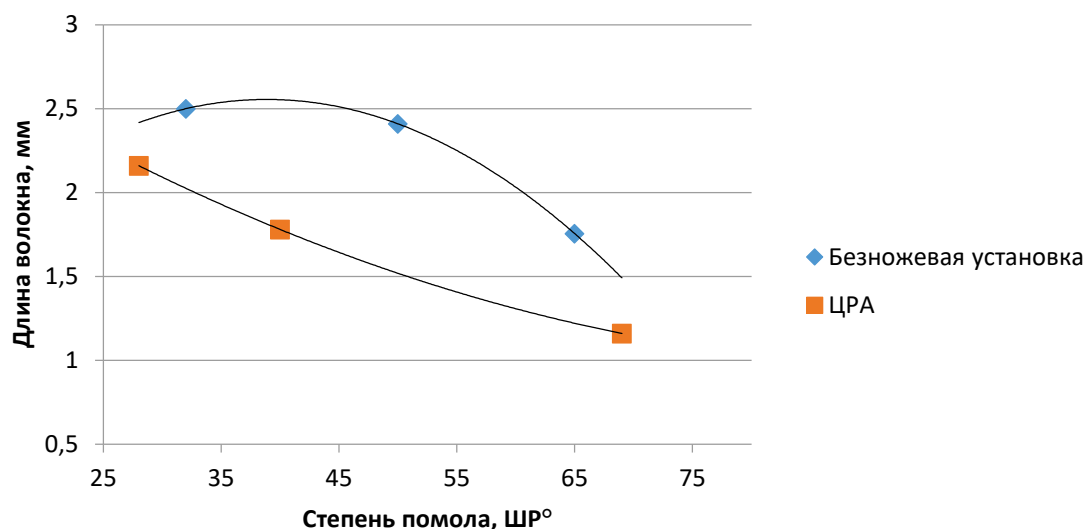


Рисунок 3 – Длина волокна

Разрывная длина волокна – это всеобъемлющий параметр, который получается в результате умножения прочности волокна на его метрическое число. Это дает представление о прочности соединения межволоконных связей. Более высокая разрывная длина означает более прочную связь между волокнами [5]. На рисунке 4 представлена зависимость разрывной длины готовых изделий от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что для обеих установок качественные значения величины, представленные в виде парабол. Что касается количественных значений, то при использовании безожевого способа размола величина разрывной длины выше, чем при использовании ЦРА.

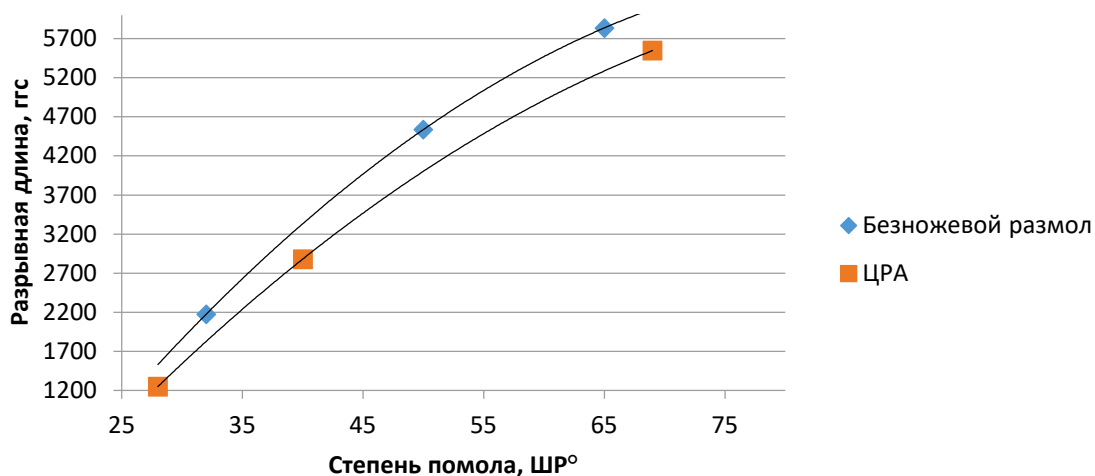


Рисунок 4 – Разрывная длина технической конопли

В контексте производства бумаги и картона термин «продавливание» относится к их способности выдерживать постепенно прикладываемое давление с постоянной скоростью. Это давление создается через резиновую мембрану на одной стороне образца [5]. Как видно из рисунка 5, качественные зависимости величины продавливания близки друг к другу независимо от вида размола массы и представляют собой параболическую зависимость. Причем при использовании безожевого способа размола количественные зависимости значительно выше, чем при использовании ЦРА.

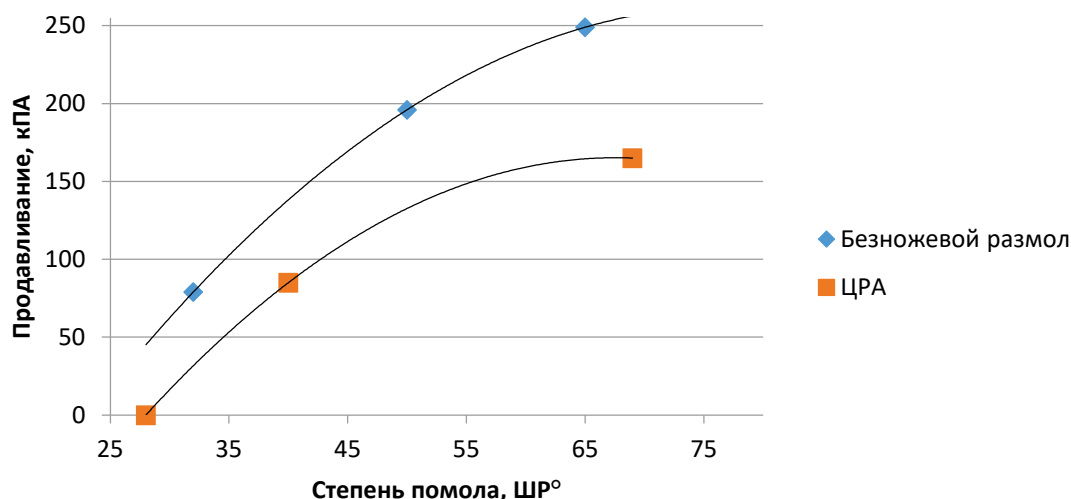


Рисунок 5 – Продавливание образцов технической конопли

Выводы:

1. При использовании двух способов размола волокнистой массы из технической конопли наблюдаются рост показателей степени помола, водоудерживающие способности, длина волокна от степени помола, причем при использовании безножевого способа размола эти показатели выше, чем при использовании ЦРА.

2. Физико-механические показатели готовых изделий: разрывная длина и величина продавливания после размола массы. В обоих случаях наблюдается повышение этих показателей. При безножевом способе размола показатели физико-механических характеристик выше, чем при использовании ЦРА.

Список литературы

1. Патент № 2363792 С1 Российская Федерация, МПК D21C 1/00. установка для измельчения волокнистого материала: № 2008119775/12: заявл. 19.05.2008: опубл. 10.08.2009 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. И. Невзоров, Р. А. Марченко; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».
2. Алашкевич, Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст]: дис. ... док. техн. наук: 05.21.03 / Ю. Д. Алашкевич. – Красноярск, 1987. – 361 с.
3. Мезенцев, И. С. Перспективы использования технической конопли / И. С. Мезенцев, И. В. Красина, А. С. Парсанов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–15 апреля 2021 года. Часть 1. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2021. – С. 173-176 (дата обращения 15.07.2023).
4. Карелина, А. А. Предподготовка однолетних растений для размола массы высокой концентрации в дисковых мельницах / А. А. Карелина, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25–27 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2022. – С. 176-179.

5. Кларк Дж. Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка её на бумагу, методы испытаний): Пер. с англ. А. В. Оболенской и Г. А. Пазухиной. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 456 с.

Участие в V Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» по проекту №20230601-03724 осуществлено при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

THE MAIN PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FINISHED PRODUCTS WITH GRINDING OF ANNUAL PLANTS NO-KNIFE

M. M. Litvinova*, Yu. D. Alashkevich, R. A. Marchenko

Scientific supervisor – Yu. D. Alashkevich

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

**E-mail: marg32883@gmail.com*

Abstract. Despite the large volume of use of wood fiber in the production of finished products in pulp and paper production, the consumption of the latter is significantly increasing. To reduce the consumption of fibrous raw materials from wood, it is advisable to use annual plants for these purposes, among which the use of technical hemp is most common. This is due to the positive features of the physical and mechanical characteristics of the finished product obtained from technical hemp. This is especially important when using a non-knife method of grinding semi-finished products from technical hemp.

Keywords: grinding; vegetable polymers; paper products.

References

1. Patent No. 2363792 C1 Russian Federation, IPC D21C 1/00. installation for grinding fibrous material : No. 2008119775/12 : application 19.05.2008 : publ. 10.08.2009 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, A. I. Nevzorov, R. A. Marchenko ; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education «Siberian State Technological University».
2. Alashkevich, Yu. D. Fundamentals of the theory of hydrodynamic processing of fibrous materials in grinding machines [Text] : dis. ... doctor of Technical Sciences: 05.21.03 / Yu. D. Alashkevich. – Krasnoyarsk, 1987. – 361 p.
3. Mezentsev, I. S. Prospects for the use of technical cannabis / I. S. Mezentsev, I. V. Krasina, A. S. Parsanov // Innovative development of technology and technologies in industry : a collection of materials of the All-Russian Scientific Conference of Young researchers with international participation, Moscow, April 12-15, 2021. Volume Part 1. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art)», 2021. – pp. 173-176 (accessed 15.07.2023).
4. Karelina, A. A. Pre-preparation of annual plants for grinding high-concentration mass in disc mills/ A. A. Karelina, Yu. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov // Forests of Russia: politics, industry, science, education : materials of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 25-27, 2022. – St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 2022. – pp. 176-179.
5. Clark J. Cellulose technology (the science of pulp and paper, the preparation of pulp, its processing into paper, test methods): Translated from the English by A. V. Obolenskaya and G. A. Pazukhina. – М.: Lesnaya prom-st, 1983. – 456 p.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ПРОЦЕССЕ СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В ТОПКЕ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛОАГРЕГАТА

М. А. Новикова*, Д. А. Ковалёв

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: marya.voropanova@yandex.ru*

Аннотация. Содорегенерационный котлоагрегат используется в производстве с целью регенерации черного щелока, отработанного во время варки целлюлозы, а также с целью получения пара для использования в различных процессах и выработки электроэнергии. При сжигании черного щелока в топке котла температуры в ней достигают более чем 600 °С. Для мониторинга и управления параметрами в топке котла необходимы редкие, дорогостоящие, иностранные датчики. На комбинатах имеется потребность в их замене на более выгодные отечественные предложения, решающие данную задачу.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, СРК, виртуальный датчик, топка котла, мониторинг, система управления.

Содорегенерационный котлоагрегат (СРК) является важным элементом цикла регенерации химикатов сульфат-целлюлозного производства и предназначен для регенерации (т. е. восстановления свойств) чёрного щёлока, отработанного в процессе варки [1]. На рис. 1 представлена схема СРК производительностью 2200 т/сут Светлогорского ЦКК.

Таким образом, главной задачей при обслуживании СРК является достижение максимальной эффективности при регенерации черного щелока в условии его наиболее экономичного сжигания. По этой причине топочный процесс организован на комбинировании факельного способа сжигания (в объёме топки) и на поду (в огарке).

Топочное пространство СРК принято разделять на три зоны по уровням подачи воздуха:

- 1) ввод первичного воздуха – зона восстановления;
- 2) ввод вторичного воздуха – зона пиролиза;
- 3) ввод третичного воздуха – зона окисления.

Щелок впрыскивается и распыляется по топке (процесс диспергирования) с помощью специальных форсунок, расположенных над уровнем подачи вторичного воздуха. Из распыленных частиц щелока в высокотемпературной топке испаряется вода и газифицируются летучие органические вещества [2], сгорающие в зоне пиролиза.

На этапе диспергирования очень важен размер капель, которые не должны уноситься потоком дымовых газов из топки СРК, а значит быть достаточно крупными, но одновременно с этим не должны быть слишком большими, чтобы за время нахождения в топочном пространстве до падения на под (зона окисления) успевать «высыхать», т. е. иметь влажность 3-5 %. Другими словами, слишком мелкие капли черного щелока приведут к ускорению сушки и выгоранию капель в топке, увеличению механического уноса и усложнению формирования «подушки» огарка [3]. В свою очередь, слишком крупные капли и струи щелока приведут к ухудшению горения, падению температуры в топке, росту «подушки» огарка, забиванию первичных воздушных сопел. Наиболее подходящими размерами для капель, выходящих из форсунок, считаются 2-5 мм.

Еще одним важным для мониторинга является форма факела, зависящая от температуры черного щелока перед форсунками. При слишком большой температуре черного щелока размеры факела увеличиваются, из-за чего может произойти нарушение работы

пароперегревателя (составная часть СРК). Это приводит к нарушению технологического процесса, нештатной ситуации и большим экономическим потерям.

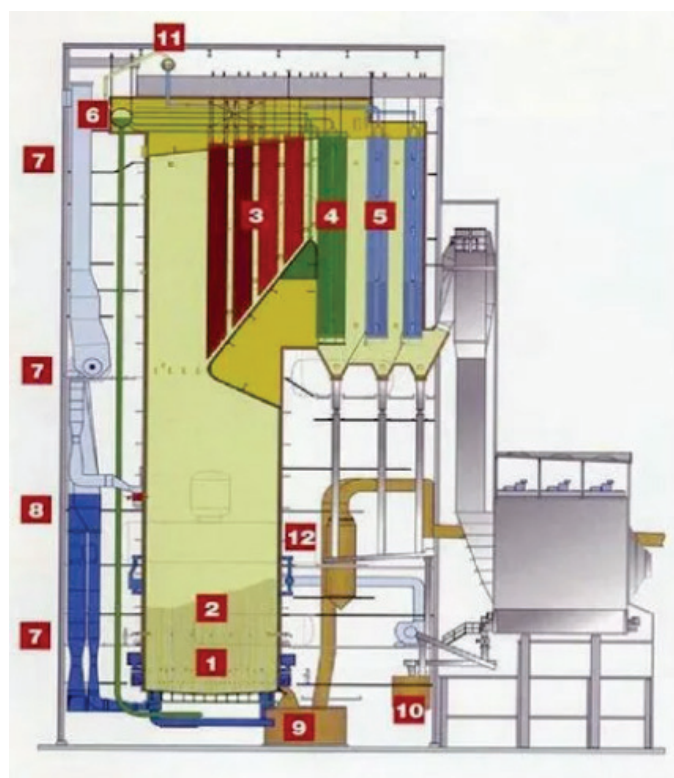


Рисунок 1 – Схема СРК Светлогорского ЦКК:

1 – нижняя часть топки с отверстиями для первичного и вторичного воздуха, а также с пусковыми горелками; 2 – средняя и верхняя часть топки с распылительными щелочовыми форсунками и отверстиями для третичного воздуха; 3 – тангенциальные пароперегреватели панельного типа; 4 – вертикальная противоточная парогенерирующая секция; 5 – вертикальные экономайзеры; 6 – паровой барабан; 7 – вентиляторы воздуха для горения и воздухопроводы; 8 – воздухоподогреватели; 9 – бак-растворитель; 10 – мешальный чан; 11 – конденсатор пресной воды; 12 – бак питательной воды

С целью контроля и дальнейшего регулирования технологических процессов в топке СРК на целлюлозно-бумажных комбинатах используются системы видеонаблюдения за высокотемпературными процессами. Подобные системы позволяют:

- наблюдать в режиме реального времени за положением и формой факелов в топке СРК;
- наблюдать на экране оператора работу растопочных устройств;
- следить за работой сажеобдувочных устройств с целью оценки зашлакованности поверхности нагрева.

Наиболее часто используемыми на СРК Северо-Западного Федерального округа являются системы видеонаблюдения Sintrol Vulcan (Финляндия). На рис. 2 представлены кадры, которые делают подобные видеокамеры.

Однако, данные устройства являются слишком дорогостоящими. Кроме того, сейчас имеется большая проблема с их поставками в Россию и гарантийным обслуживанием.

Таким образом, комбинаты нуждаются в отечественных аналогах данных систем. Заменить их обычными камерами или датчиками не представляется возможным, поскольку на данный момент на рынке нет устройств с подходящим климатическим исполнением. Одним из возможных выходов могут стать виртуальные датчики.

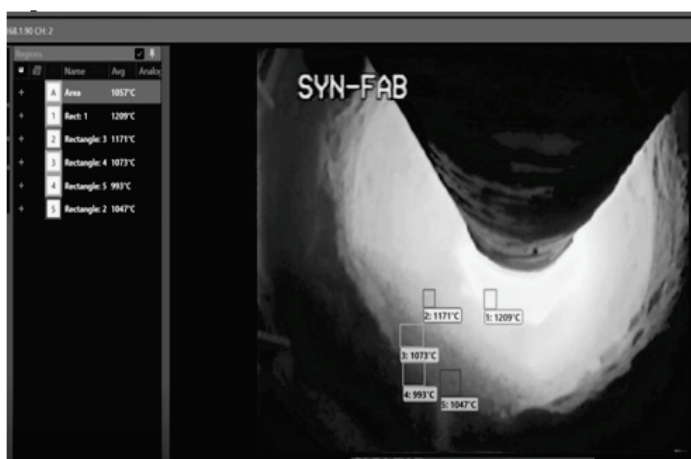


Рисунок 2 – Кадры с систем видеонаблюдения за процессами в топке СРК

Виртуальный датчик – обобщение понятия логического датчика и вычислительного модуля [4], т. е. кроме измерительной операции датчик также выполняет вычислительную операцию. Непосредственное измерение датчик не выполняет, а использует информацию, которую получает от других, связанных с ним, виртуальных датчиков. Таким образом, система управления с виртуальным датчиком состоит из трех уровней:

- полевого – уровня физических датчиков, производящих измерения;
- среднего – уровня виртуальных датчиков-драйверов, которые обеспечивают настройку на конкретные типы физических датчиков;
- верхнего – уровня, где происходит основная обработка данных, выдача команд, в соответствии с заданной программой.

В табл. 1 приведены основные типы виртуальных датчиков в сенсорной сети, построенной на основе данных физических датчиков.

В настоящее время виртуальные датчики наиболее известны в системах управления мобильными роботами. Однако, в [4] также описываются и иные случаи их использования: в системе управления установкой выращивания кристаллов и в системах неразрушающего контроля. Исходя из этого, можно сделать вывод, что виртуальные датчики могут быть применимы в совершенно различных системах управления, в том числе и для мониторинга процессов в топке СРК.

Таблица 1 – Основные типы виртуальных датчиков в сенсорной сети, построенной на основе данных физических датчиков [4]

Типы	Функции датчиков
Основные датчики	Основной датчик представляет собой физический датчик в совокупности с его драйвером
Датчики состояния	Формирование опросов состояний физических датчиков при помощи соответствующих драйверов
Датчики событий	Сигнал от виртуального датчика события возникает в случае, если произошло заданное супервизором изменение уровня сигнала физическому датчику
Триггерные датчики	Осуществление заданной комбинации данных от датчика состояния и датчика события: данные от датчика состояния передаются в случае, если произошло срабатывание заданного датчика события в соответствии с предписанным условием супервизора
Трендовые датчики	Осуществляют накопление данных (для статистической обработки) в случае осуществления заданного события.
Датчики дрейфа	Определяют событие как наличие систематического заданного дрейфа показаний заданного датчика
Датчики надежности данных	Проверяют наличие и работоспособность физического датчика и удовлетворение получаемого от физического датчика сигнала заданному рабочему диапазону
Детекторы	Логические фильтры, позволяющие выделить в последовательности данных виртуального датчика особенность типа скачка и скачка производной
Датчики обобщения информации	«Обобщающие преобразователи», которые по заданному описанию характеристик среды производят их свертку и обобщение с целью уменьшения количества информации, необходимой для принятия решения
Датчики ситуации	Общая ситуация окружающей обстановки (или сцены) представляется в виде одного обобщенного признака ситуации. Значение данного признака ситуации может служить входом в словарь «ситуация – действие» при организации управления верхнего уровня

На основе архивов данных процессов в топке СРК и данных о нештатных ситуациях возможно выявить зависимости и с помощью комбинирования типов виртуальных датчиков и физических датчиков разработать систему, способную заменить видеонаблюдение внутри топки. Основной проблемой в данном случае будет выявление всех зависимостей и дальнейшая настройка системы для наилучшего режима работы.

Таким образом, решить возникшую проблему замены дорогостоящих зарубежных систем видеонаблюдения за процессами в топке СРК представляется возможным с помощью разработки системы связанных виртуальных датчиков.

Список литературы

1. Ковалёв Д. А. Анализ возможных нарушений технологических процессов в содорегенерационном котле // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 2021. – № 56(82). – С. 108 – 111. – DOI 10.36807/1998-9849-2020-56-82-108-111. – EDN WYMCWM.

2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. – СПб.: Политехника, 2008. – Т. 3. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Ч. 1. Автоматизация, стандартизация и экономика в ЦБП. – 621 с.
3. Смородин С. Н., Иванов А. Н., Белоусов В. Н. Содорегенерационные котлоагрегаты: учебное пособие / ГОУВПО СПб ГТУ РП. – СПб., 2010. – 164 с.
4. Кирильченко А. А., Петрин А. А. Свойство виртуальности в информационных системах робототехники // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2003. – № 41. – С. 1-23. – EDN PGBCFP.

THE POSSIBILITIES OF USING VIRTUAL SENSORS IN THE PROCESS OF BURNING BLACK LIQUOR IN THE FURNACE OF A RECOVERY BOILER

M. A. Novikova*, D. A. Kovalev

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

*E-mail: marya.voropanova@yandex.ru

Abstract. The recovery boiler is used in production for the purpose of regeneration of black liquor used during pulp cooking, as well as for the purpose of obtaining steam for use in various processes and electricity generation. When burning black liquor in the boiler furnace, the temperatures in it reach more than 600 °C. Rare, expensive, foreign sensors are needed to monitor and control the parameters in the boiler furnace. At the plants there is a need to replace them with more profitable domestic offers that solve this problem.

Keywords: recovery boiler, virtual sensor, boiler furnace, monitoring, control system.

