



СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

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

Материалы

III Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП

Том I

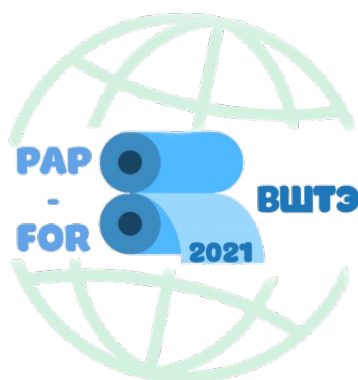


Санкт-Петербург
2022

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



PAP-FOR 2021



Материалы

III Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП

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

8 ноября 2021 г.

Том I

PAP-FOR
■ RUSSIA ■

Санкт-Петербург
2022

УДК 676:(665+378+628)+674.8+502.17

ББК 65.9(2)304.18

С 568

Рецензент:

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

С 568 Материалы III Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 8 ноября 2021 года) / Ред. О. В. Фёдорова, А. Г. Кузнецов. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — Том I. — 90 с.

ISBN 978-5-91646-297-5

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

Представленные доклады освещают четыре основные темы:

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

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

ISBN 978-5-91646-297-5

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2022

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



PAP-FOR 2021



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

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

November 8, 2021

Volume I

PAP-FOR
■ RUSSIA ■

Saint Petersburg
2022

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

Reviewer:

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

Proceedings of the 3rd International State-of-the-Art Conference
of Young Researchers and Pulp & Paper Industry Specialists «Modern Pulp and Paper
Industry. Current Challenges and Promising Solutions» (Russia, Saint Petersburg, 8 of
November, 2021). Ed. O. V. Fedorova, A. G. Kuznetsov. Saint Petersburg, SPbSUITD
HSTE, 2022, vol. 1, 90 p.

ISBN 978-5-91646-297-5

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

The reports cover four main themes:

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

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

ISBN 978-5-91646-297-5

© Higher School of Technology
and Energy of SPbSUITD, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Петрова Е. А., Демьянцева Е. Ю. Извлечение водорастворимых веществ древесной зелени хвойных пород в присутствии неионогенных ПАВ.....	9
Зеленцов М. Д., Ромашева М. М., Иванов А. Р. О возможности создания новых экологически значимых сорбционных технологий	13
Ромашева М. М., Зеленцов М. Д., Иванов А. Р. О возможности сорбции солей хрома компонентами стебля топинамбура	16
Уваров П. Э., Демьянцева Е. Ю. Получение целлюлозного материала с антибактериальным покрытием	21
Бобкова Е. А., Таразанов А. А., Уварова Д. Ю., Ковкова М. А. Исследование возможности получения целлюлозы из стеблей борщевика Сосновского бисульфитным способом	24
Королёва Е. В., Кузнецов А. Г., Проскурина Е. В., Фёдорова О. В. Переработка чековой ленты.....	29
Проскурина Е. В., Фёдорова О. В., Королёва Е. В., Кузнецов А. Г. Анализ воды при вторичной переработке кассовых чеков.....	33
Андреева О. В., Кузнецов А. Г. Изучение взаимосвязи водоудержания волокнистых полуфабрикатов и прочностных свойств получаемой продукции.....	36
Мухина П. М., Ерохина О. А., Кузнецов А. Г. Исследование влияния обработки опилок лиственницы водно-глицериновой смесью на их свойства.....	40
Боркина Я. В., Флейшер В. Л. Влияние количества малеопимаровой кислоты на функциональные свойства полиамидной смолы для бумаги	44
Васильева А. П., Осовская И. И. Огнебиозащитные средства для покрытия древесины	48
Янчукович С. Г., Вербицкая А. Г. Сохраняя экологию, не жертвуем комфортом	53
Громова Е. Н., Мисютина К. Г. Определение коэффициента массопереноса при конвективной сушке картона	57
Колесников Р. В., Фрейдкина Е. М. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов: к вопросу об эффективности сжигания отходов для выработки энергии в России.....	61

Мельникова Д. А., Демьянцева Е. Ю., Литвинов А. С.	
Разработка масла экспандерного на основе растительного сырья	66
Сморозин С. Н., Николаева А. Г.	
Влияние состава минеральной части щелока на эффективность работы СРК	69
Сморозин С. Н., Николаева А. Г.	
Содорегенерационный котлоагрегат с производительностью 4300 тонн а.с.в. в сутки.....	73
Петрова Д. А., Смирнов И. Р.	
Исследование процесса переработки бумаги.....	77
Селезнёв В. Н., Махотина Л. Г.	
Исследование влияния концентрации размола хлопковой целлюлозы на морфологические свойства волокна и структуру целлюлозного композиционного материала для сбора и хранения биологических веществ.....	80
Ашихмина И. А., Слюта М. О.	
Модернизация процесса очистки уходящих газов в скруббере Вентури с разработкой САУ расходом орошающей жидкости	85

CONTENTS

Petrova E. A., Demiantseva E. Yu. EXTRACTION OF WATER-SOLUBLE SUBSTANCES OF WOOD GREEN OF CONIFEROUS SPECIES IN THE PRESENCE OF NON-IONIC SURFACES	12
Zelentsov M. D., Romasheva M. M., Ivanov A. R. ABOUT THE POSSIBILITY OF DEVELOPMENT OF NEW ECOLOGICALLY SIGNIFICANT SORPTIONAL TECHNOLOGIES	16
Romasheva M. M., Zelentsov M. D., Ivanov A. R. ABOUT THE POSSIBILITIES OF SORPTION OF CHROMIUM SALTS BY COMPONENTS OF JERUSALEM ARTICHOKE STEM.....	20
Uvarov P. E., Demyantseva E. Yu. OBTAINING CELLULOSIC MATERIAL WITH ANTIBACTERIAL COATING	23
Bobkova E. A., Tarazanov A. A., Uvarova D. Yu., Kovkova M. A. STUDY OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING PULP FROM THE STEMS OF SOSNOWSKY'S HOGWEED BISULFITE METHOD	29
Koroleva E. V., Kuznetsov A. G., Proskurina E. V., Fedorova O. V. PROCESSING OF THE RECEIPT TAPE	32
Proskurina E. V., Fedorova O. V., Koroleva E. V., Kuznetsov A. G. ANALYSIS OF WASTE WATER DURING CASH RECEIPTS RECYCLING	35
Andreeva O. V., Kuznetsov A. G. STUDYING THE INTERCONNECTION OF WATER RETENTION OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS AND STRENGTH PROPERTIES OF THE OBTAINED PRODUCT	39
Mukhina P. M., Erohina O. A., Kuznetsov A. G. STUDY OF THE EFFECT OF LARCH SAWDUST TREATMENT WITH A WATER- GLYCERIN MIXTURE ON THEIR PROPERTIES	43
Borkina Ya. V., Fleisher V. L. THE EFFECT OF THE AMOUNT OF MALEOPIMARIC ACID ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF POLYAMIDE RESIN FOR PAPER.....	47
Vasileva A. P., Osovskaya I. I. FIRE-PROTECTIVE AGENTS FOR COVERING WOOD.....	52
Yanchukovich S. G., Verbitskaya A. G. PRESERVING THE ENVIRONMENT, WE DO NOT SACRIFICE COMFORT	56
Gromova E. N., Misyutina K. G. DETERMINATION OF THE MASS TRANSFER COEFFICIENT DURING CONVECTIVE DRYING OF CARDBOARD	60

Kolesnikov R. V., Freydkina E. M. ENERGY RECOVERY OF SOLID MUNICIPAL WASTE: TO THE QUESTION OF THE EFFICIENCY OF WASTE COMBUSTION FOR ENERGY GENERATION IN RUSSIA	65
Melnikova D. A., Demyantseva E. Yu., Litvinov A. S. DEVELOPMENT OF EXPANDER OIL BASED ON HERBAL RAW MATERIALS	68
Smorodin S. N., Nikolaeva A. G. THE EFFECT OF THE COMPOSITION OF THE MINERAL PART OF THE LIQUOR ON THE EFFECTIVENESS OF THE RECOVERY BOILER	72
Smorodin S. N., Nikolaeva A. G. RECOVERY BOILER WITH A CAPACITY OF 4300 A.D.T. PER DAY	76
Petrova D. A., Smirnov I. R. RESEARCH OF THE PAPER RECYCLING PROCESS	80
Seleznev V. N., Makhotina L. G. STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF COTTON CELLULOSE REFINING ON THE MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF THE FIBER AND THE STRUCTURE OF THE CELLULOSIC COMPOSITE MATERIAL FOR THE COLLECTION AND STORAGE OF BIOLOGICAL SUBSTANCES	85
Ashihmina L. A., Slyuta M. O. MODERNIZATION OF THE FLUE GAS CLEANING PROCESS IN THE VENTURI SCRUBBER WITH THE DEVELOPMENT OF THE SAU IRRIGATION FLUID FLOW RATE	89

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД В ПРИСУТСТВИИ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ

Е. А. Петрова*, Е. Ю. Демьянцева

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: kateri.petrova2018@yandex.ru

Спрос на древесное сырье растет, поэтому комплексное использование древесины является важным аспектом в современной деревообрабатывающей и лесохимической промышленности. Комплексное использование предполагает технологическую переработку всей биомассы дерева, в том числе древесной зелени, для получения целевых продуктов. Основную массу древесной зелени составляют нерастворимые полисахариды и лигнин, но наибольшую ценность представляют экстрактивные вещества, многие из которых обладают биологически активными свойствами, в их число входят арабиногалактан, пектин, аскорбиновая кислота и др.

Работа направлена на улучшение способа выделения биологически активных веществ из древесной зелени ели европейской, сосны обыкновенной и лиственницы сибирской водным экстрагированием в присутствии ПАВ. На основании коллоидно-химических исследований было выявлено влияние ПАВ на извлечение водорастворимых компонентов, оценены поверхностно-активные свойства полученных экстрактов.

Результаты исследования станут основой разрабатываемой технологии увеличения выхода водорастворимых веществ.

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

Практическое использование хвойной древесной зелени обусловлено ее особым химическим составом, наличием биологически активных соединений: витамина С, арабиногалактана, ферментов, гормонов.

В работе были получены экстракты хвои ели, сосны, лиственницы и изучено влияние неионогенного поверхностно-активного вещества твина-80 на извлечение отдельных компонентов, обладающих биологической активностью. Исследуемые растворы были получены экстрагированием горячей водой в отсутствие и присутствии твина-80 в течение 3 часов при температуре 100 °С. Было замечено, что полисорбат-80 обладает антисептическими свойствами, его добавка при экстрагировании позволила увеличить срок хранения растворов полученных водорастворимых веществ в 5 раз, что при перспективе его применение позволит снизить расход консервантов.

Количественное содержание арабиногалактана в водных экстрактах оценивали осаждением ацетоном в присутствии хлорида натрия. Содержание пектина определяли осаждением уксусной кислотой в присутствии хлористого кальция. Содержание аскорбиновой кислоты оценивали с помощью йодометрического титрования.

Анализ состава экстрактов показал, что наибольшее количество арабиногалактана (90 %) содержится в водном экстракте лиственницы, но присутствие твина-80 при экстрагировании его снижает, в отличие от экстрактов ели и сосны, в которых присутствие ПАВ повышает содержание арабиногалактана в водном растворе (рис. 1).