References

1. Kovalyov D. A. *Analiz vozmozhnyh narushenij tekhnologicheskikh processov v sodoregeneracionnom kotle* [Analysis of possible violations of technological processes in the recovery boiler]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2021. – vol. 56(82). – pp. 108 – 111 (In Russian).
2. *Tehnologija celljulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Pulp and paper production technology]. In 3 vol. – СПб.: Политехника, 2008. – Vol. 3, *Avtomatizacija, standartizacija, jekonomika i ohrana okruzhajushhej sredy v CBP* [Automation, standardization, economics and environmental protection in the pulp and paper production], part 1, *Avtomatizacija, standartizacija i jekonomika v CBP* [Automation, standardization and economics in the pulp and paper production]. – 621 p.
3. Smorodin S. N., Ivanov A. N., Belousov V. N. *Sodoregeneracionnye kotloagregaty: uchebnoe posobie* [Recovery boiler: study guide], SPb, GOUVPO SPb GTU RP, 2010, 164 p.
4. Kiril'chenko A. A., Petrin A. A., *Svojstvo virtual'nosti v informacionnyh sistemah robototekhniki* [The property of virtuality in robotics information systems]. *Preprinty IPM im. M. V. Keldysha* [Preprints of IPM named after M.V. Keldysh], 2003, vol. 41, pp. 1 – 23.

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ
ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
МЕТОДОМ ПАРОВЗРЫВНОГО АВТОГИДРОЛИЗА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАГРЕВА**

Л. А. Сергеев^{1*}, В. С. Болтовский¹, Н. М. Горбачев², Д. С. Макаренко²

¹ УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск

² Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова

Национальной академии наук Беларуси, Минск

*E-mail: kanapelka.lidziya@gmail.com

Аннотация. Автогидролиз-взрыв соломы тритикале при давлении 1,65-2,1 МПа, температуре 180-195 °С, продолжительности 3-10 мин в атмосфере азота или диоксида углерода позволяет получить порошковую целлюлозу с достаточно большим содержанием α-целлюлозы и невысоким содержанием лигнина, обеспечить гидролиз гемицеллюлоз и получить растворимую фракцию лигнина, удаляемую дальнейшей обработкой 4 %-ым раствором гидроксида натрия или перекиси водорода. Применение микроволнового излучения в качестве альтернативы конвективному нагреву позволяет значительно интенсифицировать процесс, избежать вторичных превращений редуцирующих веществ за счет сокращения времени выхода на режим. Определены характеристики и свойства полученного продукта.

Ключевые слова: лигноцеллюлозный материал, паровзрывной автогидролиз, микроволновое излучение, порошковая целлюлоза.

Основным по количественному содержанию полисахаридным компонентом растительной биомассы является целлюлоза, получение которой имеет важное значение для различных отраслей промышленности. К отходам сельскохозяйственного производства относятся: солома различных злаковых и масличных культур (пшеницы, ржи, тритикале, гречихи и др.), стрелки кукурузных початков, плодовые оболочки овса, сои, риса, лузга семян подсолнечника, свекловичный жом и т.д.

Состав некоторых видов сельскохозяйственных отходов приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав некоторых видов лигноцеллюлозного сырья [1 – 3]

Компонент	Целлю- лоза	Лигнин	Пенто- заны	Гексо- заны	ЛГПС ¹	ТГПС ²	Зола
Стержни кукурузных початков	31,5 – 45 ,0	14,5 – 18 ,6	32,6 – 34 ,8	36,7	34,0 – 38 ,0	32,0 – 35 ,4	1,1 – 1, 3
Солома пшеницы	30,0 – 38 ,2	15,0 – 25 ,1	23,6 – 24 ,8	38,8	20,0 – 25 ,9	37,4	1,4 – 10 ,2
Солома тритикале	37,6	19,2	12,9	38,2	17,0	37,0	5,5
Солома ржи	32,0 – 38 ,0	22,9 – 24 ,5	27,7 – 31 ,0	–	27,7 – 28 ,8	40,4 – 49 ,3	3,1 – 4, 1
Свекловичный жом	4,7	0,8 – 3,0	–	–	72,9	24,0	3,0
Багасса сахарного тростника	36,0 – 43 ,0	19,0 – 24 ,0	23,9 – 27 ,5	–	24,7	42,2	3,0 – 7, 0
Рисовая шелуха	21,5 – 27 ,9	14,6 – 19 ,0	15,5	32,0	18,1	29,0	18,0
Лузга семян подсолнечника	33,8	28,2 – 29 ,1	17,2 – 18 ,4	28,0	19,7 – 21 ,9	25,1 – 28 ,7	2,1 – 2, 4
Плодовые оболочки овса	28,9	17,2	33,6	28,9	34,7	28,6	7,7

Примечание: ¹ – легкогидролизуемые полисахариды, ² – трудногидролизуемые полисахариды

Целлюлоза, волокнистые целлюлозосодержащие полуфабрикаты и лигноцеллюлозные материалы (ЛЦМ) являются ценным источником сырья для получения других продуктов их глубокой переработки с высокой добавленной стоимостью, в частности, порошкообразных целлюлозных материалов, к которым относят порошковую (ПЦ), микрокристаллическую (МКЦ), нанокристаллическую, микро- и нанофибрилярную целлюлозу [4, 5].

Среди способов получения ПЦ и МКЦ – механический, химический, термомеханический, осаждение целлюлозы в виде порошка из ее растворов [6] – наиболее распространенным является кислотный гидролиз целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов водными растворами минеральных кислот (соляной, серной, азотной), а также гидролиз без внесения катализаторов. В условиях кислотного гидролиза, необходимого для получения МКЦ, происходит деструкция химических связей преимущественно в аморфных участках волокон целлюлозы (а в лигноцеллюлозных материалах и гидролиз гемицеллюлоз). Среди недостатков этого способа можно выделить значительный расход реактивов на единицу продукта и, как следствие, значительный объем сточных вод.

Для повышения эффективности процесса и улучшения качества продукта разработаны различные способы обработки ЛЦМ: паровой взрыв, автогидролиз, выделение целлюлозы паровзрывной обработкой растительных отходов с последующей делигнификацией и гидролизом, химически активная экструзия, ферментативный гидролиз или его сочетание с кислотным гидролизом.

Наиболее перспективный способ – автогидролиз-взрыв, который представляет собой обработку исходного материала насыщенным паром под давлением, создаваемым паром, при температуре 170-200 °С) с последующим быстрым сбросом давления до атмосферного (эффект парового взрыва). Существенным преимуществом этого способа является осуществление процесса в течение непродолжительного времени и без внесения катализаторов. К основным недостаткам можно отнести сложность оборудования и трудность контроля технологических условий для оптимизации выхода и качества получаемого продукта. В таких условиях происходит гидролиз гемицеллюлоз, часть лигнина переходит в растворимую форму, волокнистые аморфные части полимерных цепей целлюлозы гидролизуются, а кристаллические сегменты остаются в неизменном состоянии.

Конвективный способ нагрева требует значительного времени выхода на температурный режим выдерживания. Существенно интенсифицировать процесс можно применением нагрева с использованием СВЧ-энергии [7], которая обеспечивает интенсивный, равномерный и практически безынерционный нагрев в массе материала, исключает получение и применение традиционных теплоносителей и связанных с этим процессов и оборудования, а также уменьшает загрязнение атмосферного воздуха.

В качестве сырья для проведения исследований были выбраны солома тритикале и солома пшеницы как одни из наиболее распространенных отходов сельскохозяйственного производства. Паровзрывной автогидролиз (ПВАГ) предварительно измельченной до фракции 1-2 мм соломы тритикале проводили на установке (рис. 1), обеспечивающей нагрев и выдерживание влажных (гидро модуль 1: 5) образцов под давлением 1,65-2,1 МПа в атмосфере диоксида углерода, азота и водяного пара в течение 3-10 мин с последующим мгновенным сбросом давления (1-2 с) до атмосферного при различных параметрах выдерживания:

- 1) СВЧ-нагрев до 145-150 °С; давление 1,00-1,05 МПа в атмосфере CO₂, продолжительность 1,5-3,5 мин;
- 2) конвективный нагрев до 195-215 °С; давление 1,60-1,80 МПа в атмосфере CO₂, продолжительность 6 мин;
- 3) нагрев водяным паром до 180-195 °С; давление 1,65-2,10 МПа, продолжительность 10 мин.

Полученные продукты отфильтровывали, высушивали и определяли влажность, содержание α-целлюлозы и лигнина, насыпную плотность и степень полимеризации.

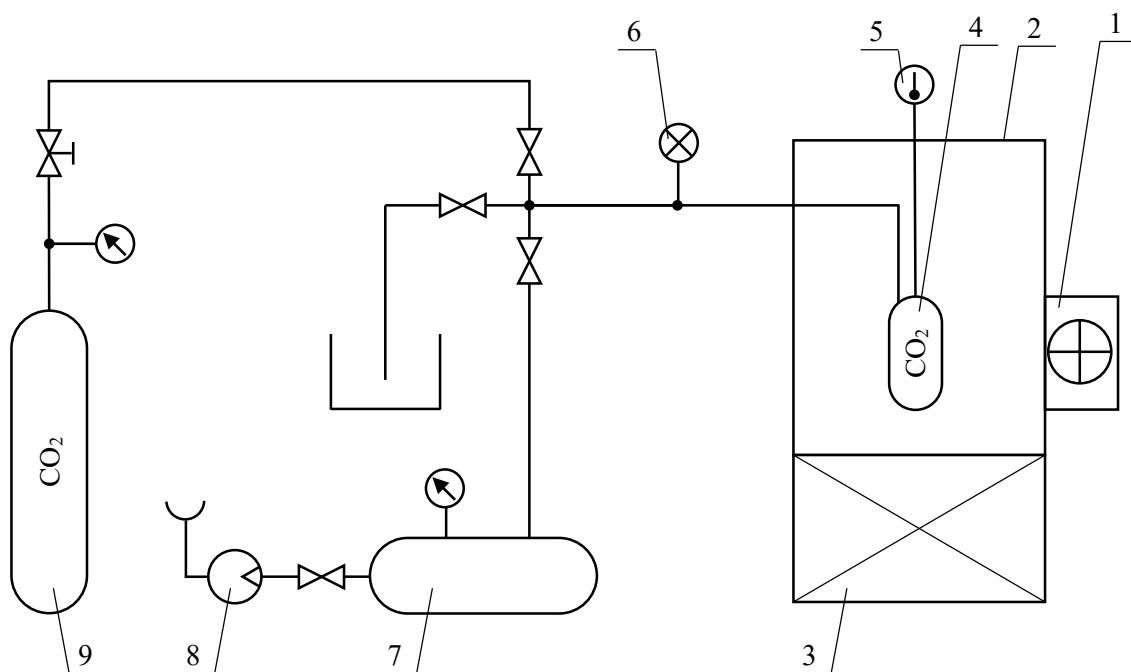


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для ПВАГ:
 1 – магнетрон, 2 – защитный экран, 3 – управление магнетроном,
 4 – капсула-реактор, 5 – датчик температуры, 6 – мановакуумметр,
 7 – вакуумный ресивер, 8 – вакуумный насос, 9 – баллон с газом

Характеристика полученных из соломы тритикале методом ПВАГ продуктов при различных режимах процесса (рис. 2) соответствуют требованиям, предъявляемым к технической МКЦ и порошковой целлюлозе.

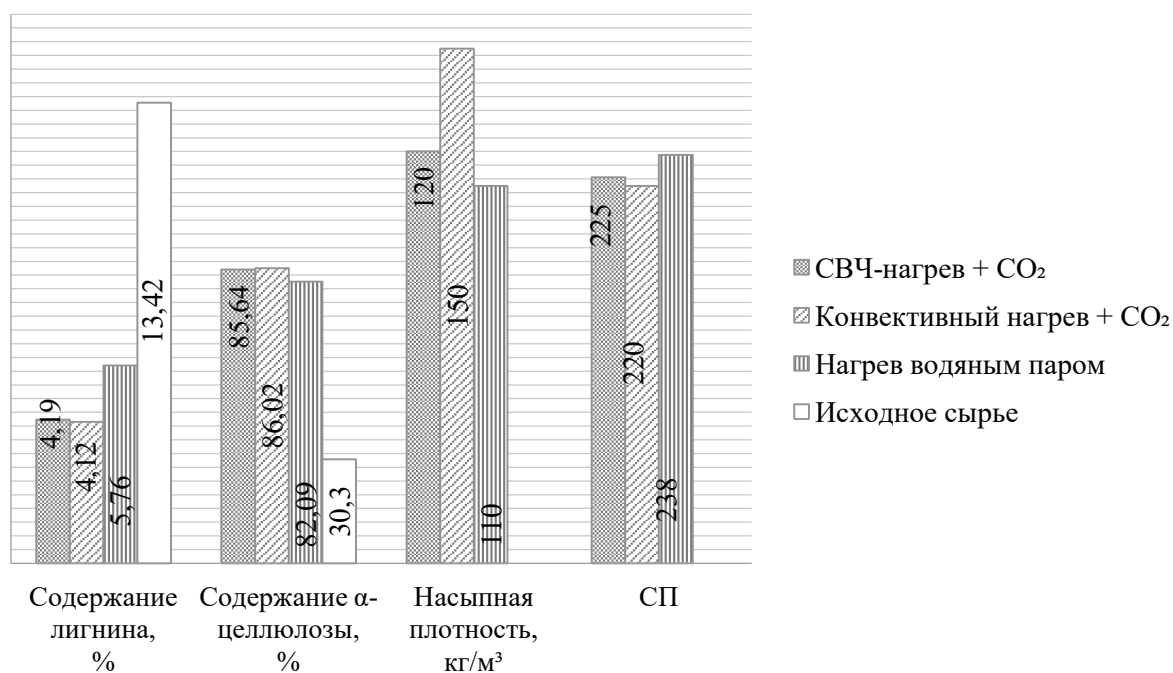


Рисунок 2 – Основные характеристики МКЦ, полученной из соломы тритикале при различных режимах автогидролиза-взрыва

Порошковый продукт, полученный с помощью физического воздействия (безреактивного парового взрыва), имеет неоднородную структуру и содержит значительное количество карбоксильных групп. Для улучшения характеристик получаемого продукта проводили предварительную обработку соломы тритикале отбеливающими агентами (10 %-ными растворами щелочей) в течение 30 мин перед загрузкой в реактор. Полученные результаты (табл. 2) показали, что применение СВЧ-нагрева при ПВАГ позволяет значительно интенсифицировать процесс, а также увеличить выход целевых продуктов за счет сокращения времени нагрева и, как следствие, сокращения количества образующихся продуктов вторичных превращений моносахаридов [8].

Таблица 2 – Результаты обработки соломы тритикале методом ПВАГ

№	Условия обработки:					Содержание лигнина, %	Содержание целлюлозы, %	Выход в пересчете на целлюлозу, %
	реагент	тип нагрева	t, °C	P, МПа	τ^* , мин			
0	исходный материал					19,34	54,28	100
1	КОН	конвективный	195	1,60	60+6	4,12	86,02	79
2	КОН		210	1,6	60+6	5,37	85,39	74
3	NaOH		215	1,85	60+6	5,75	85,28	72
4	КОН	СВЧ-нагрев	150	0,5	6	5,84	85,15	78
5	КОН		150	0,3	17,5	5,67	85,21	75
6	КОН		145	1,05	3,5	4,19	85,64	88
7	КОН		150	1,0	1,5	5,22	85,42	83

Примечание: * 60 мин – время выхода на режим, т. е. нагрев до температуры выдержки; для СВЧ-нагрева время выхода на режим составляло от 5 до 10 мин.

Для определения оптимального алгоритма обработки проводили обработку соломы пшеницы с различной последовательностью и различными реагентами для проведения процесса при одинаковом режиме. Определены выход продуктов и их компонентный состав (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты обработки соломы пшеницы методом ПВАГ с СВЧ-нагревом

№	Условия предварительной обработки	Режим обработки	Содержание, % от массы а.с.с.				Выход в пересчете на целлюлозу, %
			лигнина	ЛПП С	ТПП С	целлюлозы	
0	Исходный образец		19,3	22,76	38,56	31,17	100
8	4 %-ный КОН ¹	t = 170°C p=1,0 МПа $\tau = 7$ мин	9,72	18,54	27,63	84,10	88
9	4 %-ная H ₂ O ₂ ¹		4,74	21,17	31,12	88,17	92
10	4 %-ная H ₂ O ₂ ²		9,50	21,65	31,41	86,65	84
11	4 %-ная H ₂ O ₂ ³		9,68	21,44	31,25	84,15	85

Примечание: ¹ – реагент добавлен непосредственно в реактор перед проведением ПВАГ;

² – предварительная обработка H₂O₂ с выдержкой 30 мин и загрузкой в реактор для ПВАГ без промывки;

³ – предварительная обработка H₂O₂ с выдержкой 30 мин и последующей промывкой перед ПВАГ.

По выходу готового продукта, содержанию в нем целлюлозы и лигнина наилучшие результаты получены в образцах №1, 6 и 9. Для этих образцов были определены степень полимеризации, насыпная плотность и зольность (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели качества образцов порошковой целлюлозы

№	Выход, %	Содержание лигнина, % _{мас.}	Содержание, целлюлозы, %	Степень полимеризации	Насыпная плотность, кг/м ³	Содержание золы, % _{мас.}
1	89	4,12	86,02	220	150	1,43
6	88	4,19	85,64	225	120	1,47
8	92	4,74	88,17	216	120	1,45

Таким образом, применение ПВАГ с использованием СВЧ-нагрева для получения порошковых целлюлозных продуктов из растительного сырья позволяет уменьшить вредное воздействие на окружающую среду за счет снижения удельного расхода реактивов и уменьшения количества кислых сточных вод по сравнению с традиционно проводимым гидролизом. СВЧ-обработка позволяет значительно интенсифицировать процесс ПВАГ и сократить энергозатраты. Предварительная обработка сырья отбеливающими реагентами (раствор щелочи или перекиси водорода) обеспечивает наибольший выход продукта с удовлетворительными физико-химическими показателями.

Список литературы

1. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 496 с.
2. Аликаев В. А., Петухова А. В. Справочник по контролю кормления и содержания животных. – М: Колос, 1982. – 436 с.
3. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – Ч. II / С. Н. Васильев [и др.]; под общ. ред. В. А. Столярова. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2007. – 1142 с.
4. Miller J. Nanocellulose producers, products and applications: a guide for end users. – TAPPI, 2017. – 160 pp.
5. Miller J. Nanocellulose challenges and opportunities: end users perspectives. TAPPI, 2018. 75 pp.
6. Сеницын А. П., Сеницына О. А. Биоконверсия возобновляемой растительной биомассы на примере биотоплива второго поколения: сырьё, предобработка, ферменты, процессы, экономика // Успехи биологической химии. – Т. 61. – 2021. – С. 347-414.
7. Preparation of microcrystalline cellulose from rice straw under microwave irradiation / Fan Guo-Zhi, Wang Yue-Xin, Song Guang-Sen, Yan Jun-Tao, Li Jian-Fen // J. Appl. Polym. Sci. 2017. – № 22. – P. 134.
8. Патент РБ ВУ 23738 МПК D 21C 1/06 D 21C 3/22 Способ получения микрокристаллической целлюлозы / В. С. Болтовский, А. М. Залуцкая, Л. А. Сергеевко, Н. М. Горбачев, Д. С. Макаренко; УО БГТУ. Заявлено 16.12.2020; опубл. 30.06.2022. – 4 с.

OBTAINING OF POWDERED CELLULOSE FROM PLANT AGRICULTURAL PRODUCTION RESIDUE BY STEAM EXPLOSION WITH MICROWAVE RADIATION HEATING

L. A. Sergeyenko^{1*}, V. S. Boltovsky¹, N. M. Gorbachev², D. S. Makarenko²

¹Belorussian State Technological University, Minsk

²A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk

*E-mail: kanapelka.lidziya@gmail.com

Abstract. Steam explosion of triticale straw (pressure 1,65 – 2,1 MPa, temperature 180 – 195 °C, time of processing 3 – 10 min) in nitrogen or carbon dioxide environment allowed to

obtaining powdered cellulose with high α -cellulose content and low lignin content. Such treatment ensured hydrolysis of hemicelluloses and obtaining soluble lignin that was removed using solution of sodium hydroxide or hydrogen peroxide (4%_{mas.}). Application of microwave heating instead of convective heating substantially intensified the process and decreased secondary reactions of reducing substances that can be explained by declining of the time to reach the treatment temperature. The properties of obtained product were defined.

Keywords: lignocellulosic material, steam explosion autohydrolysis, microwave radiation, powdered cellulose.

References

1. Khol'kin, Iu. I. *Tekhnologiya gidroliznykh proizvodstv* [Hydrolysis production technology], Moscow, Lesnaia promyshlennost', 1989. – 496 p. (In Russian).
2. Alikaev V. A., Petukhova A. V. *Spravochnik po kontroliu kormleniia i sodержaniia zhivotnykh* [Animal Feeding and Management Handbook]. Moscow, Kolos, 1982. – 436 p. (In Russian).
3. Vasil'ev S. N. *Novyi spravochnik khimika i tekhnologa. Syr'e i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv. Ch.II.* [New handbook of chemist and technologist. Raw materials and industrial products and inorganic substances. Part II.] 2nd ed. Ed. V. A., Stoliarov. SPb.: ANO NPO «Professional», 2007. – 1142 p. (In Russian).
4. Miller J. Nanocellulose Producers, Products and Applications: A Guide for End Users. Atlanta, TAPPI Press, 2017. – 160 p.
5. Miller J. Nanocellulose Challenges and Opportunities: End Users Perspectives. Atlanta, TAPPI Press, 2018. – 75 p.
6. Sinicyn A. P., Sinicya O. A. Biokonversiya vozobnovlyaemoj rastitel'noj biomassy na primere biotopliva vtorogo pokoleniya: syr'yo, predobrabotka, fermenty, processy, ekonomika [Bioconversion of renewable plant biomass using the example of second generation biofuels: raw materials, pre-treatment, enzymes, processes, economics]. *Uspekhi biologicheskoi himii* [Advances in biological chemistry], 2021, vol. 61. P. 347-414. (In Russian).
7. Preparation of microcrystalline cellulose from rice straw under microwave irradiation / Fan Guo-Zhi, Wang Yue-Xin, Song Guang-Sen, Yan Jun-Tao, Li Jian-Fen // *J. Appl. Polym. Sci.*, 2017. № 22. – P. 134.
8. Boltovskij V. S., Zaluckaya A. M., Sergeenko L. A., Gorbachev N. M., Makarenko D. S. *Sposob polucheniya mikrokristallicheskoj cellyulozy* [Method for producing microcrystalline cellulose]. Patent RB no. BY 23738, 2022. (In Russian)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

М. О. Еремеев, С. А. Семилет, В. И. Яровая*, С. В. Яровой

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика

М. Ф. Решетнёва, Красноярск

**E-mail: welta0007@mail.ru*

Аннотация. В данной статье приведен сравнительный анализ бумагообразующих показателей волокнистой массы, полученной из лиственного и хвойного сырья при размоле ее с использованием гарнитуры с криволинейной формой ножей.

Ключевые слова: размол, гарнитура с криволинейной формой ножей, бумагообразующие свойства, волокнистая масса.

Вся история развития целлюлозно-бумажного производства неразрывно связана с познанием свойств волокнистого сырья и продуктов его переработки, получивших название «бумагообразующие свойства».

Бумагообразующие свойства бумаги – это одни из важнейших показателей, которые существенно влияют на качество готовой продукции. От них зависит поведение волокнистого материала в технологических процессах, а также они оказывают влияние на свойства готовой продукции.

Бумагообразующие свойства бумаги выражают различными показателями, характеризующими степень помола, длину волокна, время размола, водоудерживающую способность и другими.

Сырьем для изготовления разных полуфабрикатов является древесина девяти основных пород, используемых в различных соотношениях: ели, сосны, пихты, ольхи, лиственницы, тополя, березы, осины, бука. Наряду с этими породами в меньшем количестве используется также древесина эвкалипта, каштана, липы, дуба, клена и других пород. Указанное сырье делится на две группы: хвойные и лиственные породы древесины, отличающиеся между собой по химическому составу и морфологическим признакам [1].

Основные преимущества лиственной древесины: дешевизна, получение листа более однородной структуры, хорошие печатные свойства бумаги.

Недостатки: тонет в воде из-за повышенной плотности, неприменим метод мокрой окорки, хуже некоторые показатели механической прочности бумаги, такие как влагопрочность и поверхностная прочность, повышенное содержание мелких волокон в сточной воде [1].

В связи с этим актуальным является получение более качественной продукции при меньших затратах на производство. Решить эту задачу можно подбором вида сырья и технологических параметров, которые позволят повысить качество получаемого продукта и при этом снизить энергозатраты на процесс размола.

Основной задачей данной работы является сравнительный анализ бумагообразующих показателей волокнистой массы при использовании лиственной и хвойной целлюлозы.

Исследования проводились на полупромышленной дисковой мельнице в лаборатории кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» СибГУ им. М. Ф. Решетнёва.

Размолу подвергалась лиственная и хвойная целлюлоза.

Для обработки хвойной целлюлозы была использована хвойная белёная сульфатная целлюлоза (филиал АО «ИЛИМ ГРУПП» г. Братск, промплощадка ЛПК). Для обработки волокнистой массы использовали гарнитуру с криволинейной формой ножей [2]. Технологические параметры: зазор между ножами ротора и статора – 0,1 мм, концентрация массы – 1, 2 и 3 %, частота вращения ротора была выбрана 2000 об/мин, поскольку учёными

Ю. Д. Алашкевичем, В. И. Шуркиной, было выявлено, что оптимальное число оборотов ротора при использовании гарнитуры с криволинейной формой ножей для хвойной целлюлозы является $n=2000$ об/мин [3].

Для предварительной подготовки суспензии перед экспериментами использовался лабораторный гидроразбиватель с мешалками вертикального и наклонного типа.

На основании экспериментальных данных построена графическая зависимость прироста степени помола от времени размола волокнистого полуфабриката в зависимости от его вида при фиксированном зазоре 0,1 (рис. 1).

Полученные экспериментальные данные показывают, что на продолжительность размола значительное влияние оказывает вид волокнистого полуфабриката.

Для размола лиственной целлюлозы потребовалось затратить значительно больше времени, в сравнении с хвойной. Например, для размола хвойной целлюлозы с концентрацией массы 1 % до степени помола 50 °ШР потребовалось 14 минут, в то время как для лиственной целлюлозы 45 минут.

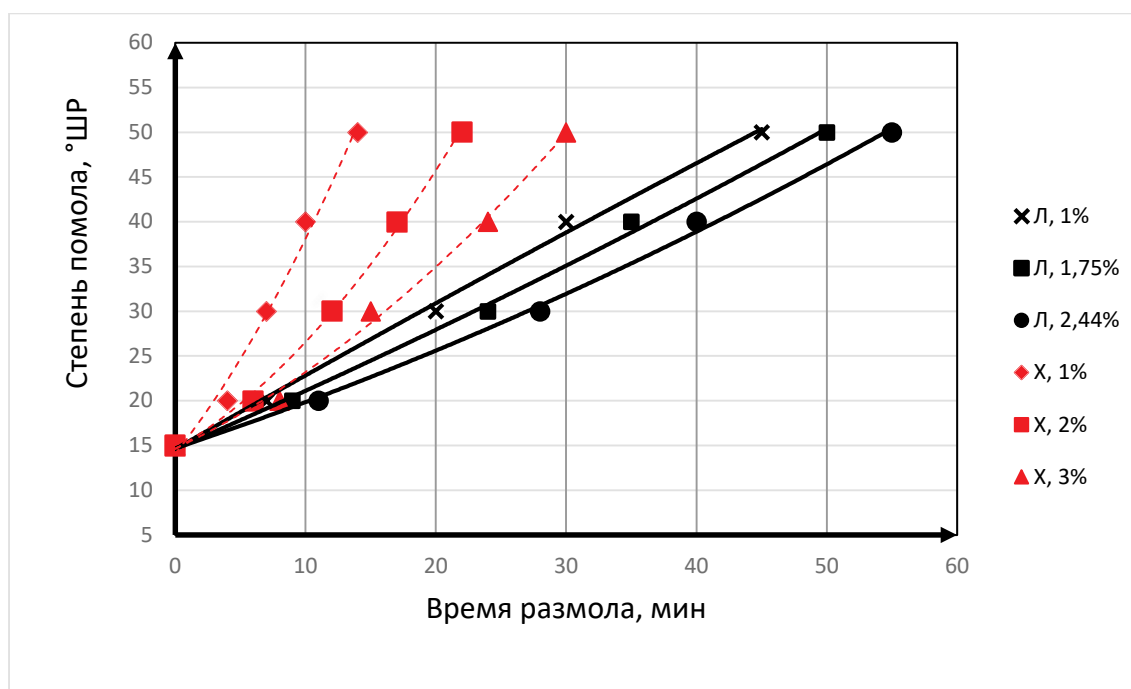


Рисунок 1 – Зависимость прироста степени помола от времени, затраченного на размол при различных видах и концентрациях сырья:

Л, 1 % – лиственная целлюлоза с концентрацией 1 %; Л, 1,75 % – лиственная целлюлоза с концентрацией 1,75 %; Л, 2,44 % – лиственная целлюлоза с концентрацией 2,44 %; X, 1 % – хвойная целлюлоза с концентрацией 1 %; X, 2 % – хвойная целлюлоза с концентрацией 2 %; X, 3 % – хвойная целлюлоза с концентрацией 3 %

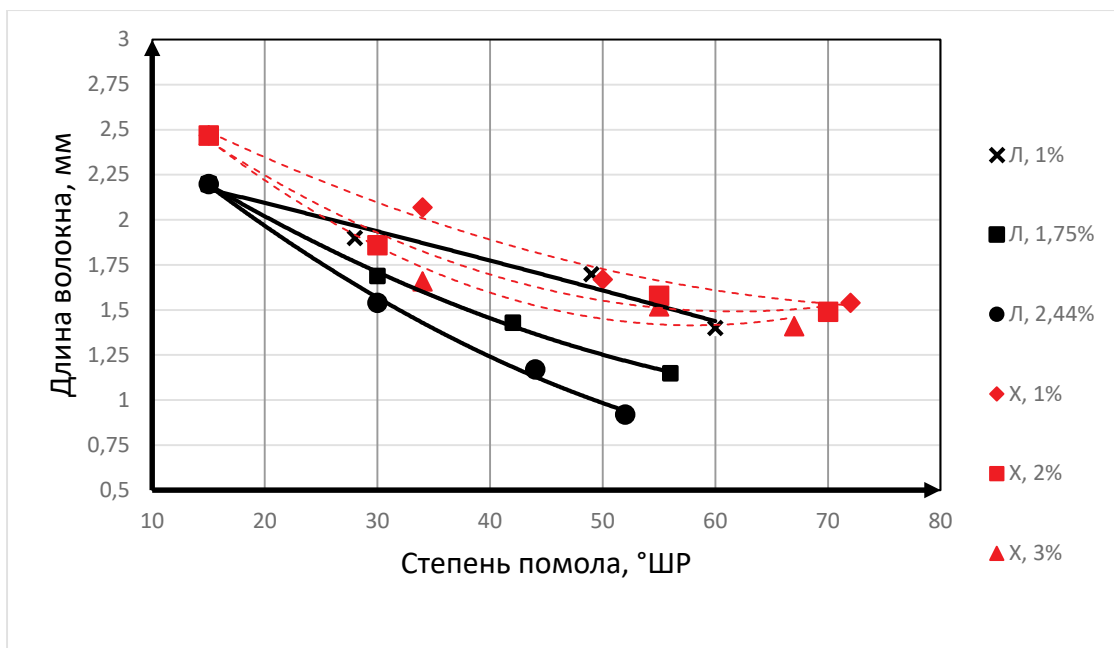


Рисунок 2 – Зависимость средней длины волокна от прироста степени помола при различных видах и концентрациях сырья:

Л, 1 % – лиственная целлюлоза с концентрацией 1 %; *Л, 1,75 %* – лиственная целлюлоза с концентрацией 1,75 %; *Л, 2,44 %* – лиственная целлюлоза с концентрацией 2,44%; *X, 1 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 1 %; *X, 2 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 2 %; *X, 3 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 3 %

На рисунке 2 представлена зависимость средней длины волокна от прироста степени помола для различных видов и концентраций волокнистого сырья.

Из графика, представленного на рисунке 2, видно, что с увеличением степени помола значение средней длины волокна снижается.

Форма кривых, независимо от концентрации волокнистой суспензии и типа набора ножей, имеет одинаковый качественный характер и является параболической кривой. Значения изменения длины волокна лиственной целлюлозы лишь немного отличаются от значений хвойной целлюлозы. Как известно, лиственная целлюлоза имеет более короткие волокна, чем хвойная [4]. Проанализировав графики, можно сделать вывод, что размол хвойной целлюлозы проходил быстрее за счет преобладания рубящего воздействия криволинейной гарнитуры на волокно, но для массы из лиственной целлюлозы наблюдается фибриллирующее воздействие. Это объясняет то, что показатели длины волокна для разных масс имеют схожие показатели.

Зависимость водоудерживающей способности от степени помола при различных видах и концентрациях сырья представлена на рисунке 3.

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, что наименьший показатель водоудерживающей способности наблюдается при использовании лиственной целлюлозы.

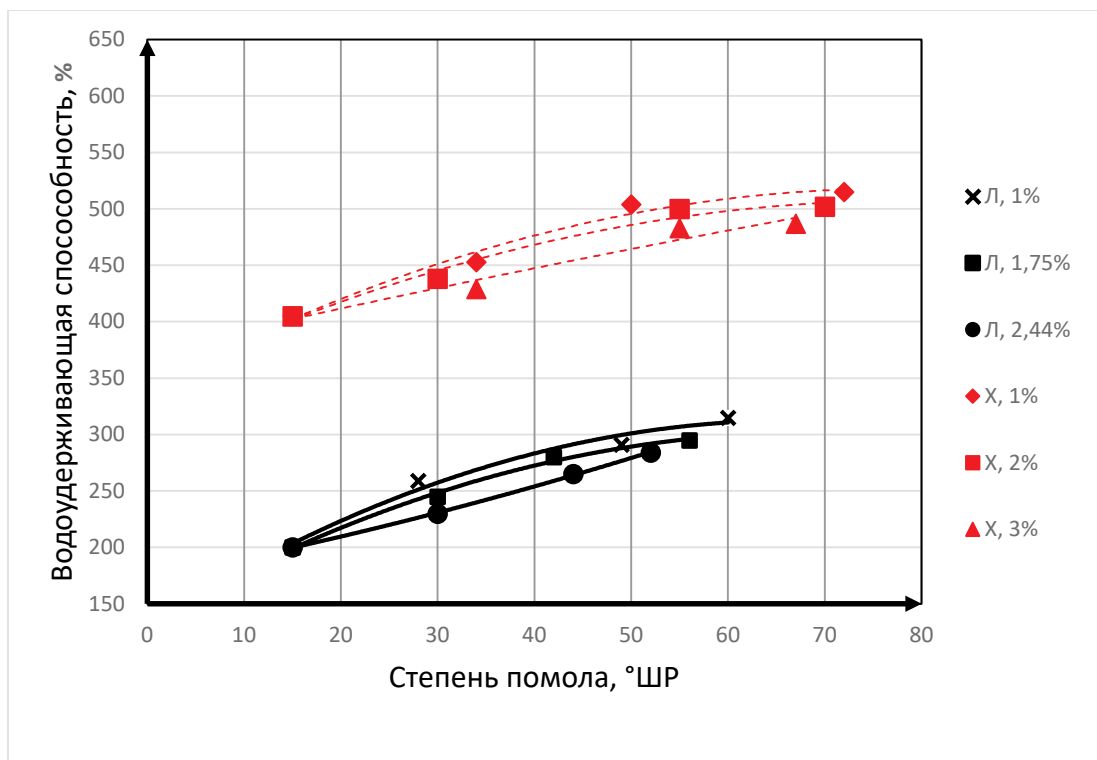


Рисунок 3 – Зависимость водоудерживающей способности от прироста степени помола при различных видах и концентрациях сырья:

Л, 1 % – листовая целлюлоза с концентрацией 1 %; *Л, 1,75 %* – листовая целлюлоза с концентрацией 1,75 %; *Л, 2,44 %* – листовая целлюлоза с концентрацией 2,44%; *Х, 1 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 1 %; *Х, 2 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 2 %; *Х, 3 %* – хвойная целлюлоза с концентрацией 3 %

С увеличением степени помола массы происходит повышение водоудерживающей способности, как в случае хвойной целлюлозы, так и в случае листовой. Увеличение водоудерживающей способности характеризуется увеличением поверхности волокна, что, в свою очередь, способствует лучшему контакту и соединению отдельных волокон в бумажный лист [4]. Но также это имеет и свои минусы. Высокий показатель водоудерживающей способности говорит о том, что при отливе бумажного полотна обезводить массу достаточно затруднительно, так как задерживается влага.

Список литературы

1. Фляте, Д. М. Технология бумаги. Учебник для вузов / Д. М. Фляте. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
2. Пат. 2307883. Российская Федерация, МПК51 D21D1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура [Текст] / Алашкевич Ю. Д., Ковалев В. И., Харин В. Ф., Мухачев А. П.; заявитель и патентообладатель: Сибир. Госуд. Технолог. Ун-т № 2006110647/12.; заявл. 03.04.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. №28. – 5 с.
3. Шуркина В. И. Совершенствование ножевого размала волокнистых растительных полимеров в целлюлозно-бумажном производстве: дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2016. – 145 с.
4. Иванов, С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PAPER-FORMING INDICATORS OF FIBROUS MASS WHEN USING DIFFERENT TYPES OF RAW MATERIALS

M. O. Ereemeev, S. A. Semilet, E. A. Slizikova, V. I. Yarovaya*, S. V. Jarovoj
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk
*E -mail: welta0007@mail.ru

Abstract: This article provides a comparative analysis of the paper-forming characteristics of the fibrous mass obtained from hardwood and softwood raw materials when grinding it using a set with a curvilinear knife shape.

Keywords: grinding, set with curved blade shape, paper-forming properties, fibrous mass.

References

1. Flyate, D. M. Paper technology. Textbook for universities / D. M. Flyate. – M.: Forest Industry, 1988. – 440 p. – Text: direct.
2. Pat. 2307883. Russian Federation, IPC51 D21D1/30, B02C 7/12. Grinding headset [Text]/ Alashkevich Yu. D., Kovalev V. I., Kharin V. F., Mukhachev A. P.; applicant and patent holder: Sibir. State Technologist. University No. 2006110647/12.; application 04/03/2006; publ. 10.10.2007, Bulletin. No. 28. – 5 s.
3. Shurkina V. I. Improving knife grinding of fibrous plant polymers in pulp and paper production: dis. ...cand. tech. Sci. – Krasnoyarsk, 2016. – 145 p. – Text: direct.
4. Ivanov, S. N. Paper technology / S. N. Ivanov - M.: School of Paper, 2006. - 696 p. – Text: direct.

ВЛИЯНИЕ РАЗМОЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ ПРИ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ

К. А. Хохлов*, А. А. Карелина, В. А. Кожухов, Ю. Д. Алашкевич
*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева,
г. Красноярск*

**E-mail: hkostya_2001@mail.ru*

Аннотация. С каждым годом всё более актуальным становится вопрос о поиске альтернативных древесному сырью источников для целлюлозно-бумажной промышленности. Таким источником могут стать однолетние растения. На кафедре МАПТ СибГУ им. М. Ф. Решетнева проводятся исследования по размолу технической конопли при высокой концентрации на лабораторной дисковой мельнице. Использование технической конопли даёт возможность получения готовой продукции без химической обработки, что значительно снижает вредные выбросы при получении готовой продукции. Вместе с тем готовая продукция из технической конопли может быть использована в целлюлозно-бумажной промышленности для определенных видов бумаги, например, упаковочной.

Ключевые слова: однолетние растения, размол, экология.

Чтобы лесные массивы можно было использовать в качестве сырья для производства целлюлозы, деревьям требуется от 60 до 80 лет, а для сбора урожая технической конопли с аналогичными целями необходимо от 3 до 4 месяцев. Необходимо иметь в виду, что конопляная солома/ треста содержит в себе до 70 % целлюлозы, что значительно превышает данный показатель для древесины (порядка 50 %).

Кроме прочего, техническая конопля содержит в 3 раза меньше лигнина, чем древесина. Это вещество придает бумаге желтоватый оттенок и создает условия, при которых изготовленная из древесной целлюлозы бумага становится хрупкой

За последнее время, благодаря уникальным технологическим свойствам, конопляная продукция получила новые, нетрадиционные направления использования. За рубежом внедрены эффективные экологически чистые технологии выделения целлюлозы из конопли и получения котонизированного волокна, являющегося экологичным сырьем для текстильной промышленности. Используя целлюлозу конопли, отдельные страны существенно сократили вырубку лесов и обеспечили сохранность экологической среды [1].

По сравнению с обычной древесной бумагой, конопляная бумага обладает превосходными качествами, такими как более высокая прочность, длина и тонкость. Из длинных лубяных волокон конопли получают бумагу прекрасного качества, не содержащую кислоты. В производстве конопляной бумаги используется меньше химикатов, чем в бумаге на основе древесины. Она не становится желтой, ломкой и не распадается со временем, как обычная бумага. Это более быстрый и эффективный способ выращивания волокна, чем использование деревьев. Бумага также качественная и прочная для длительного хранения бланков, денежной бумаги и производства сигарет. Конопляная бумага применяется в таких изделиях как технические фильтры, банкноты, библейская бумага, диэлектрическая и медицинская бумага, из-за высокой цены на конопляную целлюлозу. Специальная бумага также включает бумагу для чайных пакетиков, фильтры для кофе, специальные нетканые материалы, жиронепроницаемую бумагу [2].

Учеными Чувашского НИИСХ в 2001 г. был создан первый отечественный сорт конопли посевной для целлюлозно-бумажной промышленности – Антонио – с высоким содержанием целлюлозы в древесинной части стебля растений. Исследования показали, что

признак «содержание целлюлозы» в процессе селекции хорошо реагирует на действие позитивного семейственно-группового отбора. Если в начале цикла непрерывного отбора (1995 г.) среди селекционной элиты преобладали потомства с содержанием целлюлозы в древесине 45-50 %, то на заключительном этапе (2001 г.) превалировали биотипы с содержанием целлюлозы 55-60 %. Однако поддерживающая селекция и семеноводство этого сорта не ведется с 2014 г.

Таким образом, применение семейственно группового отбора при селекции по данному признаку эффективно и должно составлять основу методологии при создании современных конкурентоспособных сортов безнаркотической конопли среднерусского экотипа с более высокими показателями содержания целлюлозы (до 65 % и более), что существенно увеличит рентабельность возделывания культуры в промышленных масштабах [1, 3].

Значимость работ состоит в расширении направлений использования конопли как возобновляемого сырьевого источника для различных стратегических отраслей экономики.

В связи с этим на кафедре машин и аппаратов промышленных технологий СибГУ им. М. Ф. Решетнева проводятся исследования по получению бумажной продукции из технической конопли. Особенностью исследования является то, что применяется только механический способ обработки волокнистого материала, что дает дополнительные экологические преимущества.

Предподготовка сырья проводится путем измельчения лубяных волокон, размолот сухим способом и последующим их замачиванием.

Размол проводится на лабораторной дисковой мельнице, на кафедре МАПТ, при концентрации волокнистой массы 10 %, скорости вращения ротора 2500 об/мин и межножевом зазоре 1,5 мм. Для сравнения физико-механических свойств использовались две различные гарнитуры: с окружной формой ножей и равномерным их распределением и традиционной гарнитурой с прямолинейной формой ножей.

Результаты показателя сопротивления продавливанию на рисунке 1 показывают максимальное его значение при степени помола 60 °ШР и использовании конструкции гарнитуры с окружной формой ножей.

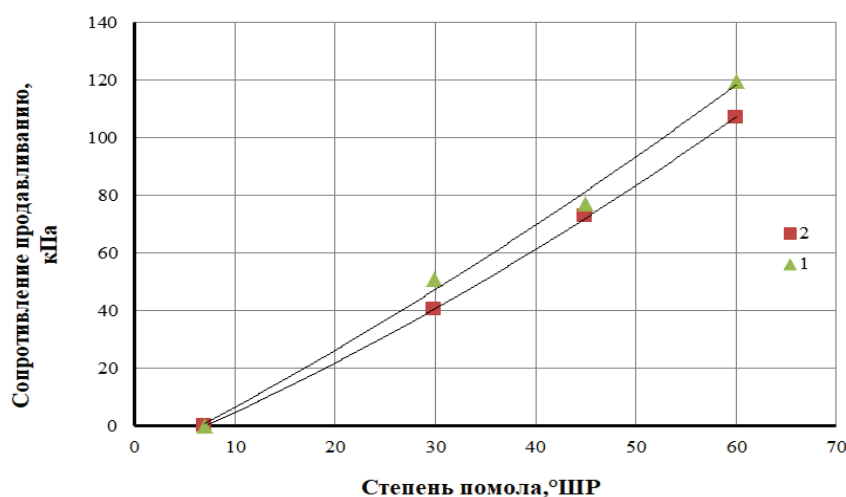


Рисунок 1 – Зависимость изменения сопротивлению продавливания от степени помола:

1 – гарнитура с окружной формой ножей и равномерным их распределением;

2 – традиционная гарнитура с прямолинейной формой ножей

Сопротивление продавливанию, как известно, является сложной функцией сопротивления разрыва и удлинения и зависит, в первую очередь, от длины волокон и сил связи между ними, показано изменение сопротивления продавливанию в процессе размола

целлюлозы при разных концентрациях массы. Как видно из графиков, сопротивление продавливанию интенсивно возрастает в начальный период и имеет близкую к линейной зависимость у обоих графиков. Увеличение сопротивления продавливанию происходит за счёт увеличения сил связи между волокнами, а снижение – за счёт уменьшения длины волокон.