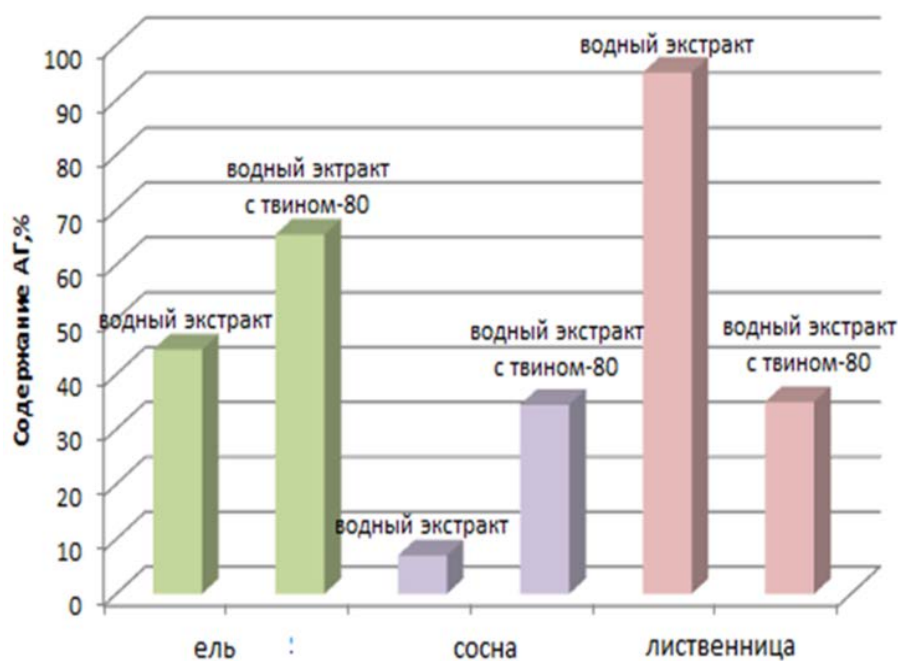


Рисунок 1 – Содержание арабиногалактана в экстрактах

Введение ПАВ при водном экстрагировании существенно уменьшает количество выделенного пектина из хвои ели и лиственницы, при этом содержание пектина в сосновом экстракте резко возрастает (рис. 2).

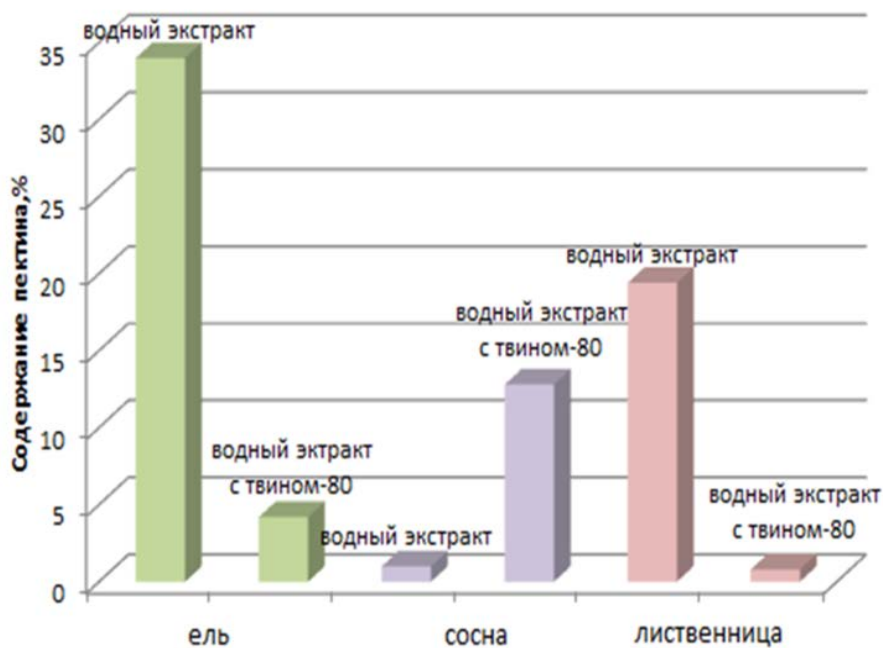


Рисунок 2 – Содержание пектина в экстрактах

Сравнительный анализ содержания аскорбиновой кислоты в хвойных экстрактах (рис. 3) показал преимущественное ее содержание в экстрактах ели. Присутствие твина-80 незначительно увеличило извлечение аскорбиновой кислоты.

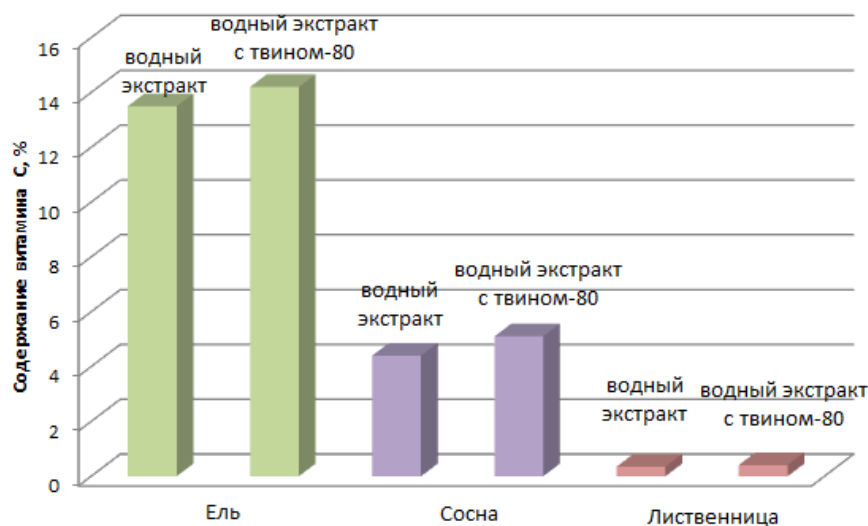


Рисунок 3 – Содержание аскорбиновой кислоты в экстрактах

Для определения поверхностных свойств данных экстрактов были исследованы зависимости поверхностного натяжения от концентрации водорастворимых веществ в экстрактах (рис. 4) [1]. Наибольшей поверхностной активностью обладают экстракты лиственницы, это связано с тем, что в ней содержится много арабиногалактана, способствующего растворению более гидрофобных компонентов.

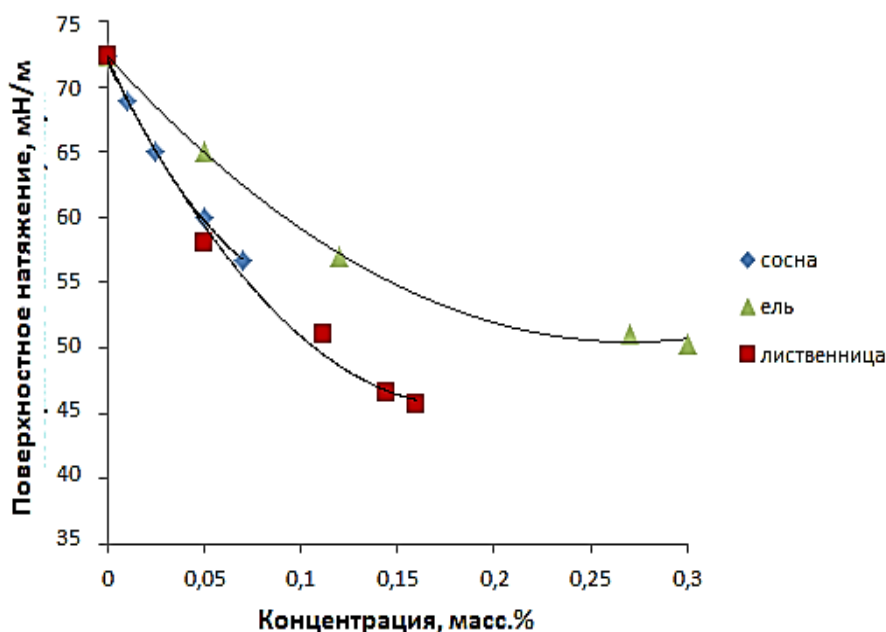


Рисунок 4 – Зависимость поверхностного натяжения от концентрации водорастворимых веществ

Как видно из полученных зависимостей, ККМ экстрактов в присутствии твина-80 смещается в сторону больших концентраций, это говорит об образовании адсорбционных комплексов особенно в экстрактах лиственницы и ели (рис. 5).

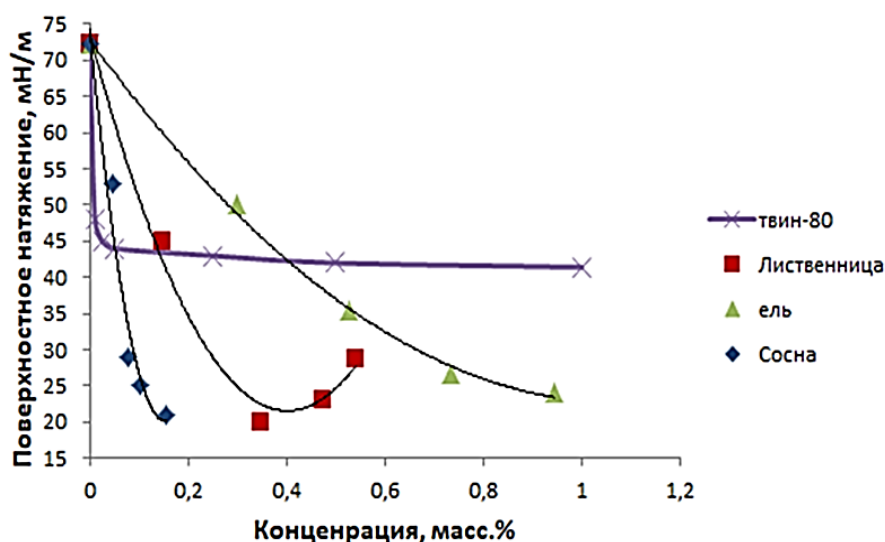


Рисунок 5 – Зависимость поверхностного натяжения от концентрации водорастворимых веществ в присутствии твина-80

На основании полученных данных выявлено, что добавка неионогенного ПАВ по-разному влияет на выделение водорастворимых веществ. По-видимому, это связано с тем, что водорастворимые вещества переходят в солубилизированное состояние. В соответствии со стандартными методиками их выделение затруднительно, необходим поиск новых способов выделения водорастворимых соединений из экстрактов.

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

Список литературы

1. Осовская И. И., Демьянцева Е. Ю., Андранович О. С. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи: учебно-методическое пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/24.pdf> (дата обращения: 12.10.2021).

EXTRACTION OF WATER-SOLUBLE SUBSTANCES OF WOOD GREEN OF CONIFEROUS SPECIES IN THE PRESENCE OF NON-IONIC SURFACES

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

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: kateri.petrova2018@yandex.ru

The demand for wood raw materials is growing, therefore the integrated use of wood is an important aspect in the modern woodworking and wood chemical industry. Integrated use involves the technological processing of the entire biomass of a tree, including woody greenery, to obtain targeted products. The bulk of woody greenery is made up of insoluble polysaccharides and lignin, but extractives are of the greatest value, many of which have biologically active properties, including arabinogalactan, pectin, ascorbic acid, etc.

The work is aimed at improving the method of isolating biologically active substances from tree greens of European spruce, Scots pine and Siberian larch by water extraction in the presence of

surfactants. On the basis of colloidal-chemical studies, the effect of surfactants on the extraction of water-soluble components was revealed, and the surface-active properties of the obtained extracts were evaluated.

The research results will form the basis of the developed technology for increasing the yield of water-soluble substances.

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

References

1. Osovskaya I. I., Demiantseva E. Yu., Andranovich O. S. *Opredelenie poverkhnostnogo natyaghenia metodom otriva koltsa Du-Nui* [Determination of surface tension by the Du-Nui ring tearing method]. M-vo obrazovaniya i nauki RF, HSTE SPbSUITD, SPb, 2016, 24 p. Available at: <http://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/24.pdf> (In Russian).

УДК 628.31

ГРНТИ 61.01.91

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ СОРБЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М. Д. Зеленцов*, М. М. Ромашева, А. Р. Иванов

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: ecologyrisk2012@mail.ru

В ходе данной работы проведены эксперименты по изучению эффективности адсорбции катионитов для удаления ионов тяжёлых металлов на примере КУ-2-8. Наблюдался ее рост более чем в 15 раз благодаря применению стационарного магнитного поля. Кроме того, экспериментально проверены возможности замены промышленного катионита КУ-2-8 в условиях его невысокой эффективности (т.е. без стационарного магнитного поля) на полиэтилентерефталат (ПЭТ) для повышения качества, удешевления (ПЭТ является отходом производства) и экологичности водоподготовки.

Ключевые слова: водоподготовка, адсорбция, очистка, металл, ион.

В настоящее время серьёзной проблемой в химической и целлюлозно-бумажной промышленности остаётся водоподготовка и очистка сточных вод от соединений тяжёлых металлов. Тяжёлые металлы являются опасными загрязнителями окружающей среды, обладают кумулятивными свойствами [1 - 3].

Авторы данной работы ставили перед собой задачу изучить возможность разработки новых и совершенствования имеющихся сорбционных технологий извлечения ионов металлов из водных растворов.