Конструкция гарнитуры при размоле оказывает весьма существенное влияние на сопротивление продавливанию целлюлозы. Разновидность гарнитур при размоле даёт возможность, как видно из рисунков, получить большие значения сопротивления продавливанию. Например, целлюлоза, размолотая до 60 °ШР на гарнитуре окружной формы при концентрации массы 10 %, имеет сопротивление продавливанию 120 кПа, а на традиционной гарнитуре с прямолинейной формой ножей – 115 кПа [4, 5].

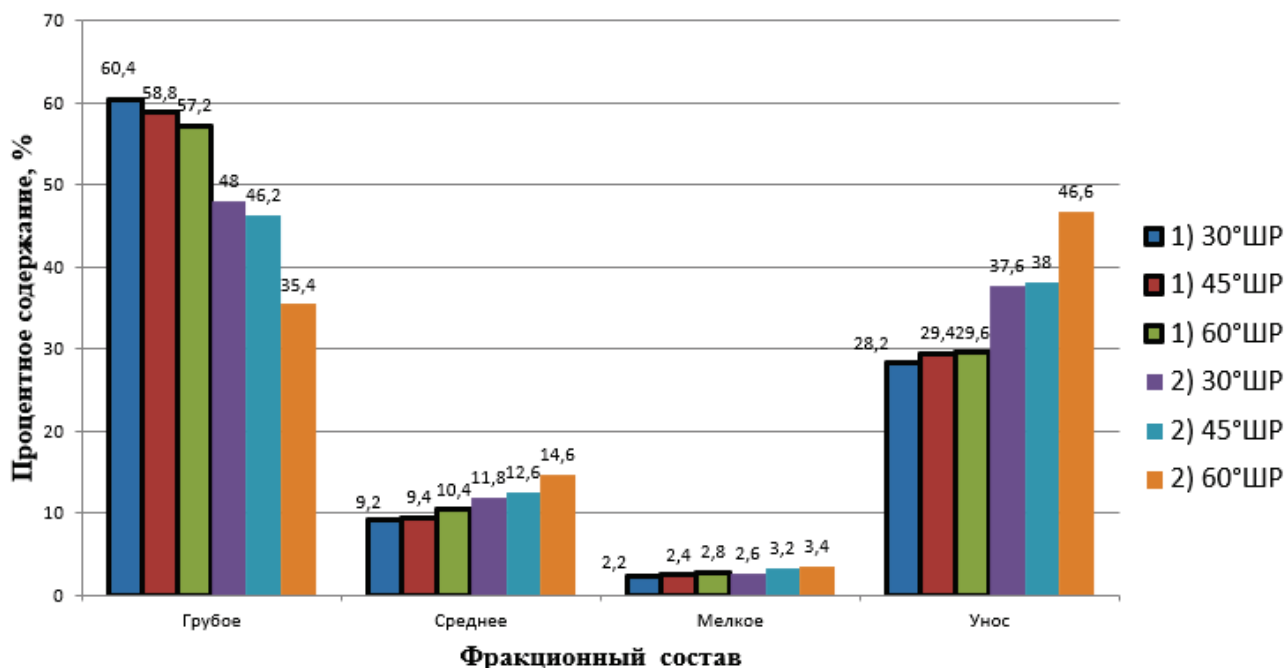


Рисунок 2 – Зависимость фракционного состава при концентрации 10%:
 1 – гарнитура с окружной формой ножей и равномерным их распределением;
 2 – традиционная гарнитура с прямолинейной формой ножей

Также следует отметить изменение фракционного состава массы в процессе размола целлюлозы при разных формах ножевых гарнитур.

При концентрациях массы 10 % на гарнитуре с окружной формой ножей наблюдается с увеличением степени помола уменьшение грубого и увеличение среднего и мелкого процентного содержания волокна, при этом также унос увеличивается.

Но по сравнению с традиционной гарнитурой с прямолинейным формой ножей начальные показатели значительно хуже. Так, например, содержание грубого волокна при 30 °ШР с окружной формой – 60,4%, а традиционная гарнитура при этой же степени помола имеет 48 % [4].

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Значения сопротивления продавливанию и фракционному составу целлюлозы для гарнитуры с окружной формой ножей выше, чем для гарнитуры с прямолинейной формой ножей. Это может объясняться тем, что при использовании гарнитуры с окружной формой ножей волокна подвергаются меньшему укорочению, нежели чем при размоле гарнитурой с прямолинейными ножами. Помимо меньшего укорочения волокна больше фибриллируются

благодаря конструктивным особенностям размалывающей гарнитуры, что в свою очередь увеличивает межволоконные силы связи.

2. Качественные и количественные зависимости показателей при размоле массы из однолетних растений при различных типах гарнитур, полученные в работе, практически не отличаются от аналогичных зависимостей при размоле целлюлозы из древесной массы.

Список литературы

1. Серков В. А., Белоусов Р. О., Александрова М. Р., Давыдова О. К. Новый сорт конопли посевной Роман для целлюлозно-бумажной промышленности // МСХ, 2021. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-sort-konopli-posevnoy-roman-dlya-tsellyulozno-bumazhnoy-promyshlennosti>.
2. Размол массы высокой концентрации из растительного сырья в ЦБП / А. А. Карелина, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов, К. А. Хохлов // Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения: Материалы IV Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП, Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2022 года / Отв. редактор – О. В. Фёдорова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2023. – С. 31-36. – EDN IUJKBP.
3. Степанов Г. С., Фадеев А. П., Романова И. В. Безнаркотические сорта конопли для адаптивной технологии возделывания. – Цивильск, 2005. – 35 с.
4. Патент № 2761545 С1 Российская Федерация, МПК D21D 1/30, B02C 7/00. размалывающая гарнитура: № 2021112036 : заявл. 26.04.2021: опубл. 09.12.2021 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, В. А. Кожухов, А. В. Ушаков; заявитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева». – EDN FGFMFA.
5. Ушаков А. В., Алашкевич Ю. Д., Кожухов В. А., Ковалев В. И. Современное состояние и перспективы совершенствования процесса размолы волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации (обзор) // Химия растительного сырья, 2020. – №4.

THE EFFECT OF REFINING TECHNICAL HEMP AT HIGH CONSISTENCY ON THE PAPER-FORMING PROPERTIES OF THE PULP

K. A. Khokhlov *, A. A. Karelina, V. A. Kozhukhov, Y. D. Alashkevich
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

**E-mail: hkostya_2001@mail.ru*

Abstract. Every year, the issue of finding alternative sources of wood raw materials for the pulp and paper industry becomes more and more urgent. Annual plants can become such a source. At the Department of MAPT of SibSU named after M.F. Reshetnev, research is being conducted on the grinding of technical hemp at high concentrations in a laboratory disc mill. The use of technical hemp makes it possible to obtain finished products without chemical treatment, which significantly reduces harmful emissions when receiving finished products. At the same time, finished products from technical hemp can be used in the pulp and paper industry for certain types of paper, for example packaging.

Keywords: annual plants, refining, ecology.

References

1. Serkov V. A., Belousov R. O., Alexandrova M. R., Davydova O. K. A new variety of hemp seed roman for the pulp and paper industry // Ministry of agriculture, 2021. – No. 3.
2. Grinding of high-concentration mass from vegetable raw materials in the pulp and paper mill / A. A. Karelina, Yu. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov, K. A. Khokhlov // Modern pulp and paper industry. Actual tasks and promising solutions : Materials of the IV International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of the Central Bank, St. Petersburg, November 14-15, 2022 / Editor-in-chief O. V. Fedorova. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2023. – pp. 31-36. – EDN IUJKBP.
3. Stepanov, G. S., Fadeev, A. P., Romanova, I. V. Beznarkoticheskie sorta konopli dlya adaptivnoi tekhnologii vozdeleyvaniya [Nonnarcotik cannabis varieties for adaptive cultivation technology]. Civilsk, 2005. – 35p.
4. Patent No. 2761545 C1 Russian Federation, IPC D21D 1/30, B02C 7/00. refining set : no. 2021112036 : dec. 04/26/2021 : publ. 09.12.2021 / Y. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, V. A. Kozhukhov, A. V. Ushakov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Reshetnev Siberian State University of Science and Technology». – EDN FGFMFA.
5. Ushakov A.V. Refining of fibrous semi-finished products of high consistency in the pulp and paper industry: PhD thesis: 05.21.03. – Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 2022 - 173 p.

СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА В ТОПЛИВНЫЕ БРИКЕТЫ ТВЁРДЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ И ОТХОДОВ КАРТОННО-БУМАЖНОЙ МАКУЛАТУРЫ, СОДЕРЖАЩИХ ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ

В. А. Рыжиков*, Э. Л. Аким, О. А. Ерохина, А. А. Пекарец

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: ryzhikov_vladimir@bk.ru*

Аннотация. Исследование параметров комбинированного топливного брикета для последующего сжигания в энергетической установке.

Ключевые слова: целлюлоза, бумага, экология, опилки, переработка отходов деревообработки, отходы ЦБП, утилизация.

В связи с проблемой перехода к низкоуглеродной циркулярной биоэкономике на сегодняшний день актуальна задача переработки отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащей целлюлозу и синтетические полимеры. К сожалению, например, при производстве макулатурного картона не всегда есть возможность утилизировать эти отходы (побочные продукты переработки), и их чаще всего захоранивают на объектах размещения отходов, что не только увеличивает площади этих объектов, но и приводит к дополнительным выбросам диоксида углерода без получения полезной энергии. Таким образом, эти достаточно крупнотоннажные отходы целлюлозно-бумажной промышленности пока еще не нашли своего места в процессе переработки с целью получения полезной энергии или топлива [1 – 2].

Объем потребления бумаги и картона в мире в 2022 году превышает 430 млн тонн, а объем потребления крупнотоннажных синтетических полимеров в мире в 2020 г. – свыше 360 млн тонн. Основным сырьем для производства синтетических полимеров является нефть, мировая добыча которой составляет около 4,5 млрд тонн в год (сернистых соединений в различных видах нефтей может быть более 10 %, хотя обычно этот показатель не превышает 6 %). Таким образом, на переработку в синтетические полимеры расходуется лишь 8 % нефти, а 92 % прямо или косвенно сжигается как топливо, с выделением не только углекислого газа, но и сернистых соединений.

Нами разрабатывается технология утилизации смешанных отходов, содержащих целлюлозу и синтетические полимеры в качестве компонентов топливных брикетов сверхвысокой плотности 1300-1320 кг/м³, получаемых по инновационной технологии, с их последующим сжиганием.

Проанализированы особенности сжигания топливных брикетов, содержащих в качестве компонентов древесину и синтетические полимеры в топках различного типа.

Предлагается использовать топливный брикет, состоящий из твердых древесных отходов и отходов сортировки картонно-бумажной макулатуры, содержащей целлюлозу и синтетические полимеры, размолотый в пыль с помощью системы пылеприготовления, с последующим сжиганием в низкотемпературной вихревой топке (НТВ-топке). Это дает высокий энергетический и экономический эффект, а также значительно повышает экологическое благополучие окружающей среды. Помимо этого, выполнены теплотехнические расчеты полезного использования тепловой энергии в виде тепла дымовых газов или перегретого пара для целлюлозно-бумажных производств.

В качестве исходного сырья используется древесная мука опилок лиственницы марки ДП 180 с исходной влажностью 10 %, предоставленная предприятием ООО «Прометей», и отходы тонкой сортировки макулатуры марки МС-5Б с исходной влажностью 55 %, предоставленные предприятием АО «КНАУФ ПЕТРОБОРД», в дальнейшем перемолотые при

помощи мельничного механизма в муку до фракции 200-250 мкм. Состав отходов сортирования макулатуры представлен на рис. 1.

Состав отхода:

N	Название компонента	Ci [мг/кг]	Wi [мг/кг]	Ki
1.	Полиэтен (Полиэтилен)	38700.000	208520.58600	0.18559
2.	Вода (в соответствии с п.11 Приказа МПРиЭ России №536 от 04.12.2014г.)	197800.000	1000000.0000 0	0.19780
3.	Бумага, картон (в соответствии с п.11 Приказа №536 от 04.12.2014г. МПР России)	723400.000	1000000.0000 0	0.72340
4.	Кремний диоксид (в соответствии с п.11 приказа МПРиЭ России №536 от 04.12.2014г.)	10600.000	1000000.0000 0	0.01060
5.	Полипропилен	29500.000	129154.96700	0.22841
	ИТОГО:	1000000.000		1.34580

Состав отхода определен полностью.

Примечание:

1. Ci – концентрация i-го компонента в отходе.
2. Wi – коэффициент степени опасности i-го компонента опасного отхода для ОПС.
3. Ki = Ci/Wi – показатель степени опасности i-го компонента опасного отхода для ОПС.
4. Информация о свойствах компонентов отходов относится к исходным данным пользователя. Ответственность за их полноту и актуальность несет пользователь программы.

Рисунок 1 – Состав отходов тонкой сортировки макулатуры

В лабораторных условиях Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД были проведены эксперименты по прессованию образцов с различной композицией в топливный брикет с заданной влажностью, которую определяли с помощью влагомера «AND MF-50». Процесс прессования выполнялся на установке «Instron1121» с помощью специальной пресс-формы. Цель данных экспериментов – сформировать брикет с различными пропорциями древесной муки лиственницы и отходов тонкой сортировки макулатуры. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Плотность брикетов при различной композиции сырья

Вид образца	Температура пресс-формы в процессе прессования, °С	Относительная влажность образца, %	Плотность полученного брикета после релаксации, кг/м ³
100 % отходов тонкой сортировки макулатуры	78 ± 2	10,7 ± 0,1	1125
50 % / 50 % Отходы тонкой сортировки макулатуры + древесная мука опилок лиственницы	78 ± 2	10,7 ± 0,1	1180
100 % древесной муки опилок лиственницы	78 ± 2	10,7 ± 0,1	1080

Исходя из результатов эксперимента, можно заметить, что плотность брикета зависит от композиции сырья при постоянных значениях температуры прессования и относительной

влажности образца. Наибольшая плотность соответствует композиции, состоящей из 100 % отходов тонкой сортировки макулатуры.

Также была определена низшая теплота сгорания комбинированного брикета, в соотношении 50/50, в калориметрической бомбе на двух разных поверенных калориметрах в учебной лаборатории. Теплотворная способность и химический состав топливного брикета представлены в табл. 2

Таблица 2 – Теплотворная способность и химический состав топливного брикета

Топливо	Низшая теплота сгорания $Q_{\text{г}}^{\text{н}}$, МДж/кг	Влажность, %	Зольность, %	Углерод, %	Водород, %	Азот, %	Кислород, %
Топливный брикет	14,2	6	2,9	47	4,5	0,6	39

Полученная теплотворная способность $Q_{\text{г}}^{\text{н}} = 14,2$ МДж/кг соответствует требованиям, предъявляемым к топливным брикетам

Для определения целесообразности внедрения данного топлива в промышленных масштабах необходимо провести ряд расчетов энергетической установки, в которой планируется сжечь топливо с дальнейшим полезным использованием выделившейся тепловой энергии. В нашем случае – это котлоагрегат с низкотемпературной вихревой топкой В. В. Померанцева [3]. В качестве примера был взят котел БКЗ-85-13 с паропроизводительностью 85 т/ч и давлением перегретого пара 1,3 Мпа. В данной энергетической установке необходимо рассчитать: материальный баланс процесса горения топлива, тепловой баланс котлоагрегата, тепловой поверочный расчет топочной камеры и остальных тепловоспринимающих поверхностей нагрева, аэродинамический расчет котлоагрегата, расчет вредных выбросов оксидов азота и в завершении – расчет экономического эффекта от перехода с полностью угольного топлива на топливо, предложенное в данной работе [4].

Следует отметить, что именно принципы двухступенчатого сжигания с использованием вихревых топок Померанцева лежат в основе эффективных систем сжигания древесных пеллет.

В основу технологии низкотемпературного вихревого сжигания заложен принцип организации низкотемпературного сжигания твердого топлива в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке. В НТВ-топке организованы две зоны горения, которые разнесены по ее высоте: вихревая и прямоточная. Вихревая зона занимает объем нижней части топки от устья топочной воронки до горелок. Прямоточная зона горения располагается над вихревой зоной в верхней части топки (рис. 2).

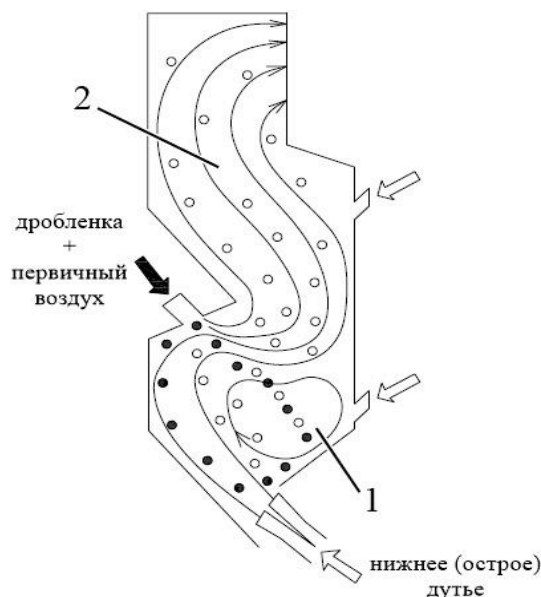


Рисунок – 2. НТВ-топка

Аэродинамика вихревой зоны создается за счет взаимодействия двух организованных потоков: первый поток сформирован из топливно-воздушной смеси, поступающей в топку через горелки; второй поток состоит из горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья. Потоки направлены навстречу друг другу и образуют пару сил, создающую вихревое движение в нижней части топки [3].

В отличие от традиционной технологии пылеугольного сжигания, где основная часть топлива (до 92-96 %) сгорает в так называемой «зоне активного горения», расположенной в районе горелок и занимающей относительно небольшой объем камерной топки, в вихревой топке с НТВ технологией сжигания в «зону активного горения» вовлечен значительно больший объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке (примерно на 100-300°C) и за счет активной аэродинамики выровнять уровень температуры в объеме вихревой зоны. Применение вихревой топки позволяет нивелировать различия в скорости витания частиц каменного угля, древесины, целлюлозных и древесных отходов.

В совокупности пониженный уровень температуры, ступенчатый ввод окислителя, многократная циркуляция горящих топливных частиц и угрубление гранулометрического состава золы обеспечивают улучшенные показатели вихревых топок по вредным выбросам оксидов азота, а также повышают эффективность работы золоулавливающего оборудования котельной установки.

Благодаря совокупности инновационной технологии изготовления брикетов и использования низкотемпературной вихревой топки Померанцева можно достигнуть положительных эффектов по улучшению экологической составляющей окружающей среды и по полезному использованию тепла, полученного из отходов производства, путем сжигания в НТВ-топке, а также получить сопутствующий экономический эффект от этой технологической цепочки.

Список литературы

1. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects // NY: CRC Press, Taylor & Francis Group., 2017. – P. 462.
2. Forest Products Annual Market Review 2021-2022, UNECE, 70 p.; Forest Products Annual Market Review 2019-2020 – Forestry and Timber – UNECE, 82 p. ISBN 978-92-1-117257-7.

3. Померанцев, В. В. Топки скоростного горения для древесного топлива [Текст] / канд. техн. наук В. В. Померанцев; М-во тяжелого машиностроения СССР. Главкотлотурбопром. Центр. науч.-исслед. ин-т им. И. И. Ползунова. – Москва; Ленинград: [Ленингр. отд-ние] Машгиза, 1948 (Л.: тип. "Профинтерн"). – 74 с.
4. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок [Текст]: учеб. пособие / С. Н. Смородин [и др.] ; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 200 с. – ISBN 978-5-91646-150-3.

JOINT RECYCLING OF SOLID WOOD WASTE AND WASTE CARDBOARD AND PAPER CONTAINING CELLULOSE AND SYNTHETIC POLYMERS INTO FUEL BRIQUETTES

V. A. Ryzhikov*, E. L. Akim, O. A. Erokhina, A. A. Pekarez
Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg, Russia
**E-mail: ryzhikov_vladimir@bk.ru*

Abstract. Researching parameters of a combined fuel briquette for subsequent combustion in a power plant.

Keywords: pulp, paper, ecology, sawdust, processing of woodworking waste, pulp and paper waste, recycling.

References

1. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects // NY: CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2017. – P. 462.
2. Forest Products Annual Market Review 2021-2022, UNECE, 70 rubles; Forest Products Annual Market Review, 2019-2020. – Forestry and Timber - UNECE, 82p. ISBN 978-92-1-117257-7.
3. Pomerantsev, V. V. Topki skorostnogo gorennya dlya drevesnogo topliva [Tekst] / kand. tekhn. nauk V. V. Pomerantsev; M-vo tyazhelogo mashinostroeniya SSSR. Glavkotloturboprom. Tsentr. nauch. -issled. in-t im. I. I. Polzunova. - Moskva; Leningrad: [Leningr. otd-nie] Mashgiza, 1948 (L.: tip. "Profintern"). – 74 s.
4. Teplovoy i aerodinamicheskiy raschety kotel'nykh ustanovok [Tekst]: ucheb.posobie / S.N. Smorodin [i dr.] ; M-vo obrazovaniya i nauki RF, VShTE SPbGUPTD. – 5-e izd., pererab. i dop. - SPb.: VShTE SPbGUPTD, 2018. – 200 s.– ISBN 978-5-91646-150-3.

ЭКСПРЕСС АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОТБЕЛКИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

И. В. Анисимов*, В. И. Сидельников, А. В. Кокшаров

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: fybcbvjd-bkmz0001@mail.ru*

Аннотация. Современная целлюлозно-бумажная промышленность модифицирует свои технологии отбели при производстве целлюлозы для повышения качества конечной продукции и снижения затрат на реагенты, при этом одной из задач является оперативный контроль качества отбели. Представляется, что одним из инструментов, имеющим перспективу в данном направлении, может быть область систем искусственного интеллекта, включающая в себя применение компьютерного зрения и методов машинного обучения с целью определения в автоматическом режиме степени белизны. В данной работе будет раскрыта тема использования машинного обучения для оценки качества отбели бумажного полотна и сопоставимости результатов, полученных экспресс-анализом и расчетных данных на основе выбранной модели обучения.

Ключевые слова: целлюлозное полотно, нейронные сети, машинное обучение, бумага, искусственный интеллект, белизна.

При использовании машинного обучения всегда необходимо тщательно подготавливать входные данные, поскольку от них напрямую зависит эффективность последующей работы нейронной сети [1]. По этой причине, исследование включало в себя предварительную обработку полученных фотоснимков целлюлозного полотна (рис. 1).



Рисунок 1 – Пример снимка целлюлозного полотна

Для использования фотоснимков необходимо исключить имеющиеся различные дефекты, поскольку использование таких кадров будет затруднять обучение нейронной сети. Основными факторами отбраковки фотографий являлись засветка и попадание в кадр дефектов целлюлозного полотна (рис. 2).