Были проведены эксперименты по многократному увеличению эффективности адсорбции катионитов (по итогам эксперимента – более чем в 15 раз) для удаления ионов тяжёлых металлов на примере КУ-2-8 благодаря стационарному магнитному полю. Кроме того, экспериментально проверены возможности замены промышленного катионита КУ-2-8 в условиях его невысокой эффективности (т.е. без стационарного магнитного поля) на полиэтилентерефталат (ПЭТ) для повышения качества, удешевления (ПЭТ является отходом производства) и экологичности водоподготовки.

В качестве модельных объектов авторами были выбраны водные растворы нитрата кобальта (II) и хлорида хрома (III) с концентрациями 1-5 г/л. Контроль адсорбционных процессов осуществляли фотометрическим путём на приборе КФК-3 фильтрованных рабочих растворов данных солей до и после обработки твёрдыми сорбентами. Пересчёт оптических плотностей в концентрации производили с помощью калибровочной кривой.

Испытуемыми сорбентами являлись: катионит КУ-2-8, порошкообразный полиэтилентерефталат (удельная поверхность не менее $1 \text{ м}^2/\text{г}$).

Источником магнитного поля (в опытах, где оно применялось) был постоянный магнит мешалки типа ММ-5 (напряжённость в условиях составляла 4200 А/м). Учитывая широту и долготу места проведения эксперимента (г. Санкт-Петербург), напряжённость магнитного поля мешалки можно считать 100-кратной по сравнению с природным фоном, составляющим около 42 А/м . Необходимо отметить, что магнит воздействовал через стенку сосуда. По испытанному методу эффективность промышленной адсорбции в водоподготовке может быть повышена практически без затрат (постоянный магнит не требует подачи электроэнергии и практически не изнашивается) и даже со снижением затрат (за счёт уменьшения расходов на адсорбент). Все серии опытов проводились в цилиндрических сосудах при объёмах проб растворов по 100 миллилитров для каждой плотности, равных (с точностью до сотых долей грамма) массах навесок адсорбента (КУ-2-8 и ПЭТ) и адсорбата (нитрата кобальта), концентрации растворённых веществ составляли 5 г/л .

По результатам экспериментов вычисляли и сравнивали удельную адсорбцию с учётом массы навески сорбента. Погрешность составляла не более 30 %.

Использование магнитного поля при адсорбции ионов тяжёлых металлов на примере нитрата кобальта дало повышение эффективности адсорбции от $0,013 \text{ г/г}$ до $0,190 \text{ г/г}$, то есть более чем в 15 раз, при этом наблюдалось постепенное сгущение красной окраски (то есть ионов кобальта, загрязнителя) вблизи магнитного поля и её исчезновение вблизи магнитного поля, где была расположена основная масса катионита КУ-2-8, а затем вода вокруг массы катионита также очистилась, но сам катионит окрасился красным. Это значит, что именно возможность направления ионов кобальта к адсорбенту для очистки воды благодаря магнитному полю и обеспечила резкое ускорение и повышение качества очистки.

С теоретической точки зрения результат может быть объяснён относительно высоким электрохимическим потенциалом ионов тяжёлых металлов (в том числе Co^{2+}), который приводит к притяжению этих ионов к магнитному полю, этот факт и был использован для ускоренной и интенсивной очистки воды в данной серии экспериментов [2]. Этот способ может получить первостепенное экономическое значение в водоподготовке.

Представленная серия опытов не ограничивалась исследованием воздействия магнитного поля на катионит, поскольку теоретически возможна ситуация, когда магнит использовать невозможно. Исследование адсорбции модельных компонентов без магнитного поля показало, что их адсорбция в использованном диапазоне концентраций без магнитного поля на катионите КУ-2-8 значительно меньше, чем на порошкообразном полиэтилентерефталате (ПЭТ). Воздействие на процесс адсорбции полиэтилентерефталатом поля постоянного магнита приводило к росту сорбционного эффекта примерно на 10 %. Как выяснилось в ходе эксперимента, катиониты могут быть заменены на полиэтилентерефталат (ПЭТ) для удаления тяжёлых металлов, и хотя ПЭТ более дешёв и экологичен, чем катиониты, эффективность в среднем растёт. Этот вывод вторичен, но тоже имеет большую важность для экономики и экологии промышленности, в том числе ЦБП.

Активность промышленных катионитов без магнитного поля недостаточна для очистки растворов, содержащих тяжёлые металлы — кобальт и хром, с концентрациями выше 1 г/л , а магнитное поле позволило быстро очистить воду (полученные результаты с нитратом кобальта были достигнуты всего за 30 минут для всех проведённых с ним опытов). В то же время использование полимерных материалов типа полиэтилентерефталата, являющихся отходами производства, дают более высокую эффективность удаления тяжёлых металлов из воды без магнитного поля.

Таким образом, можно сделать однозначный положительный вывод о значительной выгоде применения магнитного поля для очистки воды от тяжёлых металлов катионитами, а также о возможности создания экологически значимой технологии для данного направления, включающую в себя эффективное использование промышленных отходов.

Учитывая многократное повторение опыта в совершенно одинаковых условиях (температуре, времени, объёмах адсорбента, загрязнителя и воды) и повторяющийся результат, можно констатировать, что воздействие поля постоянного магнита напряжённостью 4200 А/м повысило эффективность адсорбции как минимум в 15 раз. Необходимо отметить, что магнит воздействовал через стенку сосуда. По испытанному методу эффективность промышленной адсорбции в водоподготовке может быть повышена практически без затрат и даже со снижением затрат (за счёт уменьшения расходов на адсорбент).

Сравнение величин (доверительных интервалов) адсорбции ионов кобальта, с учетом погрешности измерений приведены на рис. 1 в виде диаграмм.

В ходе экспериментов была доказана эффективность метода более чем пятнадцатикратной интенсификации адсорбции тяжёлых металлов при помощи магнитного поля, доказана возможность замены традиционных катионитов на более дешёвый и экологичный полиэтилентерефталат [3].

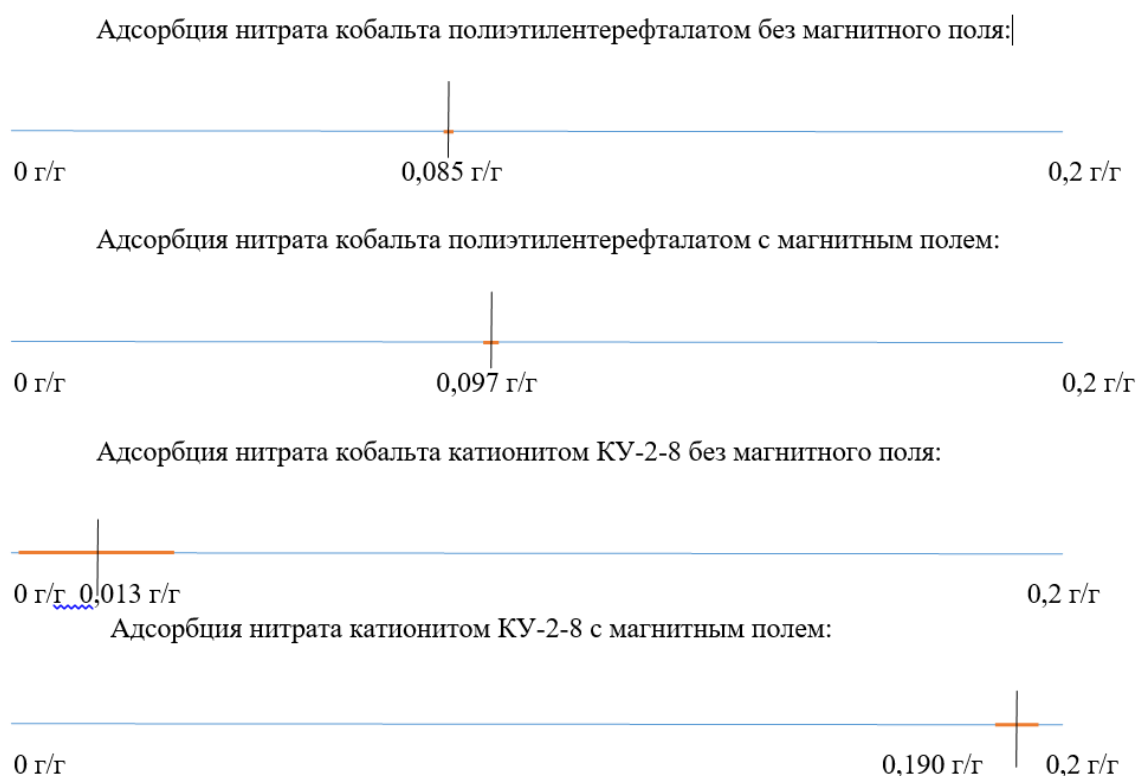


Рисунок 1 – Диаграммы сравнения величин (доверительных интервалов) адсорбции ионов кобальта с учетом погрешности измерений

Список литературы

1. Комиссаренков А. А., Фёдорова О. В. Сорбционные технологии. Определение свойств сорбентов: учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы. СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2015. 44 с.
2. Ванычек П. Б. Электрохимические ряды. М.: Си-Ар-Си Пресс, 2012. 145 с.
3. Бонилья-Петричиолет А., Мендоца-Кастильо Д. И., Рейнелль-Авила И. Э. Адсорбционные технологии для подготовки и очистки воды. М.: Спрингер, 2017. 266 с.

ABOUT THE POSSIBILITY OF DEVELOPMENT OF NEW ECOLOGICALLY SIGNIFICANT SORPTIONAL TECHNOLOGIES

M. D. Zelentsov*, M. M. Romasheva, A. R. Ivanov

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: ecologyrisk2012@mail.ru

While this work some experiments for plentiful (according to the results of the experiment, more than in 15 times) increasing efficiency of adsorption of cation exchangers for removal of heavy metals' ions with KU-2-8 qua sample due to the use of a stationary magnetic field were carried out. Moreover, the possibilities of replacing the industrial cation exchanger KU-2-8 in conditions of its low efficiency (without a stationary magnetic field) by polyethylene terephthalate (PET) were experimentally tested to improve quality, lower cost (PET is waste of production) and environmental friendliness of water treatment, besides PET, plant material *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke) was undergone research. The positive conclusion has been done about the possibility of their use qua sorbents.

Keywords: *water treatment, adsorption, cleaning, metal, ion.*

References

1. Komissarenkov A. A., Fedorova O. V. *Sorbtsionnyye tekhnologii. Opredeleniye svoystv sorbentov* [Sorption technologies. Determination of the properties of sorbents]. SPb., Publishing house SPbGTURP, 2015, 44 p. (In Russian).
2. Vanychek P. B. *Elektrokhimicheskiye ryady* [Electrochemical series]. M., C-R-C Press, 2012, 145 p. (In Russian).
3. Bonilla-Petriciolet A., Mendoza-Castillo D. I., Reinell-Avila I. E. *Adsorbtsionnyye tekhnologii dlya podgotovki i ochistki vody* [Adsorption technologies for water preparation and purification]. M., Springer, 2017, 266 p. (In Russian).

УДК 628.31

ГРНТИ 31.15.35

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОРБЦИИ СОЛЕЙ ХРОМА КОМПОНЕНТАМИ СТЕБЛЯ ТОПИНАМБУРА

М. М. Ромашева*, М. Д. Зеленцов, А. Р. Иванов

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

E-mail: rita.romasheva@gmail.com

В современном мире идёт поиск новых экологически значимых сорбентов для очищения воды от тяжёлых металлов. В ходе данной работы рассматривается возможность создания сорбента для очистки воды от ионов тяжёлых металлов (ионов хрома) на основе сырья *Helianthus tuberosus* L. Испытано растительное сырьё (стебли). Сделан положительный вывод о возможности их применения в качестве сорбента.

Ключевые слова: *тяжёлые металлы, сорбционные технологии, топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.).*

В современном мире топинамбур имеет большое значение: его клубни используют для получения инулина, крахмала, спирта [1, 2]; разрабатывают способы борьбы с борщевиком, который в последнее время становится серьёзной экологической проблемой, уничтожая посевные площади [3]. Стебли же чаще всего используют как кормовую базу для домашнего скота. Топинамбур известен с XVII века, произрастает в Северной Америке, Евразии и

Африке, к почвам не привередлив, даёт в зависимости от сорта от 20 до 35 тонн зелени с гектара, некоторые сорта позволяют получать более 100 центнеров с гектара [4].