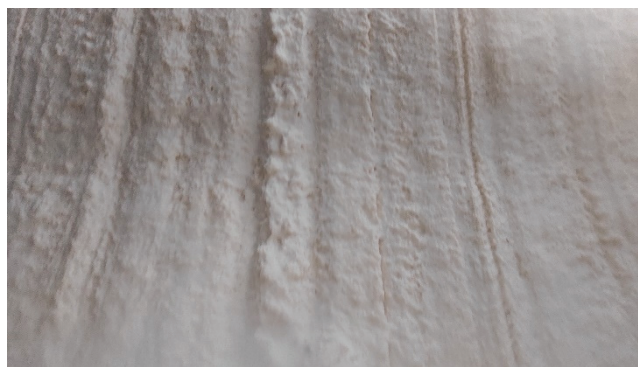


Рисунок 2 – Пример отбракованного снимка с чрезмерной засветкой

Для создания системы экспресс-анализа при помощи компьютерного зрения необходимо подобрать подходящий параметр фотоснимков, который получится связать с степенью белизны [2]. Для оценки отражения объектов используется спектральная яркость (яркость объектов в разных зонах спектра электромагнитных волн видимого, ближнего и среднего инфракрасных диапазонов). Используют как абсолютные значения яркости, так и относительные – коэффициенты спектральной яркости, получаемые на основе сравнения яркости объекта и эталона. Поскольку белизна — это визуальное свойство целлюлозы, которое характеризует приближенность к белому по силе его яркости, высокой рассеивающей способности и минимальному цветовому оттенку, можно предположить, что её получится связать относительной яркостью (ОЯ), полученной из фотоснимка.

Для получения относительной яркости из фотографии целлюлозного полотна необходимо преобразовать цвета пикселя по формуле (1) [3]:

$$L = 0,2126 * R + 0,7152 * G + 0,0722 * B \quad (1)$$

где: R, G, B – коды красной, зеленой, голубой компоненты цвета в цветовом пространстве RGB (0 - 255).

Формула (1) отражает функцию световой отдачи, поскольку «зеленый» свет является основным компонентом яркости, отвечающим за большую часть света, воспринимаемого людьми, а «синий» свет является наименьшим компонентом. Однако функция светоотдачи представляет собой среднюю спектральную чувствительность зрительного восприятия света человеком. Она основана на субъективных суждениях о том, какой из пары разноцветных огней ярче, для описания относительной чувствительности к свету с разными длинами волн. По этой причине коэффициенты перед компонентами цвета в формуле являются лишь начальным приближением и могут меняться в процессе (например, создать нейронную сеть, которая подберет более точные значения).

Для проверки правильности выбора связываемых параметров мной была создана программа, которая в автоматическом режиме подсчитает относительную яркость каждого пикселя фотографии для получения средней относительной яркости (СОЯ) всего снимка по формуле:

$$СОЯ = \frac{\sum_{i=1}^n ОЯ_i}{n}$$

где: n – количество пикселей в фотографии.

Реализованная программа представляет собой приложение, написанное на базе Visual Studio C# [4] и имеет графический интерфейс (рис. 3).

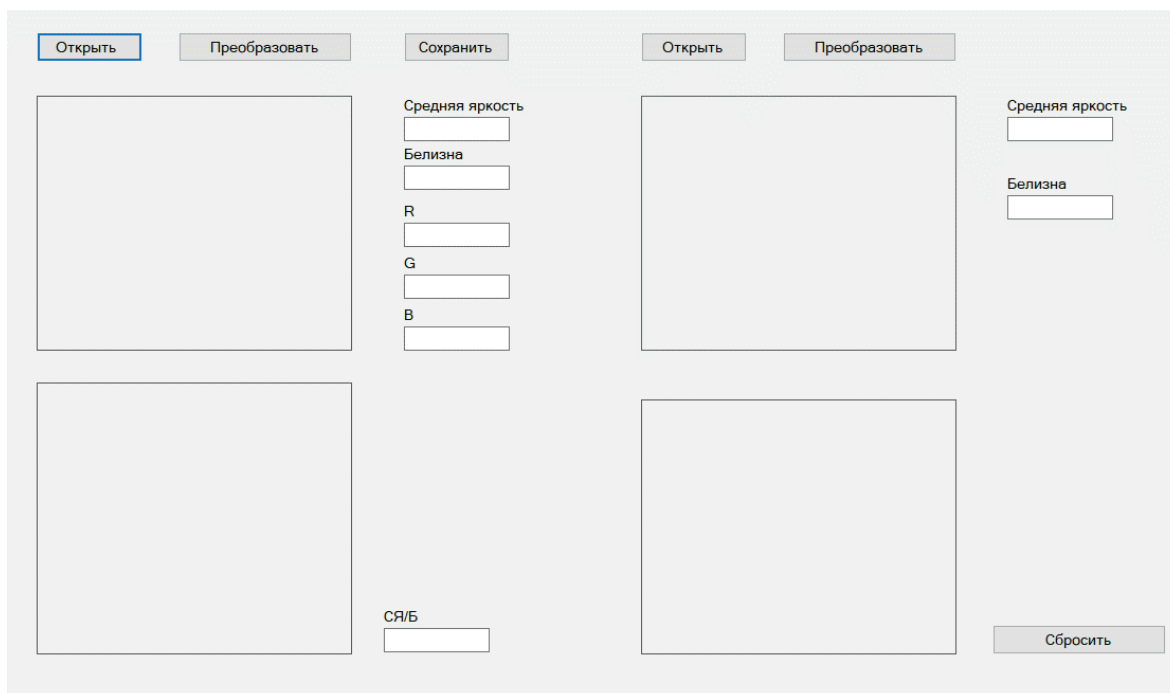


Рисунок 3 – Графический интерфейс программы

Данная программа последовательно принимает на вход несколько изображений целлюлозного полотна и соответствующие им значения степени белизны, полученные посредством экспресс-анализа, после чего проводит подсчет средней относительной яркости изображений, а также среднее отношение относительной яркости к известной белизне по всем загруженным фотографиям. Вдобавок, программа визуализирует подсчет относительной яркости путем перевода исходного изображения в оттенки серого. После загрузки изображения, для которого неизвестна степень белизны, программа вычисляет ее по формуле:

$$k = \frac{s}{otn},$$

где k – неизвестная степень белизны, которую нам нужно найти;

s – средняя относительная яркость изображения области, соответствующей искомому значению;

otn – среднее арифметическое всех отношений СЯ/Б.

Для проверки взаимосвязи между выбранным параметром фотоснимка (средняя относительная яркость) и степенью белизны в программу была загружена выборка исходных снимков (рис. 4).

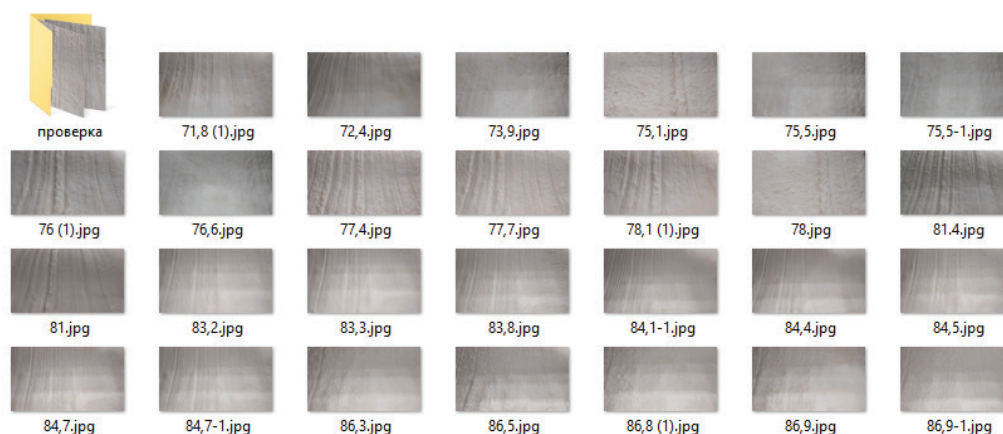


Рисунок 4 – Группа исходных фотографий

После обработки всех исходных фотографий необходимо загрузить в программу снимок, не присутствующий в начальной выборке (белизна целлюлозного полотна на данном снимке составляла 86,9 %), и после его обработки оценить результат, выданный программой (рис. 5).

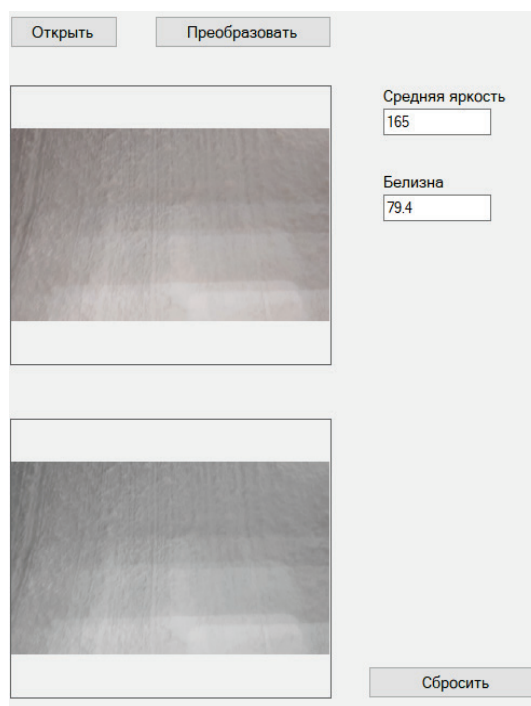


Рисунок 5 – Результат определения белизны

Как можно заметить, программа выдала значение белизны равное 79,4 %, соответственно, относительная погрешность измерений в данном случае составила порядка 10 %. Для последующих загруженных фотографий погрешность колебалась в пределах 10-20 %. Данные результаты могут свидетельствовать о наличии некоторой зависимости относительной яркости от степени белизны. Для улучшения результатов необходимо увеличить количество исходных данных и их однородность, а также попробовать применить искусственный интеллект.

Поскольку на данном этапе невозможно получить большее количество фотографий, было предпринято решение написать нейронную сеть и загрузить в нее имеющееся количество данных. В случае, если нейронная сеть, обучившись на том же количестве данных, выдаст результат, сопоставимый с первой программой, можно будет утверждать о правильности подхода и продолжать развивать данный подход.

Данная программа представляет собой алгоритм нейронной сети с методом прямого распространения ошибки на языке Python. Сеть имеет 2 полносвязных скрытых слоя, 3 входных нейрона и сигмоидную функцию активации [5]. Схема созданной нейронной сети представлена в виде схемы (рис. 6).

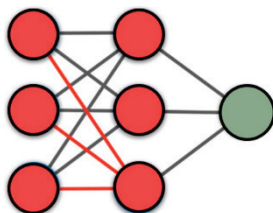


Рисунок 6 – Схема нейронной сети

В изначальной программе относительная яркость фотографии подсчитывалась как сумма значений по трем основным цветам (формула 1). Для уменьшения ошибки, вызванной использованием начальных коэффициентов, позволим нейронной сети во время обучения самой их подстраивать. Для этого в алгоритме нейронной сети были созданы три весовых массива:

1. **Weights1**: размерностью $m \times h_1$, где m – количество параметров во входном слое, h_1 – количество нейронов в первом скрытом слое.
2. **Weights2**: размерностью $h_1 \times h_2$, где h_1 – количество нейронов в первом скрытом слое, h_2 – количество нейронов во втором скрытом слое.
3. **Weights3**: размерностью $h_2 \times 1$, где h_2 – количество нейронов во втором скрытом слое, 1 – количество нейронов в выходном слое.

А сам процесс прямого распространения ошибки включает следующие шаги:

1. **Входной слой:**

Происходит передача входных данных в нейронную сеть.

2. **Первый скрытый слой:**

Вычисляется взвешенная сумма входов для каждого нейрона в скрытом слое:
 $z1 = np.dot(x, weights1)$.

Применяется сигмоидная функция активации к $z1$: $hidden1 = sigmoid(z1)$.

3. **Второй скрытый слой:**

Вычисляется взвешенная сумма входов для каждого нейрона в скрытом слое:
 $z2 = np.dot(hidden1, weights2)$.

Применяется сигмоидная функция активации к $z2$:

$hidden2 = sigmoid(z2)$.

4. **Выходной слой:**

Вычисляется взвешенная сумма входов для каждого нейрона в выходном слое:
 $z3 = np.dot(hidden2, weights3)$.

Применяется сигмоидная функция активации к $z3$:

$output = sigmoid(z3)$.

Таким образом, сигмоидная функция активации применяется к взвешенным суммам на каждом слое, чтобы преобразовать выходные значения нейронов в диапазон от 0 до 1, а также добавить нелинейность к выходу предыдущего слоя. Это позволяет нейронной сети лучше моделировать сложные функции и более точно предсказывать результаты.

После прямого распространения ошибки и вычисления предсказанного значения происходит вычисление ошибки путем вычитания ожидаемого выхода из предсказанного значения, затем ошибка распространяется обратно через слои, корректируя веса в соответствии с градиентным спуском.

Для обучения нейронной сети обучающая выборка снимков загружается в формате `input = np.array([[1/R1, 1/G1, 1/B1], [...], [1/Rn, 1/Gn, 1/Bn]])` (вектор входных данных, яркость пикселей) и `outputs = np.array([[1/% бел1, ..., 1/% белn]])` (вектор выходных данных, известная белизна) (рис. 7).

```
# Задаем обучающие данные
inputs = np.array([[0.031929907, 0.008995767, 0.103842958], [0.0340
[0.032391864, 0.009182964, 0.112287245], [0.031
[0.033509818, 0.010165863, 0.119623478], [0.032852
[0.031937433, 0.008968039, 0.095180081], [0.031340908
[0.030669748, 0.008367928, 0.080221797], [0.0305
[0.03179388, 0.008882302, 0.09161612], [0.03153585, 0
[0.0307822, 0.00851523, 0.0832753], [0.03184378, 0.00
[0.03113642, 0.008561973, 0.08349002], [0.0321963, 0.
[0.02970437, 0.008294579, 0.07814436], [0.03093799, 0.
[0.03076404, 0.008364378, 0.0819139], [0.03016501, 0.
[0.03183466, 0.008814236, 0.09887964], [0.03052665, 0
[0.03084545, 0.008328472, 0.07923607], [0.03062565, 0
outputs = np.array([[0.013927577, 0.013812155, 0.013157895, 0.012804097,
0.011560694, 0.011520737, 0.011494253, 0.011848341
0.01150748, 0.013245033, 0.011587486, 0.01305483, 0
0.0119333174, 0.01150748, 0.012820513, 0.012019231,
```

Рисунок 7 – Обучающая выборка в алгоритме нейронной сети

Для проверки работоспособности созданного алгоритма и оценки погрешности расчета белизны по сравнению с предыдущим алгоритмом необходимо загрузить в него данные о фотоснимке, не входящем в группу обучающих.

После обучения нейронной сети и её запуска, получив на вход фотографию снимка целлюлозного полотна с белизной 71,7%, на выходе алгоритм, при количестве обучающих эпох – 1000, выдал значение, равное 0.01233, что при пересчете дает белизну, равную 81,08% (относительная погрешность - 11,57%) (рис. 8).

Prediction for [1, 0, 0]: [0.0123332]				
расчетное значение белизны, %				
	1/расч	81,0812		

Рисунок 8 – Результат работы алгоритма

Для последующих загруженных данных относительная погрешность измерений колеблется в пределах 5-15 %, что является приемлемым результатом для данной нейронной сети с учетом небольшого количества исходных данных.

Полученный результат позволил сделать вывод о наличии связи между относительной яркостью пикселей фотографий и степенью белизны целлюлозы. В дальнейшем необходимо проверить, как изменятся результаты в случае увеличения слоев и количества входных нейронов нейронной сети, а также в случае увеличения количества исходных данных.

Список литературы

1. Шапошникова Н. В., Ганжа Я. С. Исследование влияния предварительной обработки данных и параметров настройки нейронной сети на эффективность ее работы // Решетневские чтения, 2018. – Т.2. – С. 177-179.
2. ГОСТ 30437-96 (ИСО 3688-77) Целлюлоза. Метод определения белизны (с Поправкой). – М.: Изд-во стандартов, 2001.
3. Recommendation ITU-R BT.709-6. Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, 2015. – P. 19.
4. Bruce Johnson. Visual Studio Code: End-to-End Editing and Debugging Tools for Web Developers 2019. Print ISBN:9781119588184, Online ISBN:9781119588238. DOI:10.1002/9781119588238
5. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.

EXPRESS ANALYSIS OF PAPER WEB BLEACHING QUALITY BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

I. V. Anisimov*, V. I. Sidelnikov, A. V. Koksharov

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

**E-mail: fybcbyjd-bkmz0001@mail.ru*

Abstract. Modern pulp and paper industry is modifying its bleaching technologies in cellulose production to enhance the quality of the end product and reduce reagent costs. One of the challenges is real-time quality control of the bleaching process. It is envisaged that one of the prospective tools in this direction could be the field of artificial intelligence systems, encompassing computer vision and machine learning techniques to automatically determine the degree of whiteness. This paper explores the application of machine learning for evaluating the quality of paper towel bleaching and

comparing the results obtained through express analysis with those calculated based on the selected training model.

Keywords: cellulose paper, neural networks, machine learning, paper, artificial intelligence, whiteness.

References

1. Shaposhnikova N.V., Ganzha Ja. S. Issledovanie vlijanija predvaritel'noj obrabotki dannyh i parametrov nastrojki nejronnoj seti na jeffektivnost' ee raboty. – Reshetnevskie chtenija, 2018. vol. 2. pp. 177-179 (In Russian).
2. GOST 30437-96 (ISO 3688-77) Cellyuloza. Metod opredeleniya belizny (s Popravkoj) M.: Izd-vo standartov, 2001. (In Russian).
3. Recommendation ITU-R BT.709-6. Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, 2015. – P. 19.
4. Bruce Johnson. Visual Studio Code: End-to-End Editing and Debugging Tools for Web Developers 2019. Print ISBN:9781119588184, Online ISBN:9781119588238. DOI: 10.1002/9781119588238.
5. Galushkin A. I. Teoriya nejronnyh setej. M.: IPRZHR, 2000. – 416 s. (In Russian).

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Ю. Ю. Кулебакина^{1*}, Ю. Н. Жужома²

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна, Санкт-Петербург*

**E-mail: juliakulebakina99@mail.ru*

Аннотация. В условиях развития профессиональных стандартов одной из важных задач руководства университета является разработка образовательных программ не только в соответствии с образовательными требованиями и стандартами, но и потребностями рынка труда. Сегодня потребности рынка труда в РФ подкреплены профстандартами, разработанными с целью единообразного подхода к определению квалификационных требований и компетенций работников и содержат описание конкретных навыков, знаний и компетенций к определенным профессиям, задают определенный формат соискателям, имеющим соответствующий уровень образования, но не компетенцию. Существенная разница между образовательными программами учебных заведений и реальными требованиями работодателей к нанимаемому персоналу образовалась из-за того, что учебные заведения сталкиваются с рядом проблем при наполнении образовательных программ соответствующим контентом в виде дисциплин, раскрывающих их предмет через требования, предъявляемые к должностям в профессиональных стандартах. Проведенный анализ возможных проблем стал основой для поиска и предложения соответствующих способов их решения.

Ключевые слова: профессиональные стандарты, образовательные программы, soft-skills, поиск решений.

История развития профессиональных стандартов в России начинается с 2007 года, когда на базе Российского союза промышленников и предпринимателей было создано «Национальное агентство развития квалификаций» для обеспечения экспертизы профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов. Однако первый профстандарт датирован Министерством труда и социальной защиты РФ только в октябре 2013 года. Длительная разработка профессиональных стандартов связана с участниками данного процесса – представителями бизнес-сообщества (объединениями работодателей, работодателями, профессиональными сообществами, саморегулируемыми организациями и другими некоммерческими организациями, профессиональными образовательными организациями и другими заинтересованными организациями). Это связано с тем, что многие годы работодатели использовали ЕТКС и ЕКСД. В обществе встал вопрос актуальности и целесообразности использования данных стандартов [1]. На тот момент главной проблемой являлся переход с ЕТКС и ЕКСД на профессиональные стандарты, многие организации испытывали сложности при таком трудоемком процессе. Сейчас же большая часть организаций эффективно внедрила их, поскольку именно применение профессиональных стандартов позволяет оценить уровень компетенций кандидатов при приеме на работу и их возможность эффективно работать в команде, выполнять трудные задачи самостоятельно, быть способными быстро адаптироваться и другие навыки, относящиеся к soft-skills. Кроме этого, профессиональные стандарты делают открытыми, прозрачными и понятными требования к развитию профессиональных навыков и успехов на карьерной лестнице.

На сегодняшний день в вопросах трудовой деятельности человека soft-skills играют важную роль, не уступающую специальным навыкам в профессиональных областях. Именно эти навыки позволяют улучшать коммуникацию, работать в команде, быть адаптивным и толерантным, уметь ставить цели и достигать их, эффективно распределять задачи, а также отвечать за проявление лидерских качеств. Наш мир имеет свойство стремительно меняться. Soft-skills так ценятся, поскольку способствуют использованию критического и творческого мышления одновременно для решения проблем различного уровня.

С учетом вышеизложенного наметилась следующая тенденция: с одной стороны – работодатели, осуществляющие поиск и подбор персонала, в совокупности с потенциальными соискателями работы адаптировались под профессиональные стандарты и под рынок квалификаций, а с другой стороны – учебные заведения, которые только приступили к корректировке учебных планов, вводя дисциплины, посвященные soft-skills, и при этом соблюдая выход процесса реализации учебных дисциплин – освоение определенных компетенций.

Несмотря на то, что образовательные учреждения (ОУ) делятся опытом разработки образовательных программ (ОП) на основе требований рынка труда и профессиональных стандартов, многие учреждения все еще сталкиваются с проблемой разработки ОП на основе hard и soft-skill, а также требований к знаниям, навыкам и компетенциям, описанным в профессиональных стандартах. В таблице 1 представлены эти проблемы и рекомендованы следующие мероприятия для их решения.