Стебель зеленый, некоторые сорта имеют стебли с фиолетовым оттенком. В данной работе для исследования использовался сорт топинамбура без фиолетового оттенка ствола, произрастающий в пригороде Санкт-Петербурга. Высота стебля может достигать 2 метров [5], но в исследовании не фиксировалась высота сегмента от земли, из которого брали образец.

Химический состав стебля в большей степени зависит от сезона сбора и в меньшей степени от места произрастания. Так в исследовании химического состава стеблей топинамбура 1997 года [6] анализировали образцы из зоны с более теплым климатом и плодородной почвой (Красноярский край). В таблице 1 представлено процентное содержание веществ в зависимости от сезона.

Таблица 1 – Процентное содержание веществ [6]

Показатели	Значения показателей в образцах, отобранных в разное время года					
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Апрель
Зола в исходном сырье	5,20	5,40	3,20	2,90	4,10	3,10
Сырой протеин	17,40	13,65	11,18	5,25	1,50	2,71
Вещества, экстрагируемые горячей водой	34,64	43,16	25,67	25,83	25,67	20,20
В том числе:						
моносахариды	8,05	18,28	6,34	6,65	6,93	6,20
олигосахариды	14,35	11,12	6,88	7,38	1,36	4,90
Итого сахаров в экстракте	22,40	24,40	13,22	10,99	8,31	11,10
Легкогидролизуемые полисахариды	14,00	11,96	10,43	13,33	13,90	19,40
В том числе:						
пентозаны	5,04	4,21	3,84	4,79	4,97	6,98
гексозаны	8,96	7,75	6,29	8,54		
Трудногидролизуемые полисахариды	20,07	20,98	41,11	38,31	38,28	38,80
В том числе целлюлоза	18,16	18,88	36,99	34,86	35,22	35,70
Итого полисахаридов	34,07	34,94	51,24	51,64	52,18	58,20
Вещества лигниновой природы	9,20	8,69	9,40	14,90	17,92	15,50

Для исследования выбирали толстые стебли примерного диаметра 10 мм. Время сбора материала: конец сентября – начало октября. Топинамбур сушили при температуре 120 градусов в сушильном шкафу 1,5 часа, затем отделили сердцевину от коры. Провели сорбцию ионов хрома (3+) из водного раствора отдельно сердцевинной и корой, а затем измерили светопропускание раствора.

Адсорбция хлорида хрома (III) сердцевинной топинамбура без дополнительной просушки:



Адсорбция хлорида хрома (III) сердцевинной топинамбура с дополнительной просушкой 30 минут при температуре 150 °C:



Адсорбция хлорида хрома (III) сердцевинной топинамбура с дополнительной просушкой 60 минут при температуре 150 °С:



На основе полученных данных построен график (рис. 1).

сорбция от сушки

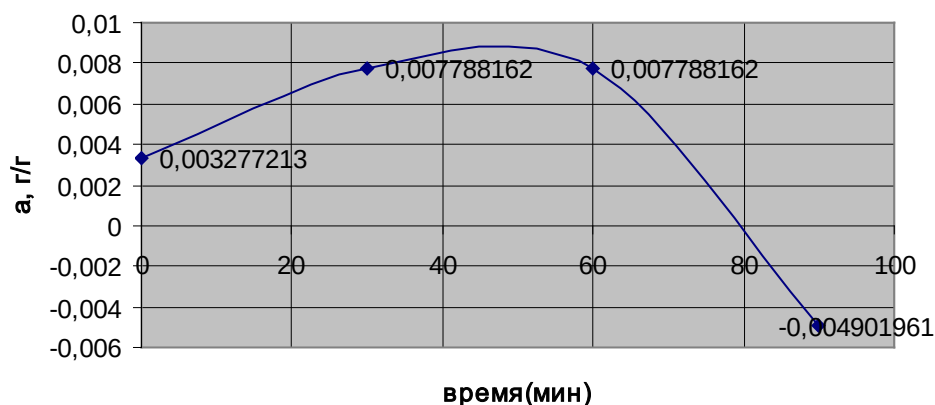


Рисунок 1 – График зависимости сорбции ионов хрома от времени просушки сердцевины

Данный график описывается уравнением: $C = -0.0000049x^2 + 0.0003615x + 0.003228$

Адсорбция хлорида хрома (III) корой топинамбура без дополнительной просушки составила $0,008 \pm 0,002$ г/г. Однако относительная погрешность изменения составила более 50 %.

Сердцевина имеет пористую структуру и содержит больше α -целлюлозы, что позволяет ей сорбировать тяжёлые металлы (табл. 2, рис. 2) [1].

Таблица 2 – Химический состав и значения площади поверхности корки и сердцевины *Helianthus tuberosus* L. [1]

Объект	Содержание, %			Площадь поверхности, м ² /г
	α - целлюлоза	Гемицеллюлоза	Лигнин	
Кора стебля	$54,1 \pm 0,9$	$16,3 \pm 0,4$	$12,5 \pm 0,6$	6,5
Сердцевина стебля	$67,7 \pm 1,0$	$4,6 \pm 0,3$	$67,6 \pm 0,6$	37,6

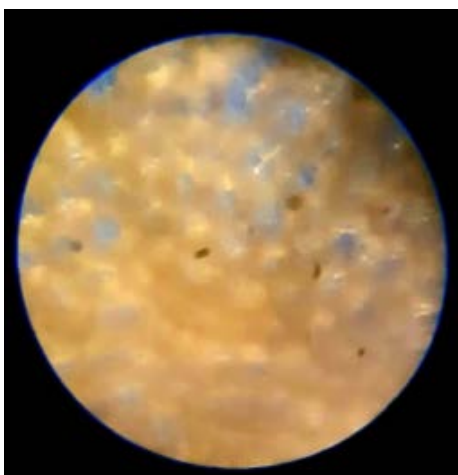


Рисунок 2 – Поперечный срез со светового микроскопа МДК-2 (СССР) при увеличении 150х

Цельный стебель топинамбура без дополнительной просушки не адсорбирует хлорид хрома (III). Цельный стебель топинамбура с дополнительной просушкой в 30 минут при температуре 150 °С также не адсорбирует хлорид хрома (III).

Сердцевина содержит больше растворимых сахаров, которые способны к сорбции тяжёлых металлов [8]. Водная вытяжка из сердцевины даёт pH, равный 6, поэтому можно сделать предположение, что сорбция катионов хрома происходит за счет фруктозы и арабинозы (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание легкоусвояемых углеводов в структуре сахаров стебля топинамбура (проценты в абсолютно сухом веществе) [7]

Углевод	Содержится			
	Водный экстракт	Легкогидролизуемые полисахариды	Трудногидролизуемые полисахариды	Сироп
Глюкоза	35,4	3,9	75,3	16,6
Фруктоза + Маноза	48,2	85,0	24,4	79,2
Галактоза	16,3	0,9	-	3,6
Ксилоза	Следы	1,3	-	Следы
Арабиноза	Следы	8,8	-	Следы

Таким образом, можно сказать, что стебли *Helianthus tuberosus* L. возможно использовать только в обработанном виде. Применение в этом качестве растительного сырья *Helianthus tuberosus* L. показывает адсорбционную активность, сопоставимую с активностью катионите КУ-2-8.

Список литературы

1. Шайхиев И. Г., Садыкова В. П. Использование биомассы топинамбура в качестве сорбционного материала ионов тяжёлых металлов из водных сред // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды – фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Белгород, 2020. 6 с.
2. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Мандрыка Е. А., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – уникальное растительное сырьё // Пищевая промышленность. 2015. № 13. С. 16 – 20.
3. Медведева А. Топинамбур против борщевика Сосновского вновь подтвердил свою эффективность [Электронный ресурс] // Портал АГРОХХИ. 12.01.2021. URL: <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/novosti/topinambur-protiv-borschevika-sosnovskogo-vnov-podtverdil-svoyu-yeffektivnost.html> (дата обращения: 11.09.2021).
4. Старовойтов В. И. Старовойтова О. А. Манохина А. А. Топинамбур как кормовой ресурс // Агроинженерия. 2014. №3. С. 24-26.
5. Ярошевич М. И., Вечер Н. Н. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – перспективная культура многоцелевого использования // Труды БГУ: научный журнал. 2009. Т. 4. Вып. 2. С. 1 – 12.
6. Рязанова Т. В., Чупрова Н. А, Дорофеева Л. А., Богданов А. В., Шалина Ж. В. Химический состав вегетативной части топинамбура и ее использование // Лесной журнал. 1997. №4. С. 72 – 75.
7. Аникиенко Т. И. Химический и микроэлементный состав клубней и зеленой массы топинамбура // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. № 2. С. 75 – 80.
8. Куличенко Е. О., Мыкоц Л. П., Туховская Н. А., Лигай Л. В., Андреева О. А., Оганесян Э. Т. Изучение адсорбционных и кинетических характеристик природных сорбентов по отношению к катионам свинца (II) // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 335 – 344.

ABOUT THE POSSIBILITIES OF SORPTION OF CHROMIUM SALTS BY COMPONENTS OF JERUSALEM ARTICHOKE STEM

M. M. Romasheva*, M. D. Zelentsov, A. R. Ivanov

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: rita.romasheva@gmail.com

Today scientists all over the world are looking for a new environmentally friendly sorbents for purification of water from heavy metals. In this work/ the possibility of creating a sorbent for water purification from heavy metal ions (chromium ions) based on *Helianthus tuberosus* L raw materials is considered. Vegetable raw materials (stems) have been tested. A positive conclusion has been made about the possibility of their use as a sorbent.

Keywords: *heavy metals, sorption technologies, Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.)*

References

1. Shaikhiev I. G., Sadykova V. P. Ispol'zovanie biomassy topinambura v kachestve sorbcionnogo materiala ionov tyazhyolyh metallov iz vodnyh sred [The use of Jerusalem artichoke biomass as a sorption material for heavy metal ions from aqueous media]. *Bezopasnost', zashchita i ohrana okruzhayushchej prirodnoj sredy – fundamental'nye i prikladnye issledovaniya* [Safety, protection and protection of the natural environment - fundamental and applied research]: Collection of reports of the All-Russian scientific conference, Belgorod, 2020, 6 p. (In Russian).
2. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Zvyagintsev P. S., Mandryka E. A., Lazunin Yu. T. Topinambur – unikal'noe rastitel'noe syr'e [Jerusalem artichoke is a unique vegetable raw material]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2015, no. 13, pp.16-20. (In Russian).
3. Medvedeva A. *Topinambur protiv borshchevika Sosnovskogo vnov' podtverdil svoyu effektivnost'* [Jerusalem artichoke versus Sosnovsky hogweed again confirmed its effectiveness]. AGROXXI, 12.01.2021, URL: <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/novosti/topinambur-protiv-borshevika-sosnovskogo-vnov-podtverdil-svoyu-yeffektivnost.html> (accessed 11.09.2021). (In Russian).
4. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Manokhina A. A. Topinambur kak kormovoj resurs [Jerusalem artichoke as a fodder resource], *Agroinzheneriya* [Agroengineering], 2014, no. 3, pp. 24-26. (In Russian).
5. Yaroshevich M. I., Evening N. N. Topinambur (*helianthus tuberosus* L.) – perspektivnaya kul'tura mnogocelevogo ispol'zovaniya [jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* L.) - a perspective culture of multipurpose use]. *Trudy BGU* [Proceedings of BSU], 2009, vol. 4, no. 2, pp. 1-12. (In Russian).
6. Ryazanova T. V., Chuprova N. A., Dorofeeva L. A., Bogdanov A. V., Shalina Zh. V. Himicheskij sostav vegetativnoj chasti topinambura i ee ispol'zovanie [chemical composition of the vegetative part of jerusalem artichoke and its use]. *Lesnoj zhurnal* [Forest Journal], 1997, no. 4, pp. 72-75. (In Russian).
7. Anikienko T. I. Himicheskij i mikroelementnyj sostav klubnej i zelenoj massy topinambura [Chemical and trace element composition of tubers and green mass of Jerusalem artichoke]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2008, no. 2, pp. 75-80. (In Russian).
8. Kulichenko E. O., Mykots L. P., Tukhovskaya N. A., Ligai L. V., Andreeva O. A., Oganessian E. T. Izuchenie adsorbcionnyh i kineticheskikh harakteristik prirodnyh sorbentov po otnosheniyu k kationam svinca (II) [Study of the adsorption and kinetic characteristics of natural sorbents in relation to lead cations (II)]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2019, no. 3, pp. 335-344. (In Russian).