Таблица 1 – Проблемы учебных заведений при разработке образовательных программ в соответствии с профессиональными стандартами

Описание проблемы	Решение проблемы
Недостаточное понимание необходимости взаимосвязи компетентностной модели ФГОС, набора и содержания учебных дисциплин, их реализующих в процессе подготовки кадров и профессиональных стандартов, при одновременном отсутствии понимания, как разработать ОП, соответствующую профстандарту	Привлечение кадрового ресурса, разбирающегося в профессиональных стандартах; обучение и консультации преподавателей и методического отдела по профессиональным стандартам, сотрудничество с работодателями при разработке образовательных программ
Перегрузка ОП дисциплинами, развивающими hard-skill и soft-skill	Для того, чтобы избежать перегрузки образовательной программы дополнительными дисциплинами, развивающими soft-skill, нужно внедрять инструменты для развития этих компетенций в дисциплины специальности за счет интерактивных методов обучения. Например, групповые задания для развития навыков работать в команде, добавлять больше публичных защит и т. п. Поиск способов мотивации обучающихся к участию в проектной деятельности и научных конференциях, стимулируя развитие способностей к критическому мышлению, креативности, коммуникации и кооперации (совместной деятельности). Отличным решением является обеспечение оптимальной комбинации hard и soft-skills: в рабочие программы добавлять новые soft компетенции, получаемые на выходе реализации дисциплины, при этом постоянно пересматривать hard компетенции на требования профессиональных стандартов

Описание проблемы	Решение проблемы
При отсутствии ориентированности на имеющиеся soft-навыки и интересы студентов могут привести к снижению мотивации студентов при освоении дисциплины и приобретении hard-компетенций	Для решения данной проблемы необходимо ежегодно актуализировать образовательные программы и рабочие планы дисциплин на основе анкетирования студентов после реализации каждой дисциплины. Обратная связь позволяет оценить заинтересованность студентов, их потребности и предпочтения. Кроме того, сами преподаватели должны проводить анализ своих занятий – оценивать интерес студентов к тем или иным видам работ. Постоянный пересмотр программ должен проводиться и для анализа востребованных компетенций на рынке труда, а также среди работодателей и выпускников.
Отсутствие у педагогического состава определенных hard-компетенций, требуемых на рынке труда	Решением является привлечение сотрудников работодателей-партнеров для реализации дисциплин с целью чтения лекционных занятий и/или проведения практических занятий. Однако такой вариант может не подойти самим сотрудникам партнерской организации в связи с нагрузкой на основной работе, поэтому рекомендуется разработка электронных курсов или дистанционный формат обучения.

Однако, если одна часть образовательных учреждений только начинает разрабатывать образовательные программы на основе профессиональных стандартов и soft-компетенций, то другая часть вузов сталкивается с проблемой при внесении изменений в профессиональный стандарт или же полной заменой профессионального стандарта новой версией, которая ставит перед собой задачу пересмотра ОП.

Например, в марте 2023 года вместо стандарта «Инженер-технолог целлюлозно-бумажного производства» вышел новый профессиональный стандарт – «Специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства». Таким образом перед вузами встает вопрос необходимости пересмотра ранее разработанных образовательных программ на предмет изменения профессиональных стандартов. Код профессиональной деятельности не был изменен (23.041), однако стандарт «Специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства» имеет множество отличий от своего предшественника. Анализ данных профессиональных стандартов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ отличительных характеристик профессиональных стандартов «Специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства» и «Инженер-технолог целлюлозно-бумажного производства»

Специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства	Инженер-технолог целлюлозно-бумажного производства
Группа занятий	
1321: Руководители подразделений (управляющие) в обрабатывающей промышленности 3115: Техники в химическом производстве 2145: Инженеры-химики	1222: Руководители специализированных (производственно-эксплуатационных) подразделений (служб) в промышленности 2149: Архитекторы, инженеры и специалисты родственных профессий, не вошедшие в другие группы
Вид экономической деятельности	
17.11.1 Производство целлюлозы 17.11.2 Производство древесной массы 17.12 Производство бумаги и картона 17.21 Производство гофрированной бумаги и картона, бумажной и картонной тары	17.11.1 Производство целлюлозы 17.11.2 Производство древесной массы 17.12.1 Производство бумаги 17.12.2 Производство картона
Трудовые функции	
1. Организационно-технологическое обеспечение и сопровождение целлюлозно-бумажного производства 2. Оперативное управление технологией целлюлозно-бумажного производства 3. Стратегическое управление развитием технологии целлюлозно-бумажного производств	1. Технологическое сопровождение выпуска продукции целлюлозно-бумажного производства 2. Технологическое сопровождение освоения новых видов продукции и нового оборудования 3. Организация разработки и внедрения принципиально новых конкурентоспособных видов продукции и технологических процессов 4. Руководство деятельностью инженеров-технологов ЦБП более низкого уровня квалификации
Требования к образованию	
Среднее профессиональное образование – программы подготовки специалистов среднего звена Высшее образование – бакалавриат, магистратура	Высшее образование – бакалавриат, специалитет, магистратура, а также дополнительные профессиональные программы

Кроме того, для должностей и профессий изменился перечень трудовых действий, необходимых умений и знаний. Данные отличия можно заметить, анализируя две должности одного уровня – техник-технолог (специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства) и инженер-технолог (инженер-технолог целлюлозно-бумажного производства), представленные на рисунках 1-2.

Трудовые действия	Установление норм времени на технологическую подготовку и выполнение работ целлюлозно-бумажного производства
	Установка пооперационного маршрута этапов работ на участках целлюлозно-бумажного производства
	Учет материальных затрат, сменных показателей выпуска продукции целлюлозно-бумажного производства
	Учет выполнения этапов работ целлюлозно-бумажного производства
	Учет затрат времени на выполнение этапов работ целлюлозно-бумажного производства
	Учет материальных и трудовых затрат на выполнение этапов работ целлюлозно-бумажного производства
	Ведение учетно-отчетной документации по продукции целлюлозно-бумажного производства
	Разработка производственных заданий на выполнение этапов работ целлюлозно-бумажного производства
Необходимые умения	Работать со справочниками и руководящими документами по установке норм времени, материальных и трудовых затрат в целлюлозно-бумажном производстве
	Разрабатывать нормы расхода сырья, химикатов, вспомогательных материалов, используемых организацией при выпуске продукции целлюлозно-бумажного производства
	Рассчитывать необходимое количество расходных материалов для обеспечения выпуска продукции целлюлозно-бумажного производства в соответствии с заказами
	Использовать прикладные компьютерные программы для расчета норм времени, материальных и трудовых затрат в целлюлозно-бумажном производстве
	Вносить рассчитанные нормы в целлюлозно-бумажном производстве в автоматизированные системы управления
	Рассчитывать плановые показатели выполнения технологических операций в целлюлозно-бумажном производстве
	Составлять отчеты, информационные справки, документацию по расчетам и применению норм в целлюлозно-бумажном производстве

Рисунок 1 – Фрагмент предъявляемых трудовых действий, необходимых умений и знаний к должности «техник-технолог» в соответствии с профстандартом «Специалист по технологии целлюлозно-бумажного производства»

Трудовые действия	Мониторинг технологических параметров изготовления продукции ЦБП
	Контроль деятельности работников в части соблюдения ими правил ведения технологического процесса
	Контроль устранения работниками причин отклонений технологических параметров производства от заданных параметров
	Контроль выполнения плана заказов по выпуску продукции в соответствии с нормативной документацией
	Контроль соблюдения экологических нормативов при производстве продукции ЦБП
	Контроль внесения работниками в информационные системы достоверных значений параметров технологического процесса и показателей качества вырабатываемой продукции
Необходимые умения	Производить надзор за работой оборудования
	Определять соответствие правил ведения технологического процесса требованиям технологического регламента на вырабатываемую продукцию
	Пользоваться технологической и нормативной документацией на вырабатываемую продукцию ЦБП
	Выявлять причины отклонения технологических параметров производства от заданных значений
	Проверять соответствие фактических норм расхода сырья, химикатов, вспомогательных материалов, энергоресурсов нормативным показателям
	Проверять соответствие показателей качества используемого сырья, химикатов, вспомогательных материалов и готовой продукции требованиям нормативной документации
	Отслеживать объемы выпуска продукции ЦБП
	Проверять соответствие фактических показателей качества и количества сточных вод, выбросов в атмосферу, отходов производства действующим нормативам
	Использовать стандартные офисные компьютерные программы и специализированные программные продукты для контроля технологических параметров производства продукции ЦБП

Рисунок 2 – Фрагмент предъявляемых трудовых действий, необходимых умений и знаний к должности «инженер-технолог» в соответствии с профстандартом «Инженер-технолог целлюлозно-бумажного производства»

Таким образом, для успешной реализации задачи на соответствие профессиональным стандартам, поставленной образовательным учреждениям, необходимо не только проводить постоянный анализ и оценку реализуемых дисциплин с точки зрения их содержания и возможностей для развития профессиональных компетенции, но и актуализировать программы при внесении изменений или полной замены самого профессионального стандарта.

Образовательным учреждениям для обеспечения конкурентоспособности выпускников на рынке труда крайне важно отслеживать изменения в профстандартах и периодически пересматривать образовательные программы с точки зрения соответствия современным требованиям рынка труда, что улучшит качество учебных программ за счет предоставления актуальных знаний и навыков.

Такой подход к ОП будет поддерживать интерес студентов на протяжении всего периода обучения, желание овладеть знаниями и умениями, которые сделают их конкурентоспособными на рынке труда и мотивируют на дальнейшее совершенствование в выбранной профессии [2].

Партнерство ОУ с работодателями позволяет оперативно отслеживать изменения требований на рынке труда и в профессиональных стандартах и получать обратную связь с рекомендациями по внесению изменений в ОП.

Таким образом, решая проблемы разработки образовательных программ в соответствии с профессиональными стандартами, образовательные учреждения приобретают ряд преимуществ:

– выпускники будут соответствовать всем компетенциям в области hard- и soft-skills;

- соответствующий уровень подготовки требованиям профстандарта позволит его обладателю после окончания программы быть более конкурентоспособным на рынке труда, реализуя свой шанс на трудоустройство и обеспечивая дальнейшую успешность карьеры;
- создание партнерских отношений между вузом и работодателем позволяет студентам получать практический опыт на стажировках и практиках, участвовать в профессиональных мероприятиях и разбирать реальные кейсы предприятий;
- партнерские отношения между вузом и работодателем дают возможность привлечения сотрудников предприятий к проведению лекционных и практических занятий в вузе;
- разработка образовательных программ в соответствии с требованиями профессиональных стандартов позволяет университетам обеспечивать качественное образование, удовлетворяющее потребности рынка труда, и поддерживать профессиональное развитие студентов.

Список литературы

1. Селентьева Д. О., Зиганшина Д. Г. Профессиональные стандарты: история возникновения в России, их значение и перспективы развития // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2018. – №12-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnye-standarty-istoriya-vozniknoveniya-v-rossii-ih-znachenie-i-perspektivy-razvitiya>.
2. Жужома Ю. Н. Важность педагогических знаний, навыков и умений в профессиональной деятельности выпускников вузов экономических направлений подготовки // Современные проблемы науки и образования. Материалы международных научных конференций, проведенных Академией Естествознания (Международной ассоциацией ученых, преподавателей и специалистов). – Том XXIII. – Москва, 2022. – Издательство: Издательский Дом «Академия Естествознания» (Пенза).

PROBLEMS OF APPLICATION OF PROFESSIONAL STANDARDS IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL PROGRAMS

Yu. Y. Kulebakina*, Yu. N. Zhuzhoma

St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI» named after V. I. Ulyanov (Lenin),
St. Petersburg,

St. Petersburg State University Of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg

*E-mail: juliakulebakina99@mail.ru

Abstract. In the context of the development of professional standards, one of the important tasks of the university management is to develop educational programs not only in accordance with educational requirements and standards, but also the needs of the labor market. Today, the needs of the labor market in the Russian Federation, supported by professional standards developed for the purpose of a uniform approach to determining the qualification requirements and competencies of employees, contain a description of specific skills, knowledge and competencies for certain professions, set a certain format for applicants who have the appropriate level of education, but not competence. Since there is a significant difference between the educational programs of educational institutions and the real requirements of employers for the hired staff, due to the fact that educational institutions face a number of problems when developing the filling of educational programs with appropriate content in the form of disciplines that reveal their subject through the requirements for the ZUN in professional standards. The analysis of possible problems has become the basis for finding and proposing appropriate ways to solve them.

Keywords: professional standards, educational programs, soft-skills, search for solutions.

References

1. Selentyeva D. O., Ziganshina D. G. Professional standards: the history of their origin in Russia, their significance and prospects for development // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018. – №12-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnye-standarty-istoriya-vozniknoveniya-v-rossii-ih-znachenie-i-perspektivy-razvitiya>.
2. Yu. N. Zhuzhoma. The importance of pedagogical knowledge, skills and abilities in the professional activities of graduates of universities of economic training areas // Modern problems of science and education. Materials of international scientific conferences held by the Academy of Natural Sciences (International Association of Scientists, Teachers and Specialists). Volume XXIII. Moscow, 2022. – Publishing House: Publishing House «Academy Of Natural Sciences» (Penza).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНОГО И ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА НА ЦЕЛЛЮЛОЗУ

В. С. Антонова, И. И. Осовская*

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: iraosov@mail.ru*

Аннотация. Актуальность настоящей работы состоит в получении распушенной целлюлозы – компонента сырья для получения санитарно-гигиенических изделий разового пользования. В лабораторных условиях получен распушенный материал из сульфатной целлюлозы лиственных и хвойных пород древесины по альтернативной технологии разделения целлюлозы на отдельные волокна в воздушном потоке (аэродинамический способ). Впервые комплексом физико-химических методов: калориметрии, сорбции паров воды, вискозиметрии изучено влияние кислотного и ферментативного гидролиза на целлюлозу, определены оптимальные условия предварительной обработки. Частичный кислотный гидролиз разбавленной серной кислотой применен для активации поверхности целлюлозных волокон; ферментативную обработку гидролизованной целлюлозы проводили для разделения на отдельные волокна в диспергаторе. В качестве фермента в работе использовался BANZYME L90. Сокращение времени диспергирования почти в 2 раза в сравнении с необработанной целлюлозой обеспечивает целостность целлюлозного волокна и позволяет сохранить влажность целлюлозы после диспергирования на уровне 32.5 % для лиственной и 30.7 % для хвойной целлюлозы. Дана оценка влияния совместного химического и биохимического методов предобработки.

Ключевые слова: кислотный гидролиз, ферментативный гидролиз, аэродинамический метод, условия диспергирования, пушенка, микроскопия.

В научной литературе представлено малое число публикаций, касающихся получения высококачественного распущенного материала для санитарно-гигиенических изделий разового использования. В основном, имеются зарубежные патенты, например, [1]. Известна российская публикация [2] получения пушенки из целлюлозы хвойных пород древесины, в частности, из лиственницы. Сравнительная оценка с американской флафф-целлюлозой показала хорошее качество по многим показателям распушенной целлюлозы, полученной из лиственницы. В частности, в работах Акима Э. Л. [2] проводили размол на лабораторной мельнице PFI. Авторы отмечают, что при дополнительной обработке целлюлоза из древесины лиственницы может быть использована как распушенная целлюлоза с высокими показателями качества.

Целью данного исследования является получение распушенной целлюлозы в отсутствие фибриллирования при дефиците воды аэродинамическим способом формования (АДФ) [3-5].

В настоящей работе при подготовке целлюлозы для диспергирования (ропуска) в воздушном потоке изучается проблема «разработанности» поверхности неразмолотого целлюлозного волокна посредством поверхностной деструкции целлюлозы кислотным гидролизом; проблему целостности целлюлозного волокна в воздушном потоке решаем ферментативным гидролизом.

Объектами исследования выбраны представительные образцы сульфатной беленой целлюлозы Архангельского ЦБК из лиственных и хвойных пород древесины после ISF-отбелки [6] и обессмоливания со следующими показателями (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика исследуемых целлюлоз

Вид целлюлозы	Содержание, масс. %			Зольность, %	Белизна, ISO %	Содержание НМФ %	рН водной вытяжки
	α - целлюлоза	Лигнин	Смолы и жиры				
Лиственная	90,2	следы	0,2	0,4	89	9,6	7,0
Хвойная	88,9	следы	0,25	0,5	86	10,8	7,0

Поверхностную деструкцию целлюлозы осуществляли гидролизом 2Н раствором H_2SO_4 при 363 К в течение 0–300 с при модуле 1:50. Для характеристики гидрофильных свойств целлюлозы применили метод калориметрии с использованием калориметра с изотермической оболочкой, погрешность измерений – 0. 5% [7]. Изотермы сорбции измеряли статическим методом сорбции [7, 8]. Погрешность измерений статического метода сорбции – 5 %. Влияние на бумагообразующие свойства и образование низкомолекулярных фракций контролировали по увеличению растворимости в 1,0; 5,0 и 10%-ных водных растворах гидроксида натрия [9, 10]. Результаты механических испытаний полученных отливок определены по стандартной методике [11, 12]. Дисперсный состав целлюлозных волокон определяли по ГОСТ 7500-85. Среднюю степень полимеризации (СП) определяли при 25° С вискозиметрическим методом, в качестве растворителя использовали железовиннонатриевый комплекс. Впитывающую способность распушенного слоя определяли по ГОСТ Р 52557-2011. Капиллярную впитываемость определяли по ГОСТ 12602-93. Механические испытания полученных отливок определяли по стандартным методикам [11, 12].

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные выявили оптимальное время и концентрацию водного раствора H_2SO_4 при гидролизе. Результаты измерения растворимости целлюлозы в водных растворах едкого натра различных концентраций показывают увеличение растворимости гидролизованной целлюлозы вследствие образования низкомолекулярных фракций (НМФ), растворимых в щелочи (рис. 1) Известно, что в 10 %-ном растворе NaOH растворяются гемицеллюлозы и деструктированная фракция целлюлозы со степенью полимеризации ($СП_{ЖВНК}^{298}$) не более 100-150. Из рисунка 1 видно, что в результате кислотного гидролиза количество образовавшихся НМФ (n) составляет 18, 23 и 37 % для целлюлозы, обработанной 2Н раствором H_2SO_4 в течение 40, 60 и 300 с соответственно.

На рисунках 2, 3 представлены интегральные энтальпии взаимодействия целлюлозы с водой. Из рисунка 2 видно, что влагосодержание, соответствующее предельному насыщению функциональных групп молекулами воды, указывает на увеличение содержания активных центров, доступных к взаимодействию с водой с выделением тепла при оптимальных условиях гидролиза. Теплота смачивания целлюлозы возрастает в течение 40 с, при увеличении времени гидролиза тепловой эффект понижается. Потери волокна при гидролизе в течение 40 с составляют 0.9 %, в течение 300 с – 4.8 %. Погрешность измерений – 5 %.

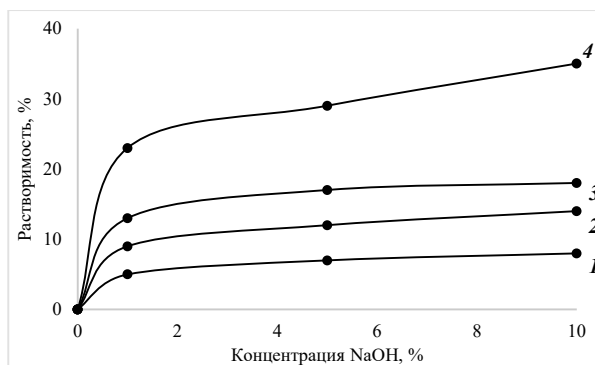


Рисунок 1 – Растворимость целлюлозы в водных растворах едкого натра различных концентраций: 1 – исходная целлюлоза лиственных пород древесины; 2–4 целлюлоза после кислотного гидролиза 2 – (τ –40 с); 3 – (τ –60с); 4 – (τ –300с)

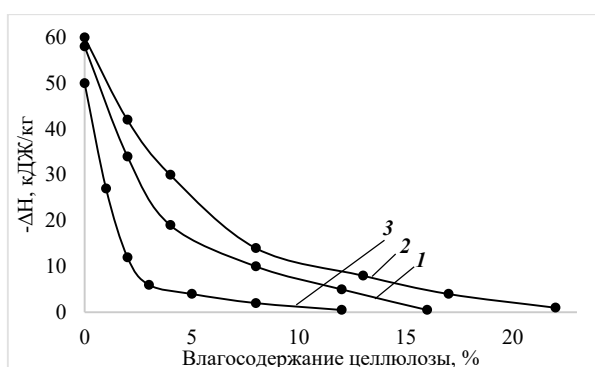


Рисунок 2 – Зависимость теплоты смачивания от влагосодержания целлюлозы: 1 –исходная целлюлоза; 2 – целлюлоза после кислотного гидролиза (τ –40 с); 3 – целлюлоза после кислотного гидролиза(τ –300 с)

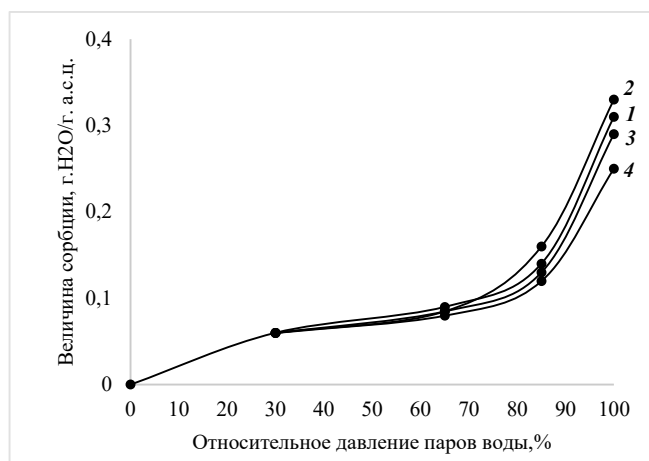


Рисунок 3 – Изотермы десорбции: 1 – исходная целлюлоза лиственных пород древесины; 2–4 – целлюлоза после кислотного гидролиза: 2 – (τ –40 с); 3 – (τ –60с); 4 – (τ –300с)

Результаты, полученные методом калориметрии, согласуются с данными равновесной сорбции (рис. 3). Сорбция паров воды при $p/p_0=0.975$ (время гидролиза – 40 с) увеличивается с 0.33 до 0.36 г H_2O /г а.с.д., в то время как при более длительном гидролизе поглощение паров

воды капиллярной системой целлюлозного волокна резко снижается и составляет 0.26 г Н₂О/г а.с.ц.

В работе до диспергирования использована ферментативная обработка целлюлозы для сохранения целостности волокна при разделении в воздушном потоке на отдельные волокна [13, 14]. В качестве фермента использовали BANZYME L90. Обработку проводили при температуре 50°C, времени воздействия – 10 мин, с расходом фермента 0,05-0,2 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы. После обработки целлюлозу подсушивали до влажности 45 %.

Влияние ферментативной предобработки на целостность целлюлозного волокна контролировали по измерению фракционного состава волокон и средней СП. На рис. 4, 5 показано влияние расхода фермента на степень полимеризации целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины. Как видно из рисунков 4, 5, при расходе фермента 0,15 г/кг абсолютно сухой целлюлозы изменение степени полимеризации незначительно. Увеличение расхода фермента более 0,15 г/кг абсолютно сухой целлюлозы приводит к деструкции целлюлозы и значительному снижению СП в зависимости от времени обработки ферментом. Как видно из этих рисунков, ферментативный гидролиз при расходе фермента 0,15 г/кг абсолютно-сухой целлюлозы и времени воздействия 10 мин является оптимальным. Эти параметры были использованы в работе для изучения их влияния на свойства распушенной целлюлозы. Потери волокна определялись по разности масс до и после обработки. Потери волокна при ферментативной предобработке в оптимальных условиях составили 0,5 %. Потери волокна при диспергировании целлюлозы, обработанной ферментом в оптимальных условиях, составило 3,7 % для лиственной и 4,5 % для хвойной, для необработанной – 13 % для лиственной и 15 % для хвойной.