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО МАТЕРИАЛА С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМ ПОКРЫТИЕМ

П. Э. Уваров*, Е. Ю. Демьянцева

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: pavel_uvarov@icloud.com

Возникновение биоповреждения бумаги и картона различного назначения, его анализ, изучение механизма повреждения и видов микроорганизмов, вызывающих его, выявление факторов, способствующих и препятствующих развитию этого процесса, и изыскание защитных средств от повреждения микроорганизмами представляют собой важную задачу для современной науки и практики. Кроме того, масса болезнетворных микроорганизмов, распространяясь по воздуху и оседая на поверхностях, могут передаваться через прикосновения к предметам с последующим касанием к слизистым оболочкам.

Использование в упаковочной продукции целлюлозного материала с антибактериальным покрытием поможет препятствовать накоплению и распространению болезнетворных бактерий. Благодаря своим свойствам, а также тенденции к замене пластиковой одноразовой посуды на бумажную данная технология может найти особенное применение в общепите при использовании картонных коробок и бумажных стаканчиков.

В научно-исследовательской работе, выполненной в ВШТЭ СПбГУПТД, были исследованы поверхностные свойства цетилтриметиламмония хлорида, обладающего антимикробным действием, а также проведён сравнительный анализ адсорбционной способности полиоксина, катамина и их бинарных смесей.

Ключевые слова: целлюлоза, бумага, картон, упаковка, покрытие.

При повышенной относительной влажности воздуха целлюлоза, содержащаяся в целлюлозно-бумажных материалах, сильно гидратируется, что значительно увеличивает его поражаемость. Образование низкомолекулярных продуктов в процессе старения и деструкции материала приводит к общему снижению его микробиологической стойкости, так как грибы, используя эти легкоусвояемые вещества, начинают интенсивно функционировать и выделять в окружающую среду целый комплекс метаболитов, ускоряющих деструкционный процесс волокон [1].

Поверхностная обработка целлюлозно-бумажных материалов приводит к изменению их структурных параметров, влияющих, например, на непроницаемость для жира и микроорганизмов.

Целью научно-исследовательской работы было изучение влияния на поверхностные свойства целлюлозных волокон катионного поверхностно-активного вещества цетилтриметиламмония хлорида, обладающего антимикробным действием, и сравнительный анализ адсорбционной способности на волокнах сульфатной целлюлозы данного вещества с полиоксином, катамином АБ и их бинарных смесей.

Цетилтриметиламмоний хлорид (СТАС) – органическое химическое соединение, используемое в косметических средствах. Синтетическое ПАВ, обладает антисептическим и антистатическим действием. Четвертичная аммонийная соль, белый порошок, прозрачный раствор или паста. Используется как катионное ПАВ, эмульгатор, консервант, антимикробная добавка, антистатик. Применяется для производства дезинфицирующих средств и кожных антисептиков.

Для исследования поверхностных свойств данного вещества предварительно были приготовлены водные растворы в диапазоне концентраций 0-5 масс.%. Тензиометрическим методом отрыва кольца [2] были получены величины поверхностного натяжения приготовленных водных растворов. На основании концентрационной зависимости

поверхностного натяжения (рис. 1) была определена критическая концентрация мицеллообразования и поверхностная активность цетилтриметиламмония хлорида, которые составили 0,5 масс.% и 66,5 мДж-м/кг.

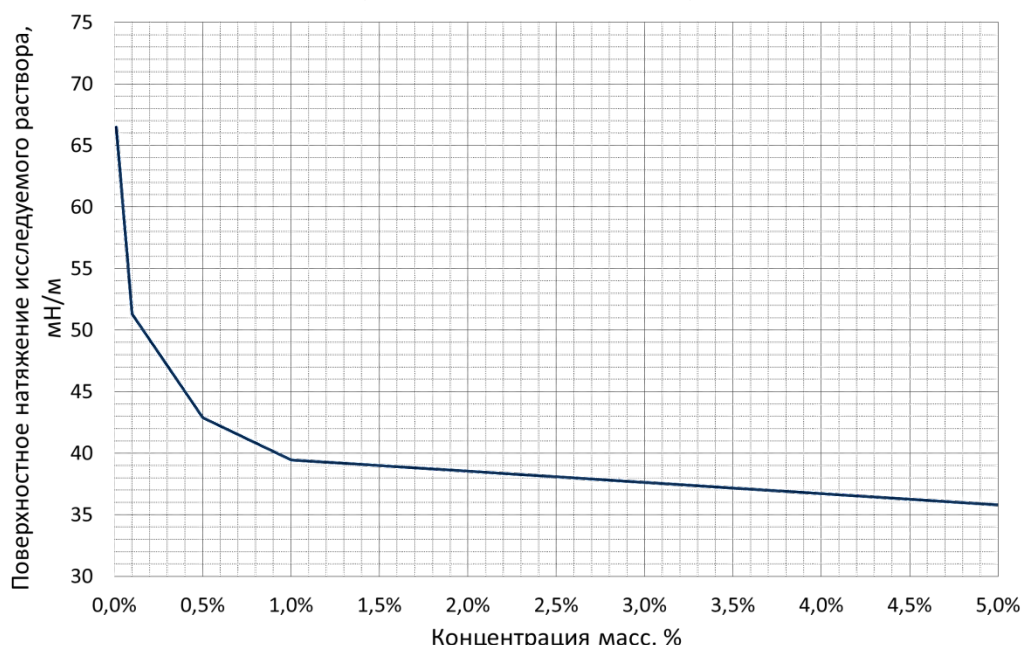


Рисунок 1 – Изотерма поверхностного натяжения раствора цетилтриметиламмония хлорид

Для определения адсорбционной способности данного вещества предварительно набухшую в воде целлюлозу обрабатывали растворами ПАВ различных концентраций в течение времени, необходимого для достижения адсорбционного равновесия (24 часа). Затем целлюлозу отделяли от раствора на фильтре Шотта и высушивали на воздухе для последующей десорбции. Фильтрат использовали для определения равновесной концентрации ПАВ по предварительно построенным калибровочным кривым. Концентрацию ПАВ в водном растворе определяли спектрофотометрическим методом. Спектрофотометрическим методом по изменению концентраций растворов до и после адсорбции получены значения адсорбции данного катионного ПАВ на целлюлозных волокнах (рис. 2). Сравнительный анализ зависимостей адсорбции и десорбции данного ПАВ с ранее изученными веществами и их смесями показал, что во всех случаях около 70–80 % адсорбированного ПАВ удерживается целлюлозой, по-видимому, за счет водородных связей. Наилучшей способностью к адсорбции на целлюлозных волокнах обладает цетилтриметиламмоний хлорид, что при выборе данного антимикробного вещества позволит снизить расход химиката для получения барьерного покрытия.

Добавление цетилтриметиламмония хлорида к целлюлозе позволит также увеличить жиростойкость материала без повышения степени помола целлюлозных волокон. Оптимальная дозировка при применении данного вещества для получения антибактериального покрытия – 0,5 масс. %. В соответствии с расчетами примерная величина расхода на 1 тонну целлюлозы составит около 2,5 кубических метров 0,5 % раствора цетилтриметиламмония хлорид. Рыночная стоимость СТАС составляет примерно 3,5 - 8\$ за килограмм чистого вещества.

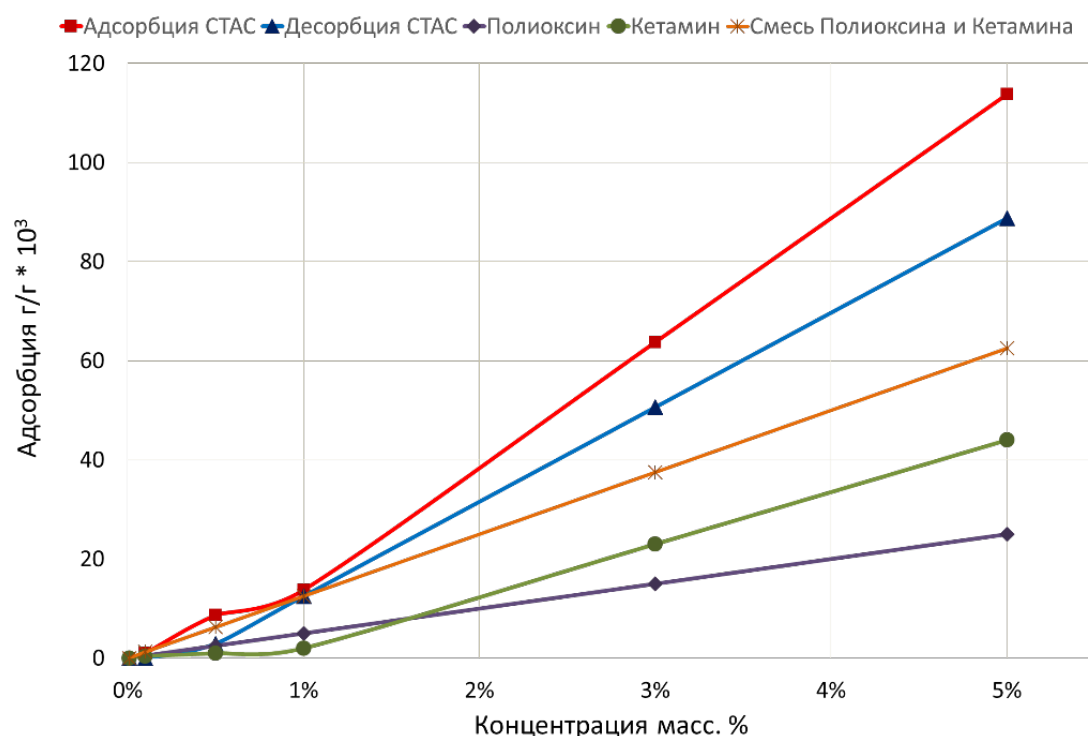


Рисунок 2 – Зависимость адсорбции-десорбции ПАВ целлюлозой от его концентрации в растворе

Таким образом, цетилтриметиламмоний хлорид, обладающий хорошей способностью к адсорбции на целлюлозных волокнах и дезинфицирующими свойствами, может быть использован для получения жиростойкой целлюлозной продукции с антибактериальным покрытием, позволяющим сохранить качество упаковываемой еды и напитков, а также предотвратить передачу и размножение болезнетворных бактерий.

Список литературы

1. Овсянникова Е. А., Дулькин Д. А., Спиридонов В. А., Канарский А. В. Микроорганизмы в производстве бумаги и картона // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 9. С. 205-209.
2. Осовская И. И., Демьянцева Е. Ю., Андранович О. С. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи: учебно-методическое пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 24 с.

OBTAINING CELLULOSIC MATERIAL WITH ANTIBACTERIAL COATING

P. E. Uvarov *, E. Yu. Demyantseva

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: pavel_uvarov@icloud.com

The emergence of biological damage to paper and cardboard for various purposes, its analysis, the study of the mechanism of damage and the types of microorganisms that cause it, the identification of factors that contribute to and hinder the development of this process, and the search for protective means against damage by microorganisms are an important task for modern science and practice. In addition, a mass of pathogens spreading through the air and settling on surfaces can be transmitted through touching objects with subsequent touching the mucous membranes.

Using an antibacterial coated cellulosic material in packaging products will help prevent the buildup and spread of harmful bacteria. Due to its properties, as well as the trend towards replacing plastic

disposable tableware with paper, this technology can find particular application in public catering when using cardboard boxes and paper cups.

In the research work carried out at the Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, the surface properties of cetyltrimethylammonium chloride, which has an antimicrobial effect, were investigated, as well as a comparative analysis of the adsorption capacity of polyoxine, catamine and their binary mixtures.

Keywords: *cellulose, paper, cardboard, packaging, coating.*

References

1. Ovsyannikova E. A., Dulkan D. A., Spiridonov V. A., Kanarsky A. V. Microorganisms in the production of paper and cardboard. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2014, vol. 17, no. 9, pp. 205-209. (In Russian).
2. Osovskaya I. I., Demyantseva E. Yu., Andranovich O. S. *Determination of surface tension by the method of tearing off the Du-Nui ring: a training manual*. SPb, VSTE SPbGUPTD, 2016, 24 p. (In Russian).