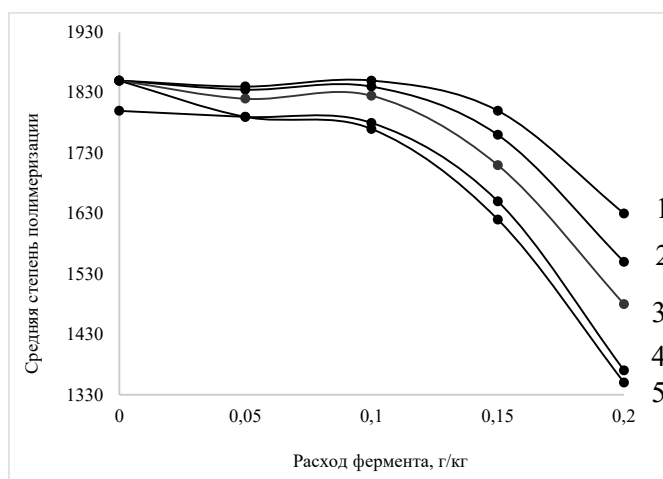


Рисунок 4 – Зависимость средней СП хвойной целлюлозы от расхода фермента: 1 – необработанная целлюлоза до диспергирования; 2, 3, 4 – целлюлоза до диспергирования (время обработки – 5, 10, 15 мин. соответственно), 5 – целлюлоза после диспергирования (время обработки – 10 мин)

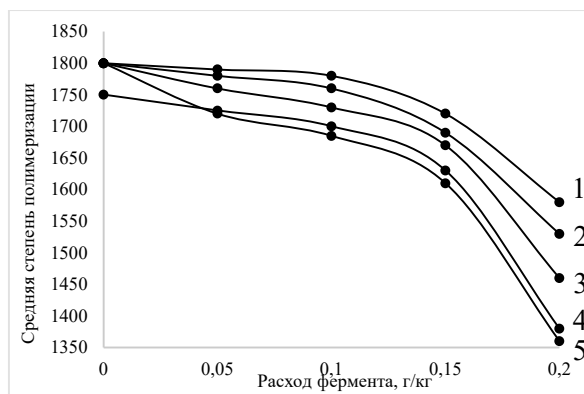


Рисунок 5 – Зависимость средней СП лиственной целлюлозы от расхода фермента:
 1 – необработанная целлюлоза до диспергирования, 2, 3, 4 – целлюлоза до диспергирования
 (время обработки – 5, 10, 15 мин. соответственно), 5 – целлюлоза после диспергирования
 (время обработки – 10 мин)

Роспуск целлюлозы на волокна, обработанной ферментом при оптимальных условиях предобработки, происходит за 7,3 с для лиственной и 8,8 с для хвойной (рис. 6). Сокращение времени диспергирования целлюлозы, обработанной ферментом почти в 2 раза, позволяет сохранить влажность обработанной целлюлозы на уровне 32,5 % для лиственной целлюлозы, 30,7 % для хвойной (рис. 7) и обеспечить целостность волокна.

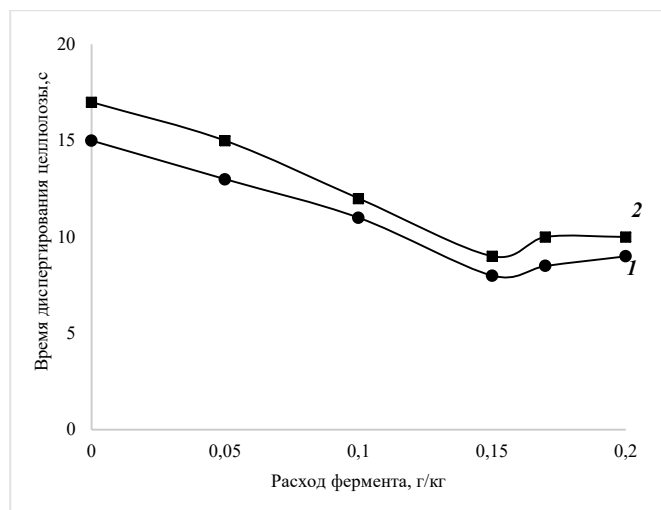


Рисунок 6 – Зависимость времени диспергирования целлюлозы от расхода фермента:
 1 – лиственная целлюлоза, 2 – хвойная целлюлоза

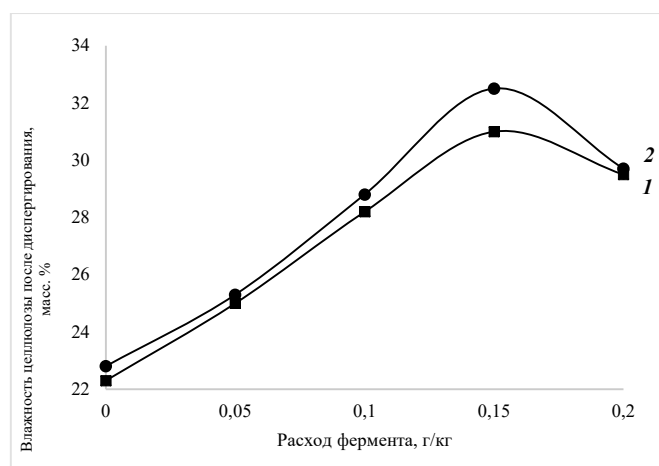


Рисунок 7 – Влияние расхода фермента на влажность целлюлозы после диспергирования:
1 – лиственная целлюлоза, 2 – хвойная целлюлоза

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

При кислотном гидролизе целлюлозы, как показано ранее, происходит образование большого числа доступных функциональных групп, способных к образованию водородных связей. В результате увеличивается время диспергирования, что приводит к нарушению целостности целлюлозного волокна, что подтверждается некоторым снижением средней СП и фракционным составом распушенной целлюлозы: увеличением доли мелких волокон без обработки ферментом. При оптимальном расходе фермента фракция распушенной лиственной целлюлозы содержит 70 % волокон с длиной 0,8-1,4 мм, а хвойной – с длиной 1,7-2,5 мм – 58%. Последовательное воздействие кислотного и ферментативного гидролиза понижает воздействие механических усилий на «распускание» целлюлозы, предотвращает укорочение волокон и снижение средней СП (рис. 6, 7, табл. 2).

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

Показатели	Целлюлоза из лиственных пород древесины		Целлюлоза из хвойных пород древесины	
	До обработки ферментом	После обработки ферментом	До обработки ферментом	После обработки ферментом
Впитывающая способность распушенной целлюлозы, г	4,1	4,5	3,6	3,9
Капиллярная впитываемость опытной отливки, мм	24,6	29,0	21,1	25,0
Разрывная длина опытной отливки, м	980	1590	1020	1753
рН водной вытяжки	7,0	6,0	7,0	6,0

Распушенная целлюлоза не имела запаха и посторонних примесей, что обеспечивает возможность ее использования в композиции сырья для получения санитарно-гигиенических

изделий разового использования (подгузников и медицинских масок) [14]. Полученная распушенная целлюлоза по показателям качества не уступает импортным аналогам. При данном методе обработки разрывная длина опытных отливок при аэроформовании возрастает до 2950 м, при традиционном – до 3500 м.

Выводы

1. Разработан новый способ получения модифицированной целлюлозы посредством частичного кислотного гидролиза. Методами калориметрии, равновесной сорбции, вискозиметрии, измерением разрывной длины опытных отливок определены оптимальные условия воздействия частичного кислотного гидролиза на свойства распушенной целлюлозы.
2. Впервые оптимизированы условия обработки ферментом BANZYME L90 для разделения на волокна аэродинамическим методом. Показано снижение времени роспуска целлюлозы на волокна.
3. В работе впервые проведено исследование совместного последовательного воздействия на целлюлозу разбавленных растворов серной кислоты и фермента, дана сравнительная оценка эффективности этого воздействия.
4. Выявлено преимущество использования лиственной целлюлозы при разделения на волокна аэродинамическим способом.

Список литературы

1. Пат. 2641136РФ.МПКD21H21/22,D21H17/37,D21H17/36,D21H11/00. Распушенная целлюлоза и сердцевина с высоким содержанием САП / Дж. Е. Сили, Б. А. Филдс, П. М. Фроасс; патентообладатель: Интернэшнл Пэйпа Кампани. Заявлено 12.08.2013; опубл. 16.01.2018. – Бюл. №2.
2. Аким Э. Л., Абрамов И. Н., Коваленко М. В., Сазонова Н. А. Размол как путь направленного изменения физико-механических свойств композиционных материалов на основе целлюлозы из лиственницы // Целлюлоза. Бумага. Картон, 2012. – №6. – С. 38-44.
3. Пат. 2100508РФ.МПКD21H27/00, D21H27/10,D21F11/00,D21B1/00. Способ аэродинамического изготовления картона и писчей или печатной бумаги / О. А. Терентьев, В. М. Дробосюк; патентообладатель: СПбГТУРП. Заявлено 08.12.1994; опубл. 27.12.1997.
4. Дробосюк В. М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб.: СПбГТУРП, 2011. – 56 с.
5. Малиновская Г. К., Литвинова Л. В., Дробосюк В. М. Изготовление упаковочной бумаги методом аэродинамического формования // Тара и упаковка, 2011. – №1. – С.35-39.
6. Осовская И. И., Байкова В. С. Физико-химические свойства сульфатной целлюлозы в процессе отбели по новейшей технологии ECF. Международный академический вестник, 2014. – № 6 (6). – С. 51-53.
7. Осовская И. И., Антонова В. С., Полторацкий Г. М. Влияние размол на термодинамические свойства целлюлозы. Химия растительного сырья, 2015. – №1. С. 175-180. DOI: 10.14258/jcpr.m.201501400.
8. Краткий справочник физико-химических величин некоторых неорганических и органических соединений. Сост.: Л. Ю. Брусенцева, А.А. Кудряшова – Самара: НОУ ВПО СМИ «РЕАВИЗ», 2011. – 68 с.
9. Файнберг Э. З., Папков С. П. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М.: «Химия», 1976. – 231 с.
10. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. Учеб. пособие для вузов. – М.: Экология, 1991. – 320 с.
11. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. – СПб.: Политехника, 2006. – 499 с.

12. Дубовый В. К., Гурьев А. В., Казаков Я. В., Комаров В. И., Коновалова Г. Н., Смолин А.С., Хованский В. В. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона. – СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2006. – 230 с.
13. Спасенников М. Н., Житнюк В. А., Шипигусев А. А.. Инновационный подход к использованию энзимов при производстве целлюлозы высокого выхода // Материалы III Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологии в ЦБП». – Пермь, 2015. – С. 33-37.
14. Пат. 2755986 С1, 23.09.2021. Заявка № 2020123451 от 08.07.2020. Способ получения распушенной целлюлозы / Осовская И. И., Антонова В. С., Смолин А. С.

EFFICIENCY OF SEQUENTIAL ACTION OF ACID AND ENZYMATIC HYDROLYSIS ON CELLULOSE

V. S. Antonova, I. I. Osovskaya*

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Graduate School of Technology and Power Engineering, St. Petersburg

*E-mail: iraosov@mail.ru

Abstract. The relevance of this work is to obtain fluff pulp - a component of raw materials for the production of disposable sanitary products. In laboratory conditions, fluffy material was obtained from sulphate cellulose of deciduous and coniferous wood using an alternative technology for separating cellulose into individual fibers in an air flow (aerodynamic method). For the first time, using a complex of physicochemical methods: calorimetry, water vapor sorption, viscometry, the effect of acid and enzymatic hydrolysis on cellulose was studied, and optimal conditions for pretreatment were determined. Partial acid hydrolysis with dilute sulfuric acid is used to activate the surface of cellulose fibers; Enzymatic treatment of hydrolyzed cellulose was carried out to separate into individual fibers in a dispersant. BANZYME L90 was used as an enzyme in this work. Reducing the dispersion time by almost 2 times compared to untreated cellulose ensures the integrity of the cellulose fiber and allows you to maintain the moisture content of the cellulose after dispersion at the level of 32.5% for hardwood pulp and 30.7% for softwood pulp. The influence of combined chemical and biochemical pretreatment methods is assessed.

Keywords: acid hydrolysis, enzymatic hydrolysis, aerodynamic method, dispersion conditions, fluff, microscopy.

References

1. Pat. 2641136RF.MPKD21H21/22,D21H17/37,D21H17/36,D21H11/00.Fluff pulp and core with high content of SAP / J.E. Seeley, B.A. Fields, P.M. Froass; Patent holder: International Paper Company. Filed 12.08.2013; publ.16.01.2018. – Bulletin No.
2. Akim E. L., Abramov I. N., Kovalenko M. V., Sazonova N. A. Grinding as a way of directional changes in the physical and mechanical properties of composite materials based on cellulose from larch. Paper. Cardboard, 2012. – No 6. – S. 38-44.
3. Pat.2100508RF.MPKD21H27/00, D21H27/10,D21F11/00,D21B1/00. Method of aerodynamic production of cardboard and writing or printed paper / O.A. Terentyev, V.M. Drobosyuk; Patent holder: SPbGTURP. Filed 08.12.1994; publ.27.12.1997.
4. Drobosyuk V. M. Technology of paper production by aerodynamic method. – SPb.: SPbGTURP, 2011. – 56 p. (in Russian).
5. Malinovskaya G. K., Litvinova L. V., Drobosyuk V. M. Production of packaging paper by the method of aerodynamic molding, 2011. – №1. – S. 35-39.
6. Osovskaya I. I., Baykova V. S. Physico-chemical properties of sulfate cellulose in the bleaching process using the latest ECF technology. International Academic Bulletin. – 2014. – № 6 (6). S. 51-53.
7. Osovskaya I. I., Antonova V. S., Poltoratsky G. M. Effect of grinding on thermodynamic

properties of cellulose. Chemistry of plant raw materials, 2015. – №1. – P. 175-180. DOI: 10.14258/jcprm.201501400

8. A brief reference book of physicochemical quantities of some inorganic and organic compounds. Comp.: L. Y. Brusentseva, A. A. Kudryashova – Samara: NOU VPO SMI «REAVIZ», 2011. – 68 p.

9. Feinberg E. Z., Papkov S. P. Interaction of cellulose and cellulosic materials with water. – M.: «Chemistry» - 1976. – 231 s/

10. Obolenskaya A. V., Elnitskaya Z. P., Leonovich A. A. Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose. Textbook. A manual for universities. – M.: Ecology, 1991. – 320 p.

11. Technology of pulp and paper production. In 3 vols. T II. Production of paper and cardboard. Part 2. The main types and properties of paper, cardboard, fiber and wood-based panels. SPb.: Polytechnic, 2006. – 499 p. (in Russian).

12. Dubovoy V. K., Guryev A. V., Kazakov Y. V., Komarov V. I., Konovalova G. N., Smolin A. S., Khovansky V. V. Laboratory workshop on paper and cardboard technology. – SPb.: Izd-vo Polytechn.un-ta, 2006. – 230 p.

13. Spasennikov M. N., Zhitnyuk V. A., Shipigusev A. A. An innovative approach to the use of enzymes in the production of high-yield cellulose // Proceedings of the III All-Russian Branch Scientific and Practical Conference «Prospects for the Development of Engineering and Technology in the Pulp and Paper Industry». Perm, 2015. – S. 33-37.

14. Stalemate. 2755986 C1, 23.09.2021. Application No. 2020123451 dated 08.07.2020. Method of producing fluffed pulp / Osovskaya I. I., Antonova V. S., Smolin A. S.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВЫХ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЭКСТРУЗИОННОЙ ХТММ

А. С. Крутиков*, Е. Ю. Демьянцева, В. К. Дубовый, А. С. Сутайкин
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург
*E-mail: andr.crutikoff@yandex.ru

Аннотация. Перспективным способом утилизации неликвидной древесины является переработка сырья в экструзионную химико-термомеханическую массу с последующим получением продукта с высокой добавленной стоимостью, а именно, порошкового лигноцеллюлозного материала. В лабораторных условиях использованы различные методы получения порошковой целлюлозы, проведен сравнительный анализ основных характеристик полученных образцов, исследованных стандартными методами, и выбран оптимальный способ и режим получения продукта.

Ключевые слова: экструзионная химико-термомеханическая масса, порошковые лигноцеллюлозные материалы.

Получение экструзионной химико-термомеханической массы низкотемпературной щелочной обработки, производство которой возможно осуществить на малотоннажных предприятиях – один из возможных способов утилизации неликвидной лиственной древесины. Подобное производство характеризуется высокой рентабельностью, компактностью, отсутствием дурнопахнущих отходов и не требует большого количества чистой воды [1]. Кроме того, данное сырье может стать перспективным для получения порошкового лигноцеллюлозного материала как продукта с высокой добавленной стоимостью, тем самым стать инновационным решением в интенсификации и модернизации существующих на сегодняшний день технологий производства порошковых целлюлоз.

Цель данной работы – сравнительный анализ различных способов получения порошковой лигноцеллюлозы из химико-термомеханической массы низкотемпературной обработки.

Из неликвидной древесины осины, произрастающей в Северо-Западном регионе, была получена экструзионная химико-термомеханическая масса путем предварительной обработки 10 % раствором щелочи при нормальном давлении и температуре 70-90°C с дальнейшей переработкой в двухшнековом экструдере согласно методике, представленной ранее [1]. Содержание основных компонентов было определено в соответствии со стандартными методиками [2]:

- Содержание эфирорастворимых веществ экстрагированием в аппарате Сокслета.
- Содержание легкогидролизуемых веществ методом Макэна и Шоорля.
- Содержание лигнина определено в соответствии с ГОСТ 10070-74.
- Содержание целлюлозы определено азотно-спиртовым методом Кюршнера.

Полученные данные представлены на рисунке 1. По содержанию лигнина и целлюлозы полученная ЭХТММ соответствует ХТММ из лиственных пород.

Из полученной ЭХТММ были получены образцы порошковых лигноцеллюлоз обработкой различными химикатами:

- Соляной кислотой
- Пероксимонсерной кислотой
- Надуксусной кислотой при различных гидрорежимах.

Фотоизображения полученных образцов представлены на рисунке 2.

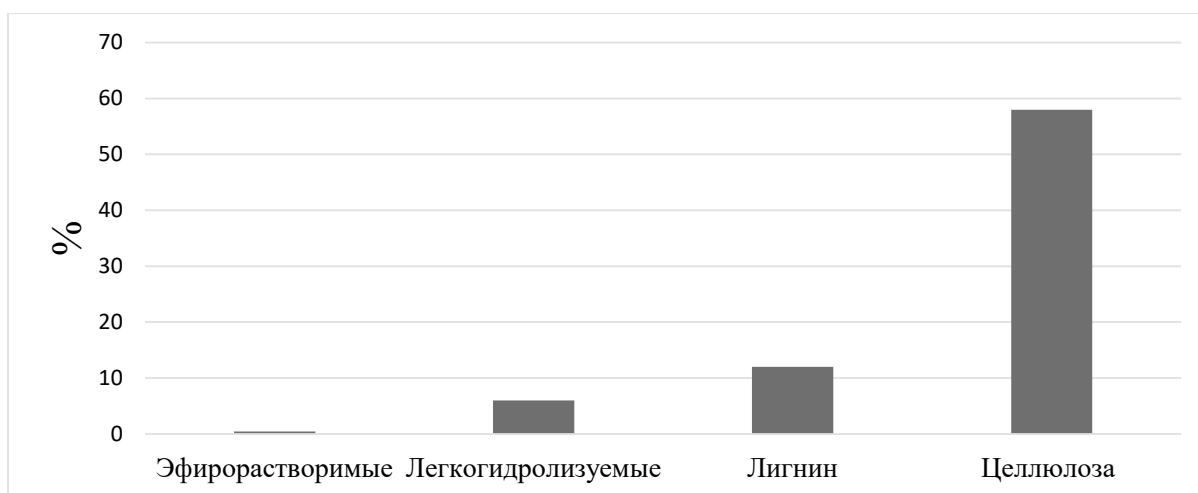


Рисунок 1 – Содержание основных компонентов в ЭХТММ

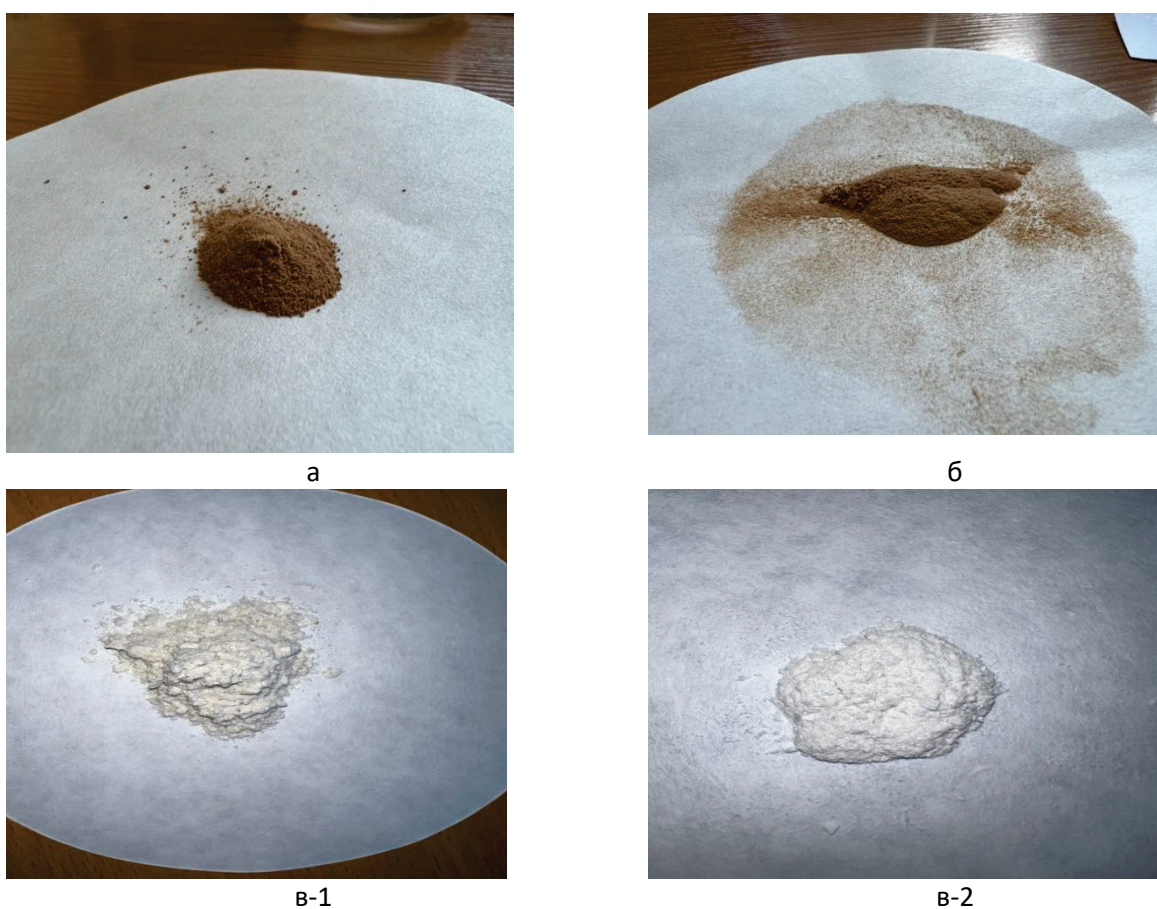


Рисунок 2 – Образцы, полученные обработкой: *а* – соляной кислотой, *б* – пероксимоносерной кислотой, *в* – надуксусной кислотой (*1* – при гидромодуле 1:25, *2* – при гидромодуле 1:50)

Были основные характеристики полученных порошковых лигноцеллюлоз по следующим стандартными методиками методикам [2]:

- Средняя степень полимеризации определена вискозиметрически в растворе кадоксена.
 - Содержание лигнина определено по ГОСТ 10070-74.
 - Содержание целлюлозы определено азотно-спиртовым методом Кюршнера
- Полученные данные представлены на рисунках 3–5.