УДК 676.163.4

ГРНТИ 66.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО БИСУЛЬФИТНЫМ СПОСОБОМ

Е. А. Бобкова^{1*}, А. А. Таразанов¹, Д. Ю. Уварова¹, М. А. Ковкова²

¹ *Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург*

² *РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург*

E-mail: kabobkova@yandex.ru

Основным промышленным сырьем в целлюлозно-бумажной индустрии сейчас является древесина лиственных и хвойных пород деревьев. В качестве альтернативной сырьевой базы может быть внедрение травянистых растений, в которых содержится целлюлоза. Однако не все виды подходят для промышленного применения в связи с их территориальным расположением и недостаточным количеством, а также следует учитывать условия произрастания, трудность в сборе, перевозке, а самое главное – переработке на целлюлозно-бумажных комбинатах. Мы считаем, что для Ленинградской области подходящим травянистым растением может являться борщевик ввиду своей доступности и удобства в переработке. Исследования проводились на базе лабораторий ВШТЭ СПбГУПТД.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, целлюлоза, бисульфитная варка, целлюлозная промышленность.

Род борщевиков – гигантские травы с высочайшими прямостоящими стеблями до 2,5-3 м (рис. 1), богатые питательными веществами и содержащие в собственном соке фотодинамические активные фурукумарины. Это вещества, вызывающие на коже сильные ожоги под действием солнечного света при незначительном попадании на кожу [1].

На сегодня стоит проблема в избавлении территорий от этого растения. Борщевик разрастается в новых областях с большой скоростью, сокращая другие виды растений. Из-за отсутствия мер борьбы возникает трудность в избавлении от данного вида, поэтому есть тенденции к использованию в качестве дополнительной сырьевой базы в целлюлозно-бумажной промышленности [2].



Рисунок 1 – Строение борщевика Сосновского

В борщевике содержится относительно большое количество таких полезных веществ, как белок, сахара, различные эфирные масла, витамины и другие химические соединения (табл. 1) [1, 3].

Таблица 1 – Содержание веществ в борщевике Сосновского

Вещество	Содержание
Лигнин, % а.с.с.	$21,9 \pm 0,2$
Массовая доля целлюлозы, % а.с.с.	$46,4 \pm 1,0$
Содержание минеральных веществ	$7,6 \pm 0,1$
Экстрактивные вещества, % а.с.с.:	
растворимые в органических растворителях (этиловый эфир)	$1,3 \pm 0,5$
растворимые в горячей воде	$1,8 \pm 0,5$
рН водной вытяжки:	
холодного экстрагирования	$6,7 \pm 0,1$
горячего экстрагирования	$6,6 \pm 0,1$

Исходя из этого, необходимо исследовать борщевик Сосновского как дополнительный источник сырья для целлюлозно-бумажной промышленности. Заготовка борщевика Сосновского производилась в летнее время.

Задачей варки древесины в промышленности является выделение в неповрежденном виде волокна при растворении межклеточного вещества и удаление лигнина из сырья. Для варки использовали стебли борщевика, предварительно измельченные в щепу (длина 15-30 мм, ширина 10-30 мм, толщина 1-4 мм) (рис. 2).

Варку проводили на лабораторной варочной установке. В качестве лабораторного режима варки был взят режим, соответствующий техническому регламенту производства целлюлозы на Сокольском ЦБК.

Количество бисульфитной варочной кислоты (содержание SO_2 3,0 – 4,0 %; Na_2O 1,1 – 1,3 %; рН 2,2 – 2,6), которую необходимо использовать, определяется гидромодулем варки, а именно: количеством абсолютно сухой щепы ко всей жидкости в варочном котле.



Рисунок 2 – Щепа из стеблей борщевика Сосновского

Необходимая навеска щепы была помещена в варочную корзину. Следующий этап – пропарка, при температуре 110 °С. Образовавшийся конденсат после пропаривания выводится из системы. Далее производилась заливка варочного бисульфитного раствора в котел. Нагрев варочной кислоты происходил постепенно. Сначала идет нагрев до 65–70 °С, для моделирования промышленного режима варки, далее температура увеличивается до 115 °С, после чего выполняется стоянка при этой температуре. Этот процесс называется пропиткой. Дальнейшее увеличение температуры до 160 °С и стоянки на этом значении является непосредственной варкой. Для постепенной остановки процесса варки производится охлаждение циркулируемой кислоты с помощью теплообменника до 40–65 °С. В завершение всех этих этапов необходимо сделать отбор варочной кислоты из котла и выполнить промывку целлюлозы (рис. 3).



Рисунок 3 – Щепа после варочного процесса

На верхнем сите остается непровар, на нижнее сито с диаметром отверстий 0,05 мм переходит необходимое волокно, которое в дальнейшем отжимается (рис. 4).



Рисунок 4 – Чистое волокно после промывки и отжима

После промывки масса подвергалась щелевой сортировке на лабораторном сите размером 0,1 мм, чтобы волокно полностью очистилось от различных включений и костры (рис. 5). Чистое волокно отжималось от излишков воды и высушивалось.



Рисунок 5 – Остаток после сортировки волокна

Для определения физико-механических свойств необходимо изготовить отливки из полученной целлюлозы (рис. 6). Изготовление производилось на листоотливном аппарате типа рапид-кетен. Целлюлозную массу необходимо подвергнуть предварительному размолу до достижения степени помола 75° Шоппер – Риглера. Это необходимо, чтобы подготовить волокнистый материал к отливу, придать прочность бумажному листу, сделать волокна гибкими, увеличить их поверхность [3].



Рисунок 6 – Отливки из целлюлозы борщевика

После получения целлюлозы, она была изучена под микроскопом с масштабом (рис. 7), а на анализаторе волокна MorFi Comrast были получены структурно-морфологические характеристики (табл. 2).

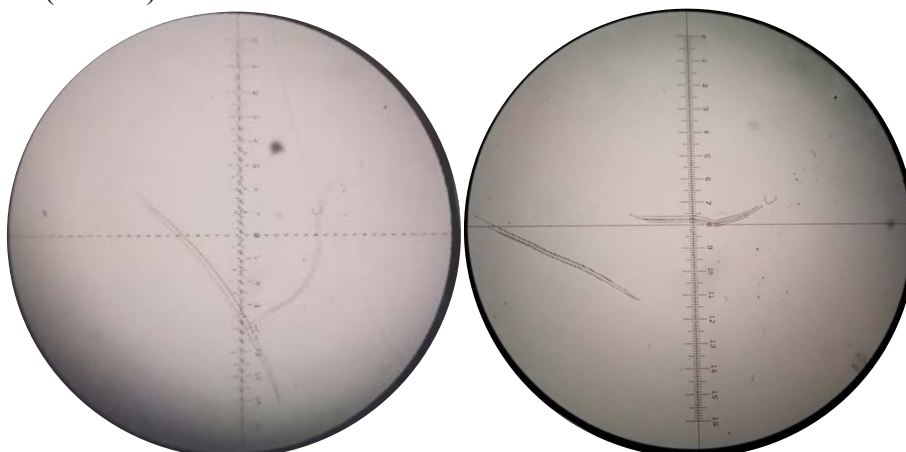


Рисунок 7 – Волокно борщевика под микроскопом увеличение 10х

Таблица 2 – Структурно-морфологические характеристики

Характеристика	Техническая целлюлоза из борщевика
Длина волокон (средневзвешенная по длине)	746,5 мкм
Ширина волокон	23,04 мкм
Изгиб волокон	32,37°
Скручиваемость волокон	8,33%
Процент от площади мелочи	7,84%
Процент от длины мелочи	3,82%

Для того чтобы понять, насколько близкими свойствами обладает полученная целлюлоза в сравнении с продукцией Сокольского ЦБК, необходимо сравнить показатели механической прочности.

Были проведены измерения таких показателей, как сопротивление бумаги раздиранию на приборе Эльмендорфа, определение сопротивления продавливанию бумаги и испытания на растяжение (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнительная таблица показателей механической прочности

Наименование показателя	Целлюлоза бисульфитная производства «Сокольский ЦБК»	Целлюлоза бисульфитная, полученная при лабораторной варке
Жесткость, ед. Каппа	31,9	37
Градус помола, °ШР	70	75
Масса, г/м ²	75	59
Толщина, мкм	131	87,04
Разрывная длина, км	8,5	7,70
Прочность на разрыв, Н/м	6242	4458,92
Удлинение при разрушении, %	1,95	3,40
Сопротивление раздиранию, мН	422	265,6
Сопротивление продавливанию, кПа	259	282,4

В ходе опытно-экспериментальной работы была проведена бисульфитная варка щепы борщевика Сосновского. Был получен полуфабрикат со сходными физико-механическими и химическими свойствами, приближенными к целлюлозе, получаемой на Сокольском ЦБК.

Данный факт свидетельствует о том, что имеется возможность исследовать композицию целлюлозы Сокольского ЦБК и целлюлозу, полученную бисульфитным способом борщевика Сосновского.

Список литературы

1. Сацыперова И. Ф. Борщевики флоры СССР – новые кормовые растения. Л.: Наука. 1984. 223 с.
2. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
3. Шестаков Д. И., Минакова А. Р., Симонова Е. И. Исследование возможности использования борщевика Сосновского как сырья для производства целлюлозы // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ УГЛТА УГЛТУ). Екатеринбург, 2020. С. 525–527.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING PULP FROM THE STEMS OF SOSNOWSKY'S HOGWEED. BISULFITE METHOD

E. A. Bobkova^{1*}, A. A. Tarazanov¹, D. Yu. Uvarova¹, M. A. Kovkova²

¹ Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial
Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

² Herzen University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: kabobkova@yandex.ru

The main industrial raw material in the pulp and paper industry is now hardwood and softwood. As an alternative raw material base, the introduction of herbaceous plants containing pulp can be used. However, not all types are suitable for use due to their territorial location and insufficient performance, and the conditions for collection, transportation, and most importantly, the recycle at pulp and paper mills should be taken into account. We believe that hogweed may be a suitable for the Leningrad region due to its availability and convenience in processing.

Keywords: Sosnovsky's hogweed, cellulose, bisulfite cooking, pulp industry.

References

1. Satsyperova I. F. *Borscheviki flora of the USSR – new fodder plants*. Leningrad, Nauka, 1984, 223 p. (In Russian).
2. Vinogradova Yu. K., Mayorov S. R., Horun L. V. *The Black Book of flora of Central Russia (Alien plant species in ecosystems of Central Russia)*. Moscow, GEOS, 2009, 494 p. (In Russian).
3. Shestakov D. I., Minakova A. R., Simonova E. I. Investigation of the possibility of using Sosnovsky borscht as a raw material for pulp production. *Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia: materials of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of students and postgraduates: dedicated to the 90th anniversary of the Ural State Forestry University (ULTI UGLTA UGLTU)*, Yekaterinburg, 2020, pp. 525-527. (In Russian).

УДК 676.017

ГРНТИ 66.45.39

ПЕРЕРАБОТКА ЧЕКОВОЙ ЛЕНТЫ

Е. В. Королёва*, А. Г. Кузнецов, Е. В. Проскурина, О. В. Фёдорова

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: coroleva.caterina2000@yandex.ru

Тема переработки чековой ленты на сегодняшний день является актуальной и перспективной как для промышленности в качестве рационального использования ресурсов, замкнутости цикла и оборотов производства, так и для любого члена современного общества. Исследования по переработке и вторичному использованию чековой ленты проводились на базе лабораторий ВШТЭ СПбГУПТД. Была получена бумага с удовлетворительными свойствами, высокой впитываемостью. Изготовлены первые образцы конечного продукта переработки. В дальнейшем планируется совершенствование технологии и качества получаемого изделия.

Ключевые слова: целлюлоза, бумага, вторичное сырье, переработка, чековая лента.

В современном мире человек с каждым днем потребляет все больше ресурсов планеты, но вернуть природе может все меньше. Уничтожение лесов – важной экосистемы на земле – является глобальной проблемой, которая приводит к следующему:

- Исчезновению некоторых видов флоры и фауны.
- Снижению видового разнообразия.
- Возрастанию концентрации диоксида углерода в атмосфере.

- Возникновению почвенных эрозии, которые приводят к образованию пустынь.
- Заболачиванию.

В среднем рост дерева составляет от 10 до 30 лет, после чего древесина способна стать сырьем для производства бумаги. Тенденция к сбору и переработке макулатуры в России возрастает с 2007 года, но тем не менее сегодня наблюдается замедление роста показателей данной отрасли. В России в оборот в виде макулатуры марки МС-5Б, согласно данным Лиги переработчиков, возвращается около 90 % данного типа сырья. Другие сорта составляют всего около 12 % использованного картона и бумаги [1]. В то время как в мире, согласно данным из Ежегодного обзора рынка лесных товаров (ФАО ООН), во вторичный оборот всей массы макулатуры возвращается уже более 60 % произведённого сырья.

За 2020 год в России было произведено 22 861 тонна чековой ленты [2]. Данный продукт является одноразовым и бесполезным с точки зрения рационального использования ценного вида отхода. В настоящее время тонны такого сырья не являются перерабатываемыми и чаще всего отправляются в мусоропровод. Затем чеки вместе с ТКО транспортируют на полигон, где они будут захораниваться, гнить (при объективно приемлемых условиях) и создавать отчуждение плодородных земель.

Какие же пути решения данной проблемы существуют?

- Повсеместный переход на электронные чеки.
- Переработка.
- Отказ от печати чека.

На данный момент законодательство РФ не готово полностью отказаться от печати чека при приобретении того или иного товара, поэтому в предложенной статье будет рассмотрена возможность переработки чековой ленты во вторичный продукт.

Данное сырьё является бесплатным. Получить его можно, организовав точку сбора, или на договорной основе с магазинами, метрополитеном и т.д.

Предположительные продукты переработки: открытки, визитки, блокноты, брошюры, страницы меню и многое другое.

Существует и используется несколько видов бумаги для чековой ленты. Однослойная чековая лента представляет собой обычную офсетную бумагу, печать на которой осуществляется с помощью чернил. Двухслойная (капиллярная) лента нужна для одновременной печати двух документов: для клиента и для внутренней отчетности. Бумага содержит на обоих слоях гранулы чернил, при точечном механическом воздействии они лопаются, и текст появляется и на верхней ленте, и на нижней. Третий вид сырья для печати чека это термобумага. В ее основе лежит принцип изменения цвета на черный при точечном нагреве. Горячая печатная головка движется вдоль бумаги, дотрагиваясь до неё в нужных местах. В результате на ленте появляется текст. Данный тип является самым распространенным, так как обладает рядом преимуществ: минимальные затраты вследствие отсутствия дополнительных расходных материалов, в окружающем пространстве не образуется вредная бумажная и чернильная пыль, чистота внутренних механизмов принтера из-за отсутствия чернил [3].

В исследовании нами была отобрана усреднённая проба из отпечатанных чеков разных организаций города.

Изначально были изучены ГОСТ на бумагу для рисования и картон, чтобы в дальнейшем стремиться к определенным параметрам материала и его характеристикам. Работа над сырьем проводилась аналогичным способом, как и при работе с обычной макулатурной массой. Отливки изготовлены на листоотливном аппарате типа RAPID-KÖTHEN в соответствии с ГОСТ. Масса отливки составила 220 г/м².

В лаборатории были определены оптические, печатные и физико-механические свойства полученных образцов. Измерены степень белизны, шероховатость, усилие на разрыв, продавливание, впитывающая способность для сравнения испытуемого образца с требованиями ГОСТ бумаги для рисования и картона для плоских слоёв гофрированного

картона. На рисунке 1 представлено фото одного из образцов, прошедших проверку на впитываемость по методу Кобба.

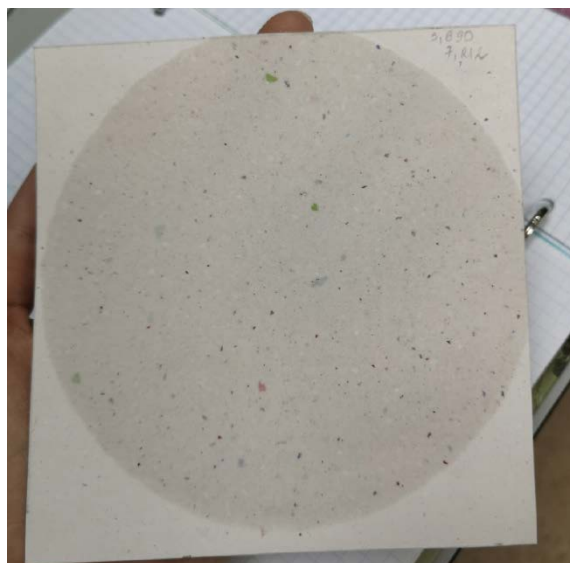


Рисунок 1 – Опытный образец полученной бумаги после измерения впитываемости

Образцы бумаги содержали цветные вкрапления, облагораживание макулатурной массы не производилось, так как на данном этапе целью было получить готовый образец и оценить его пригодность для работы в дальнейшем. Показатели белизны в пределах нормы и соответствуют требованиям ГОСТ. Образец абсолютно непрозрачен. Толщина материала в среднем 412 мкм, что удовлетворяет требованиям ГОСТ. Плотность составляет 0,55 г/см³, что несколько меньше требуемой для рисовальной бумаги, сопротивление продавливанию: 309 кПа – удовлетворяет требованиям. Тест на впитываемость образец не прошёл даже по методу Кобб₁₀, что свидетельствует о высокой влагоемкости продукта и является слабой точкой полученной бумаги. Таблица сравнения показателей приведена ниже.

Таблица – Сравнение параметров полученного образца с требованиями ГОСТ

Параметры	Испытуемый образец	Картон типа К2	Рисовальная бумага типа А
Масса изделия площадью 1 м ² , г	227	225±12	200±8
Воздухопроницаемость (по Бендтсену), мл/мин	320	-	-
Толщина, мм	0,412	0.41±0.04	0,63
Плотность, г/см ³	0,55	-	Не менее 0,6
Поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании (Кобб ₆₀) верхней стороны, г/м ²	Не прошел проверку	30.0	-
Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа	309	Не менее 470	Не менее 150
Прочность при растяжении, кН/м	4,49	-	-
Значение шероховатости, мл/мин	1288	-	-
ISO/CIE, %	83 / 79	-	Не менее 83/ 77

Практически по всем базовым изученным критериям полученный материал удовлетворяет требованиям ГОСТ для рисовальной бумаги. Однако высокая впитывающая способность требует особого внимания и совершенствования значений данного показателя. Использовать краски на водной основе затруднительно, поэтому на данном этапе для применения материала в рамках ранее указанных целей подойдут масляные краски. На рисунке 2 представлен готовый образец открытки.



Рисунок 2 – Круглая открытка из переработанных чеков

В дальнейшем планируется повышать свойства полученного материала и масштабировать исследование.

Список литературы

1. Кваскова М. А. Обзор рынка макулатуры в России// Лесная индустрия. 2005. № 2 (4). [Электронный ресурс]. URL: https://www.lesindustry.ru/issues/li_n4/Obzor_rinka_makulaturi_v_Rossii_13/ (дата обращения: 12.10.2021).
2. Рынок чековой ленты в России – 2020. Показатели и прогнозы [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/40177/> (дата обращения: 12.10.2021).
3. Гриневич Ю. А., Беседовская А. И. Ключевые тенденции развития мирового рынка чековой ленты // Новая наука: опыт, тенденции, инновации. 2016. Т. 1, № 83. С. 59-62.

PROCESSING OF THE RECEIPT TAPE

E. V. Koroleva*, A. G. Kuznetsov, E. V. Proskurina, O. V. Fedorova
*Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial
Technologies and Design, St. Petersburg, Russia*
E-mail: coroleva.caterina2000@yandex.ru

The topic of processing the receipt tape today is relevant and promising both for industry, as a rational use of resources, closed cycle and production turnover, and for any member of modern society. The research was carried out on the basis of the HSTE of SPbSUITD's laboratories. A paper with satisfactory properties and high absorbency was obtained. The first samples of the final product of processing were made. In the future, it is planned to improve the technology and quality of the resulting product by known methods.

Keywords: *cellulose, paper, secondary raw materials, processing, receipt tape.*

References

1. Kvaskova M. A. Review of the waste paper market in Russia. *Forest industry*, 2005, no. 2 (4), URL: https://www.lesindustry.ru/issues/li_n4/Obzor_rinka_makulaturi_v_Rossii_13/ (accessed 12.10.2021). (In Russian).
2. *The check tape market in Russia in 2020. Indicators and forecasts*. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/40177/> (accessed 12.10.2021). (In Russian).
3. Grinevich Yu. A. Besedovskaya A. I. Key trends in the development of the global check tape market. *New science: experience, trends, innovations*, 2016, vol. 1, no. 83, pp. 59-62. (In Russian).

УДК 54.061

ГРНТИ 66.45.37

АНАЛИЗ ВОДЫ ПРИ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ КАССОВЫХ ЧЕКОВ

Е. В. Проскурина*, О. В. Фёдорова, Е. В. Королёва, А. Г. Кузнецов
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург
E-mail: proskurina_kate1503@mail.ru

Работа заключалась в переработке чеков и исследовании эфирных вытяжек из них с последующим получением данных о содержании бисфенола А. Объектом исследования являлись эфирные вытяжки из кассовых чеков и вода после замачивания чеков для последующей переработки.

Цель работы: сравнительный анализ воды кассовых чеков двух видов по различным показателям.

Ключевые слова : анализ воды, вторичная переработка кассовых чеков, бисфенол А, эфирные вытяжки, вторсырье, химические вещества, разрушающие эндокринную систему.

С развитием такого понятия, как эгологичность, проблема переработки бумаги, а именно, кассовых чеков является актуальной. На сегодняшний день переработку кассовых чеков не производят в связи с рядом причин, одну из которых мы рассмотрели в работе. Речь пойдет о бисфеноле А.

Бисфенол А относится к веществам, разрушающим эндокринную систему человека. Несмотря на то, что бисфенол А может содействовать мутационным процессам в репродуктивной системе человека, изменяет не в лучшую сторону психофизическое поведение потомства, это химическое вещество повсеместно используется. Данное вещество производится в больших количествах по всему миру. Основными источниками бисфенола А являются пищевая упаковка, стоматологические материалы, термобумага и другие бумажные изделия [1].

Исследования воздействия бисфенола А на человека проводились много лет. В результате бисфенол А был во всем ЕС объявлен «веществом, вызывающим очень большую озабоченность», и опасным, как для здоровья человека, так и для окружающей среды. По данным Федерального ведомства по охране окружающей среды Германии (нем. Umweltbundesamt Deutschlands), это вещество классифицируется как токсичное. В небольших концентрациях бисфенол безвреден. Однако при определенных условиях химическое вещество может выделяться из термобумаги и проникать в организм человека через кожу.

Тревоги ученых привели к результату – с января 2020 года на территории Евросоюза вступило в силу ограничение, не разрешающее использовать для печати кассовых чеков термобумагу, содержащую более 0,02 % бисфенола А.

Пока в Германии обязательная печать кассовых чеков при каждой покупке закреплена законодательно, в России уже несколько сетей ввели электронные чеки.

Отказаться от печати бумажных чеков и получать информацию о своих покупках на электронную почту можно в приложениях, а также на сайтах магазинов «Азбука Вкуса», «ВкусВилл» и «МясновЪ».

В «Перекрыстке» можно попросить кассира отправить чек на электронную почту вместо печати. А при заказе товаров в онлайн-магазине «Деликатеска», следует поставить галочку, что чек нужен в электронном виде.

Отсутствие печатного кассового чека не противоречит действующему законодательству (№ 54-ФЗ) [2].

Поскольку современный человек постоянно взаимодействует с термобумагой и газетной продукцией, определение бисфенола А в этих изделиях, помимо изучения химического состава, было нашей главной задачей.

Содержание бисфенола А в исследуемых материалах определяли с помощью реактива Либермана, который предварительно приготовили.

1. Приготовление реактива Либермана.

В колбу поместили 1 г нитрита натрия и добавили 10 мл концентрированной серной кислоты.

2. Определение содержания бисфенола А.

В исследовании использовались два вида кассовых чеков.