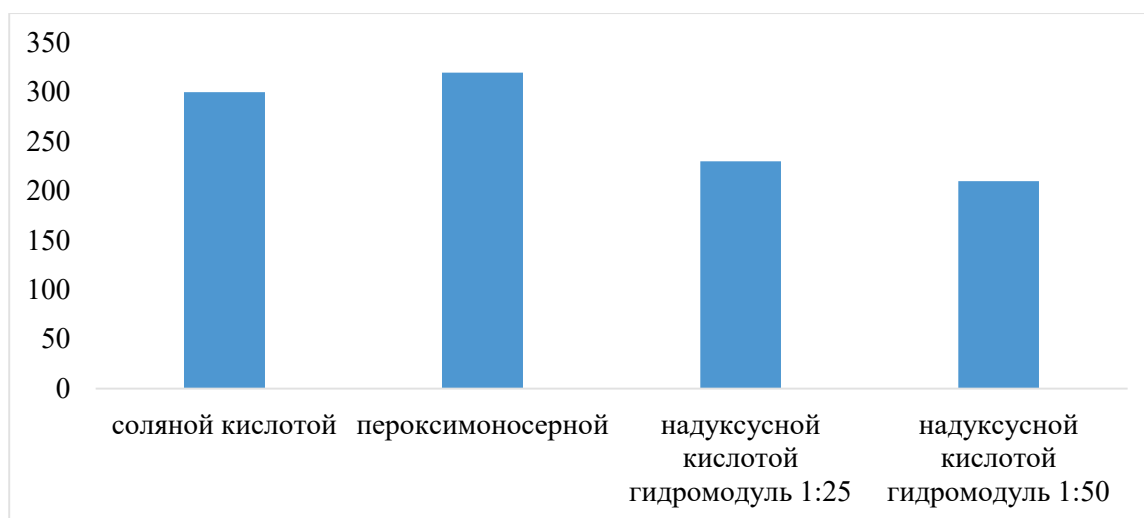


Рисунок 3 – Средняя степень полимеризации полученных образцов

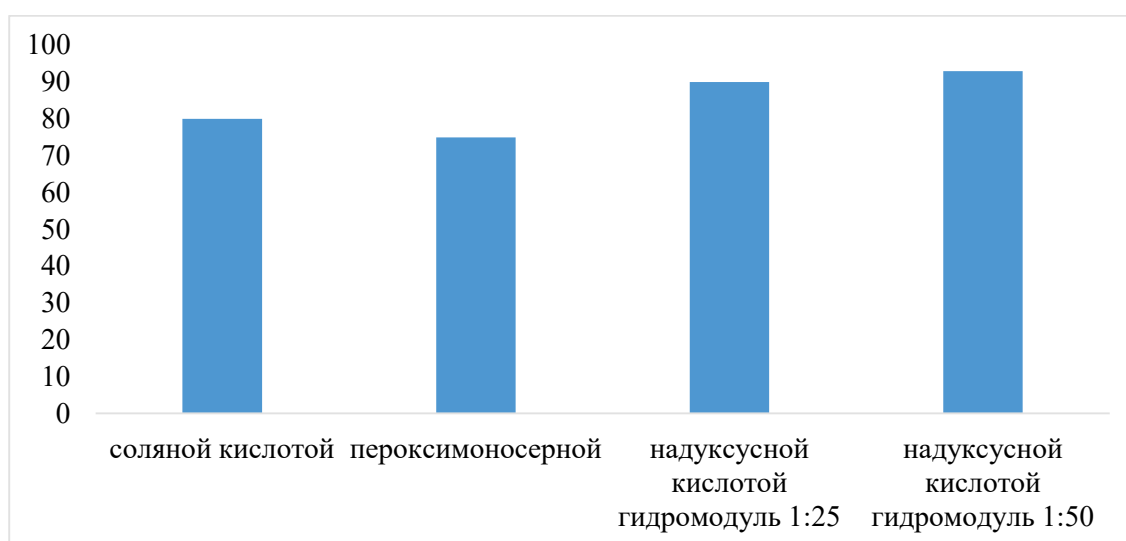


Рисунок 4 – Содержание целлюлозы Кюршнера в полученных образцах

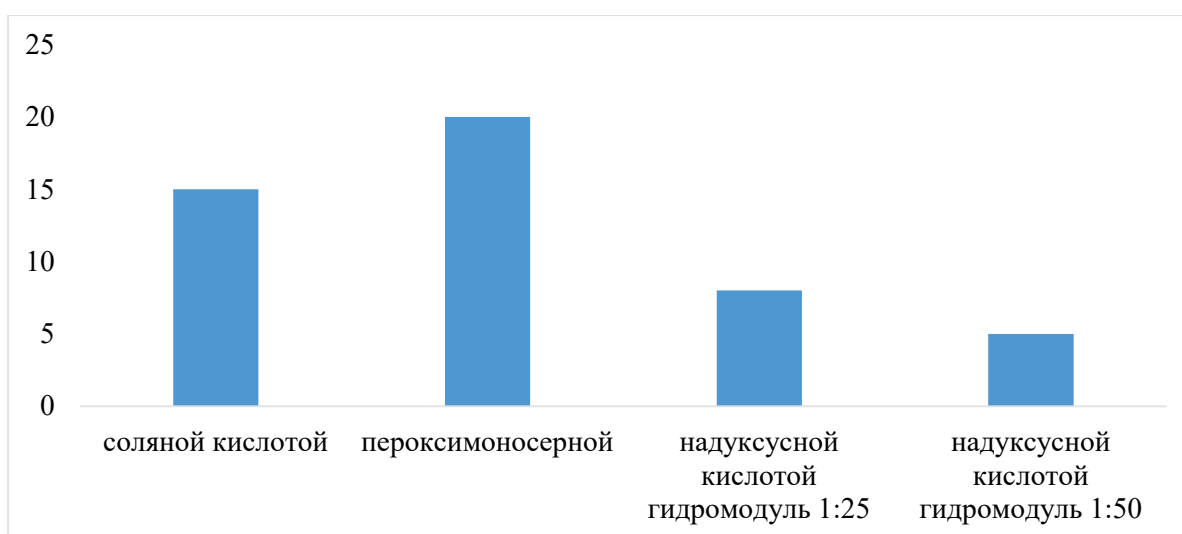


Рисунок 5 – Содержание лигнина в полученных образцах

Средняя степень полимеризации оказалось ниже у образцов, полученных путем обработки надуксусной кислотой, что говорит о более сильной деструкции целлюлозы, причем при увеличении гидромодуля деструкция усиливается, что связано с улучшенной диффузией химических реагентов в сырье. В образцах, полученных обработкой надуксусной кислотой, содержание целлюлозы Кюршнера увеличилось на 30-35 %, содержание лигнина наименьшее и уменьшилось в 2-2,5 раза. Таким образом, получение порошковых лигноцеллюлоз из ЭХТММ путем обработки надуксусной кислотой является оптимальным из предложенных.

Для образцов, полученных обработкой надуксусной кислотой, была определена степень кристалличности методом рентгеннофазового анализа и составила 75-79 % [3]. Методом электронной микроскопии был определен модальный размер частиц, который составил 300 мкм. Таким образом, порошковые лигноцеллюлозы, полученные обработкой надуксусной кислотой, по своим характеристикам коррелируют с характеристиками микрокристаллических целлюлоз.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- Перспективным способом утилизации неликвидной древесины является получение ЭХТММ с последующим получением порошковых лигноцеллюлоз.
- Получены образцы порошковых лигноцеллюлоз различными способами.
- Выбран оптимальный способ и режим получения ПЦ из ЭХТММ – обработка надуксусной кислотой при гидромодуле 1:50.

Список литературы

1. Ковернинский И. Н., Дубовый В. К., Прокопенко К. Д. Исследование экструзивной химико-термомеханической массы // Химия растительного сырья. – 2022. – №1. – С. 319 – 324.
2. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для вузов. – М.: «Экология», 1991. – 320 с.
3. Чухнин Д. Г., Малков А. В., Тышкунова И. В., Майер Л. В., Новожилов Е. В. Способ дифрактометрического определения степени кристалличности веществ // Кристаллография и фотоника. – 2016. – Т. 63 – №3 – С. 375 – 379.

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF POWDER LIGNOCELLULOSES OBTAINED FROM EXTRUDED CTMP

A. S. Krutikov*, E. Yu. Demiantseva, V. K. Duboviy, A. S. Sutaikin
Higher School of Technology and Energy of SPbSUITE, St. Petersburg
*E-mail: andr.crutikoff@yandex.ru

Abstract. A promising way to utilize illiquid wood is to process it into an extruded chemical-thermomechanical mass, followed by the production of product with a high added value, namely powdered lignocellulose. Various methods of obtaining powdered cellulose were used in laboratory conditions, a comparative analysis of the main characteristics of the obtained samples examined by standard methods was carried out, and the optimal method and mode of obtaining the product was selected.

Keywords: extruded chemical-thermomechanical mass, powdered lignocellulose.

References

1. Koverninskiy I. N., Duboviy V. K., Prokopenko K. D. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya, 2022, no. 1. – pp. 319 – 324.
2. Obolenskaya A. V., Elnitskaya Z. P., Leonovich K. D. Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: A textbook for universities. – 1991. – 320 p.
3. Chukhchin D.G., Malkov A.V., Tyshkunova I.V., Mayer L.V., Novozhilov E.V. Crystallography Reports. 2016. T. 61. № 3. pp. 371-375.

МАЛОТОННАЖНЫЕ ЗАВОДЫ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. О. Мамматов*, В. А. Бескровная,

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

**E-mail: Mammatov1@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается концепция малотоннажных заводов как одно из перспективных направлений повышения инвестиционной и организационной составляющей эффективности целлюлозно-бумажной промышленности в современной России.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, вторичные ресурсы, индекс промышленного производства, инвестиции.

Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 года (далее – Стратегия) предполагает формирование лесопромышленных кластеров (сети взаимосвязанных предприятий и учреждений, географически близких друг к другу) в лесоизбыточных регионах страны, в которых центральное место отводится целлюлозно-бумажным комбинатам [1].

В настоящее время балансовая древесина хвойных и лиственных пород остается невостребованной в регионах активного лесопользования, где отсутствуют предприятия по глубокой переработке древесины (плитное и целлюлозное производство). Наличие целлюлозно-бумажных комбинатов – это залог комплексного использования лесосырьевых ресурсов страны, однако из 61 крупных целлюлозных заводов осталось 19 действующих.

Большой потенциал в сфере производства различных групп продукции из растворимой древесной целлюлозы остается нереализованным по причине отсутствия в стране предприятия-производителя. С закрытием в 2013 году Байкальского ЦБК в России начался период 100 % импорта целлюлозы для химической переработки (целлюлозы для вискозного волокна) и продукции из нее. В условиях санкционных ограничений вопрос строительства завода по выпуску растворимой целлюлозы приобретает новый, стратегический уровень актуальности. Появление в стране производителя растворимой целлюлозы станет отправной точкой по созданию новых предприятий, выпускающих продукцию с высокой добавленной стоимостью, в особенности в легкой промышленности, которая остро нуждается в вискозном волокне.

Анализ данных Росстата о работе лесопромышленного комплекса России по итогам 2022 года показывает, что несмотря на внешние ограничивающие факторы в виде санкций и др. производство целлюлозы осталось на прежнем уровне (8,8 млн тонн, рис. 1) [2].

Таким образом, несмотря на тенденции умеренного снижения отраслевых показателей, вызванного рыночной трансформацией, целлюлозно-бумажная промышленность остается самой стабильной подотраслью лесопромышленного комплекса.

Целлюлозно-бумажная промышленность на протяжении всего периода становления отрасли в истории современной России занимала роль локомотива. Большая часть инвестиций в лесопромышленном комплексе (до 45 %) направлялась на проекты, связанные с ЦБП. Такой баланс был определен в первую очередь динамикой развития отрасли, экспортной ориентированностью продукции и конъюнктурой мирового рынка. Консолидация активов ЦБП привела к состоянию, когда 90 % лесопромышленной продукции производят 10 ведущих предприятий [3].



Рисунок 1 – Производство целлюлозы в России по годам

Последний целлюлозно-бумажный комбинат на новой площадке построили в Советском Союзе в 1980 году в Усть-Илимске. Основными причинами, препятствующими созданию новых производств, отраслевые специалисты называют: отсутствие необходимой инфраструктуры (в первую очередь, лесовозных дорог), высокие удельные капитальные затраты вследствие несовершенства строительных и пожарных нормативов, экологическая составляющая и связанная с ней позиция общественности, отсутствие в достаточном количестве квалифицированных кадров, а также сложность обеспечения сырьевой безопасности крупнотоннажных производств в условиях сезонности заготовки [4-6]. Однако, до недавнего времени, речь шла о крупных проектах, с мощностями от 700 до 1500 тыс. тонн в год готовой продукции.

В связи с санкционными ограничениями доступ к рынку оборудования для создания крупных целлюлозно-бумажных производств ограничен. На рынке существуют отдельные крупные инжиниринговые компании из КНР, в частности САМСЕ, которая участвовала в строительстве Светлогорского ЦКК в Белоруссии, способные к реализации проектов крупнотоннажных производств, однако на момент написания статьи ни одного проекта в России не реализовано [7].

Учитывая вышеприведенные условия, для создания новых целлюлозно-бумажных производств, все большую актуальность приобретает концепция малотоннажных заводов, которые обладают рядом преимуществ перед крупными проектами [4, 8, 9].

К ключевым преимуществам малотоннажных целлюлозно-бумажных заводов, объем производства готовой продукции которых находится на уровне от 10 до 100 тыс. тонн в год, относятся: наличие проектно-инжиниринговых организаций, способных выполнить проектные работы; срок выполнения проектных работ до 1 года параллельно с изготовлением оборудования; способность российской станкостроительной промышленности к производству отдельных видов оборудования; обеспечение занятости местного населения на должности, которые не требуют особых специализированных знаний; низкая экологическая нагрузка на окружающую среду; а также высокая сырьевая безопасность в долгосрочной перспективе.

Внимания в вопросе обеспечения сырьевой безопасности заслуживает не столько лесообеспечение, так как в лесонасыщенных регионах достаточно балансового сырья для строительства крупного завода, сколько кадровый состав, в особенности квалификация водителей лесовозов и операторов лесозаготовительной техники, а также техническое обеспечение лесозаготовительной и лесовозной техникой.

Опытные водители лесовозов и операторы лесозаготовительной техники ценятся в регионах и получают достойный уровень оплаты труда, выше отраслевого, поэтому привлечь их на новое место работы достаточно проблематично. Для обеспечения крупного предприятия,

с уровнем производства в 1 млн тонн готовой продукции, необходимо от 5 до 6 млн м³ балансового сырья. Крупному предприятию необходимо будет привлечь от 500 до 1000 только водителей лесовозной техники. В России нет региона, в котором можно найти столько водителей лесовозов, что повлечет за собой необходимость организации вахтового метода работы со всеми сопутствующими сложностями в виде создания условий по проживанию, питанию и др., которые дополнительно повышают себестоимость.

Лесозаготовительная и лесовозная техника зачастую импортного западного производства, и обеспечить в полной мере крупное предприятие отечественными аналогами или поставкой техники из СНГ и АТР не представляется возможным в ближайшей перспективе.

В отличие от крупного завода, малотоннажное производство не требует высокого уровня технологического и кадрового обеспечения. Инвестиционная привлекательность малотоннажных проектов заключается в возможности привлечь необходимые финансовые ресурсы внутри страны, без необходимости обращения к зарубежным инвесторам. Привести данные по капитальным затратам на малотоннажные заводы по производству различных сортов целлюлозы не представляется возможным, так как отсутствуют разработанные проекты. Провести данные по затратам на строительство планируется в следующей работе.

Выводы: Формирование финансово-устойчивых, конкурентноспособных предприятий целлюлозно-бумажной промышленности в сложившихся условиях возможно, однако отраслевому сообществу необходимо пересмотреть концепцию создания производственных мощностей в сторону децентрализованных и распределенных по территории страны в соответствии с кластерным подходом малотоннажных заводов.

Одним из важнейших направлений новой кластерной политики должны стать малые и средние предприятия, производящие диверсифицированные группы продукции, в первую очередь удовлетворяющие потребности внутреннего рынка.

Формы государственной поддержки должны быть ориентированы на снижение удельных капитальных затрат, при реализации проектов, в том числе, необходимо пересмотреть существующие нормы строительной и пожарной безопасности по аналогии с лучшими мировыми практиками.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 года № 312-р [Электронный ресурс] // сайт Правительства России URL: <http://government.ru/docs/34064/> (дата обращения: 10.09.2023).
2. Росстат. О промышленном производстве в 2022 году [Электронный ресурс] // сайт Росстата URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/11_01-02-2023.html (дата обращения: 19.09.2023).
3. Лебедева А. В. Ключевые факторы риска на российских предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности // Евразийский Союз Ученых. – 2015. – №10-5 (19). – С. 103-105.
4. Круговорот проектов ЦБК [Электронный ресурс] // сайт федерального журнала «Лесной комплекс» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/krugovorot-proektov-cbk/> (дата обращения: 10.09.2023).
5. Почему в России не строят новые ЦБК: взгляд на проблему с позиции консалтинга [Электронный ресурс] // сайт федерального журнала «Лесной комплекс» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/pochemu-v-rossii-ne-stroyat-novye-cbk-vzglyad-na-problemu-s-pozicii-konsaltinga/> (дата обращения: 10.09.2023).
6. Почему в России не строят новые ЦБК [Электронный ресурс] // сайт журнала «ПроДерево» URL: <https://proderevo.net/news/indst/pochemu-v-rossii-ne-stoyat-novye-tsbk.html> (дата обращения: 10.09.2023).

7. Китайская CAMCE стала партнером ВЭБ.РФ и Rockwell Capital в проекте целлюлозного завода [Электронный ресурс] // сайт сетевого издания "Интерфакс.ру" URL: <https://www.interfax.ru/business/851925> (дата обращения: 10.09.2023).
8. Малотоннажные заводы химико-термомеханической массы для бумаги и картона [Электронный ресурс] // сайт федерального журнала «Лесной комплекс» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/malotonnazhnye-zavody-himiko-termomehanicheskoy-massy-dlya-bumagi-i-kartona/> (дата обращения: 10.09.2023).
9. Производство ЭХТММ [Электронный ресурс] // сайт «Инновационного центра инжиниринга переработки низкокачественной древесины и отходов лесопиления» URL: <http://timberbusiness.ru/opisanie-proekta/> (дата обращения: 10.09.2023).

SMALL-TONNAGE PLANTS AS ONE OF THE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE RUSSIA PULP AND PAPER INDUSTRY IN MODERN CONDITIONS

V. Mamatov*, V. Beskrovnaya,
Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, St. Petersburg
*E-mail: Mamatov1@mail.ru

Abstract. The article examines the concept of small-tonnage plants as one of the promising areas for increasing the investment and organizational component of the efficiency of the pulp and paper industry in modern Russia.

Keywords: pulp and paper industry, secondary resources, industrial production index, investments.

References

1. Order of the Government of the Russian Federation of February 11, 2021 N 312-r [Electronic resource] // Website of the Government of Russia URL: <http://government.ru/docs/34064/> (access date: 09/10/2023).
2. Rosstat. About industrial production in 2022 [Electronic resource] // Rosstat website URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/11_01-02-2023.html (access date: 09/19/2023).
3. Lebedeva A. V. Key risk factors at Russian pulp and paper industry enterprises // Eurasian Union of Scientists. – 2015. – No. 10-5 (19). – pp. 103-105.
4. Circulation of pulp and paper mill projects in Russia [Electronic resource] // Website of the federal magazine «Forest Complex» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/krugovorot-proektov-cbk/> (date of access: 09/10/2023).
5. Why new pulp and paper mills are not being built in Russia: a look at the problem from a consulting perspective [Electronic resource] // Website of the federal magazine «Forest Complex» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/pochemu-v-rossii-ne-stroyat-novye-cbk-vzglyad-na-problemu-s-pozicii-konsaltinga/> (date of access: 09/10/2023).
6. Why new pulp and paper mills are not being built in Russia [Electronic resource] // Website of the magazine «ProDerevo» URL: <https://proderevo.net/news/indst/pochemu-v-rossii-ne-stoyat-novye-tsbk.html> (date of access: 09/10/2023).
7. Chinese CAMCE became a partner of VEB.RF and Rockwell Capital in the pulp mill project [Electronic resource] // website of the online publication «Interfax.ru» URL: <https://www.interfax.ru/business/851925> (access date: 10.09.2023).
8. Small-scale plants for chemical-thermomechanical mass for paper and cardboard [Electronic resource] // Website of the federal journal «Forest Complex» URL: <https://forestcomplex.ru/cbp/malotonnazhnye-zavody-himiko-termomehanicheskoy-massy-dlya-bumagi-i-kartona/> (date of access: 09/10/2023).
9. Production of EHTMM [Electronic resource] // Website of the "Innovative Center for Engineering Processing of Low-Quality Wood and Sawmill Waste" URL: <http://timberbusiness.ru/opisanie-proekta/> (access date: 09.10.2023).

МАТЕРИАЛЫ
V Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП

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

13 – 14 ноября 2023 года

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Технический редактор Д. А. Романова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 02.11.2023 г. Рег.№ 5264/23

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.