Для опыта готовили эфирные экстракты из исследуемых материалов. Чеки из офсетной бумаги (колба № 1) и чеки с термослоем (колба № 2) заливали диэтиловым эфиром, закрывали пробкой и выдерживали сутки. Через сутки 1-2 мл эфирных растворов помещали в фарфоровые чашки и анализировали с помощью реактива Либермана [3].

Эфирные экстракты, полученные из двух видов кассовых чеков, дали отрицательную реакцию с реактивом Либермана. В обоих случаях появилась красная окраска, минуя синюю и зелёную, что свидетельствует об отсутствии бисфенола А. Результаты опыта представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Анализ реактивом Либермана: слева – чеки из офсетной бумаги; справа – чеки с термослоем

Также был определен ряд показателей с целью сравнения различных типов чеков (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1 – Значения кислотности и электропроводности

№ п/п	pH	Электропроводность, мкСм
1 (чеки из офсетной бумаги)	7,77	334
2 (чеки с термослоем)	5,61	703

Таблица 2 – Определение щелочности

№ п/п	Щ _{общ.}	Щ _{ф.}	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	ОН ⁻
1	4	0	4	0	0
2	4,2	0	4,2	0	0

Таблица 3 – Определение жесткости

№ п/п	Ж _{общ.}	Ж _{Ca²⁺}	Ж _{Mg²⁺}	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	3,8	2,4	1,4	48,096	17,024
2	4,3	2,4	1,9	48,096	23,104

После проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Вода из-под чеков мутная, что говорит, скорее всего, о наличии карбоната кальция, т.к. для производства чеков используется бумага с наполнителем.
2. Результаты анализа воды свидетельствуют о том, что оба вида кассовых чеков не содержат бисфенола А.
3. Переработанные чеки можно использовать в дальнейшем для изготовления открыток или бумаги для рисования.

Список литературы

1. Семенова П. И. Определение содержания бисфенола А в квитанциях, газетах и другой бумажной продукции: материалы XXVIII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. В 2-х частях. Великий Новгород: Изд-во «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», 2021.
2. Германия переходит на безопасные чеки. Экологическое движение раздельный сбор [Электронный ресурс]. URL: <https://rsbor.ru/encziklopediya-resursosberezheniya/germaniya-pereshla-na-bezopasnyie-cheki/> (дата обращения: 10.12.2021).
3. Именные реактивы [Электронный ресурс]. URL: http://www.xenoid.ru/materials/materials_chem/practic/propisi.php (дата обращения: 10.12.2021).

ANALYSIS OF WASTE WATER DURING CASH RECEIPTS RECYCLING

E. V. Proskurina*, O. V. Fedorova, E. V. Koroleva, A. G. Kuznetsov

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia
E-mail: proskurina_kate1503@mail.ru

The work consisted in the processing of receipts and the study of essential extracts from them, followed by obtaining data on the content of bisphenol A. The object of the study was ether extracts from cash receipts and water after soaking the receipts for subsequent processing.

The purpose of the work: a comparative analysis of the water of cash receipts of two types according to various indicators.

Keywords: *water analysis, recycling of cash receipts, bisphenol A, essential extracts, recyclables, chemicals that destroy the endocrine system.*

References

1. Semenova P. I. Determination of bisphenol A content in receipts, newspapers and other paper products. *Materials of the XXVIII scientific conference of teachers, graduate students and students of NovSU*, In 2 parts, Veliky Novgorod, Publishing House "Yaroslav the Wise Novgorod State University", 2021. (In Russian).
2. *Environmental movement separate collection, Germany moves to secure checks*. URL: <https://rsbor.ru/encziklopediya-resursosberezheniya/germaniya-pereshla-na-bezopasnyie-cheki/> (accessed 10.12.2021). (In Russian).
3. *Named reagents*. URL: http://www.xenoid.ru/materials/materials_chem/practic/propisi.php (accessed 10.12.2021). (In Russian).

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ВОДОУДЕРЖАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛУЧАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

О. В. Андреева*, А. Г. Кузнецов

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: olyaandre2000@yandex.ru

Сегодня для производства композиционных материалов на базе целлюлозных волокон во всём мире используется всё больше вторичного волокна и механической массы. Оба варианта существенно уступают по прочности первичному волокну, но на фоне мирового стремления к устойчивому лесопользованию, снижению влияния целлюлозно-бумажной промышленности на окружающую среду и уменьшения углеродного следа исследования, связанные с улучшением показателей продукции из механической массы, как и вторичного волокна, становятся всё более актуальными. В ходе работы исследовалась сульфатная целлюлоза хвойных и лиственных пород древесины, а также их смесь с термомеханической массой. Выявлена линейная зависимость прочностных свойств отливок от водоудержания массы в диапазоне значений порядка 150 %. Выше этого значения зависимость приобретает, скорее, логарифмический вид.

Ключевые слова: целлюлоза, ТММ, термомеханическая масса, водоудержание, прочностные свойства, волокнистые полуфабрикаты.

Вторичное волокно, как материал, приобрело широкое распространение в мире. Оно активно используется при строительстве дорог в качестве одного из главных ингредиентов для изготовления стабилизаторов в асфальтобетон; при изготовлении фрикционных материалов (накладок) для грузовиков, легковых ТС и мотоциклов. Успешно замещает асбестовые волокна; при изготовлении различных строительных смесей в роли дисперсноармирующего вещества; как натуральный наполнитель при изготовлении картона, упаковочных материалов, транспортировочной тары для куриных яиц, элитных видов бумаги, ёмкостей для рассады одноразового применения, ЭКО-посуды из бумаги, прокладочного материала для упаковки продуктовых товаров.

Кроме этого, максимально активно используется вторичное волокно в производстве санитарно-гигиенических изделий.

Также стоит отметить, что вторичная целлюлоза приобрела популярность и для изготовления готовой продукции типа: эковаты (наиболее востребованный готовый продукт из вторичной целлюлозы); сорбента для нефтепродуктов. Благодаря волокнистой структуре целлюлозный сорбент поглощает до 3-х раз больше единиц нефти и масла в сравнении с прочими видами сорбентов. Важным фактором здесь является экологичность, достигаемая за счёт того, что сорбенты производятся из сырья органического происхождения; мульча для смешивания с гидропосевной смесью. Представляет собой экологически чистое органическое вещество для формирования верхнего слоя грунта на газонах, лужайках, ЖД-откосах, речных руслах и прочих местах, отведённых под озеленение [1].

Прочностные характеристики бумаги / картона неразрывно связаны с технологиями формования и условиями процессов в мокрой части БДМ / КДМ. Кроме этого, сильное влияние имеют морфологические характеристики волокнистого полуфабриката (ВПФ), в частности, степень фибрилляции, которая неразрывно связана с показателем водоудержания.

Цель данной работы – изучить зависимость прочностных свойств получаемого бумажного материала от величины водоудержания ВПФ с различным композиционным составом.

Под водоудержанием (WRV) понимается объем воды в волокне, который не может быть удален из него под действием центробежных сил определенной величины. Существует два варианта происхождения аббревиатуры WRV: на немецком – Wasserrückhalten vermogen, и на английском – Water Retention Value. Впервые этот показатель был предложен Джайме при изучении явления ороговения вторичного волокна. Метод определения, разработанный Джайме, основан на определении массы прочносвязанной воды сушкой после того, как из влажных отливок удалили свободную воду центрифугированием с силой 3000 g [2].

В нашем исследовании водоудерживающая способность определялась на лабораторной центрифуге «Sigma 3-16 P» (рис. 1) по методу Джайме при числе оборотов, обеспечивающих ускорение силы тяжести 3000 g. Общая продолжительность центрифугирования с момента включения до момента выключения составляла 10 минут. После испытания каждый образец взвешивался, а затем сушился в сушильном шкафу при температуре 105 °С. После сушки образец снова взвешивался, после чего рассчитывался коэффициент водоудержания (WRV) по формуле:

$$WRV = \frac{M_{\text{ц}} - M_{\text{а.с.}}}{M_{\text{ц}}} \times 100\%,$$

где $M_{\text{ц}}$ – масса навески после центрифугирования, г;
 $M_{\text{а.с.}}$ – масса абсолютно сухого волокна, г.



Рисунок 1 – лабораторная центрифуга «Sigma 3-16 P»

Для исследования использовались образцы сульфатной целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины, а также их смесь с термомеханической массой (ТММ).

Для целлюлозы градус помола меняли от неразмолотой до 30 °ШР, для ТММ градус помола оставался постоянным и был равен 70 °ШР.

Исследования в ряде статей про водоудержание целлюлозных волокон описывают увеличение WRV с ростом степени помола. При этом хвойная целлюлоза показывает большие значения водоудержания, чем лиственная с тем же градусом помола. Тем не менее для получения более конкретных данных для дальнейших сравнительных испытаний были проведены собственные исследования целлюлозы с разной степенью помола. Из сторонних исследований, проводимых на кафедре ТЦКМ, было известно, что волокна ТММ и лиственной целлюлозы обладают примерно схожей средневзвешенной длиной, поэтому представлялось интересным изучить, какими свойствами будет обладать композиция ТММ / лиственная целлюлоза. Для первоначальных исследований взяли соотношение 90:10. Водоудержание с увеличением градуса помола увеличивалось, но не так значительно, как на чистой целлюлозе (рис. 2). Увеличение количества целлюлозы в композиции (85:15) добавило ещё несколько процентов к водоудержанию.

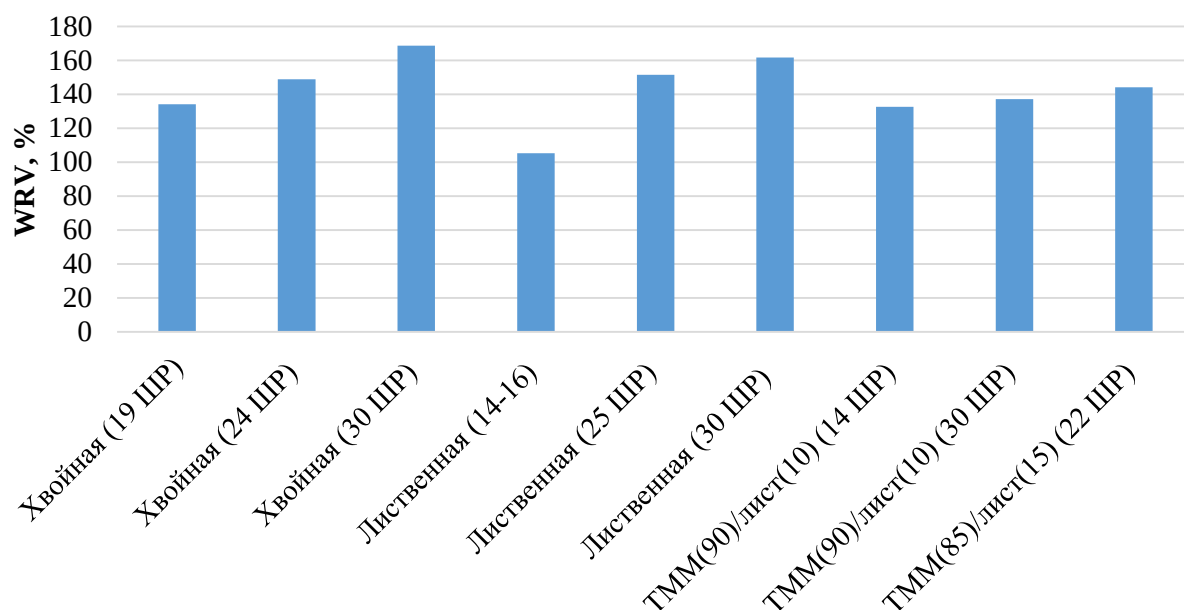


Рисунок 2 – Зависимость водоудержания от вида целлюлозы и степени помола

На следующем этапе исследований из образцов ВПФ были изготовлены отливки бумаги с массой 45 г/м^2 с помощью листоотливного аппарата типа рапид-кетен. У полученных отливок анализировался основной показатель физико-механических свойств – разрывная длина.

Если не брать в расчёт другие характеристики ВПФ, изменяющие в процессе размол, для каждого образца ВПФ наблюдается чёткая зависимость – разрывная длина отливок растёт с увеличением водоудержания ВПФ (рис. 3).

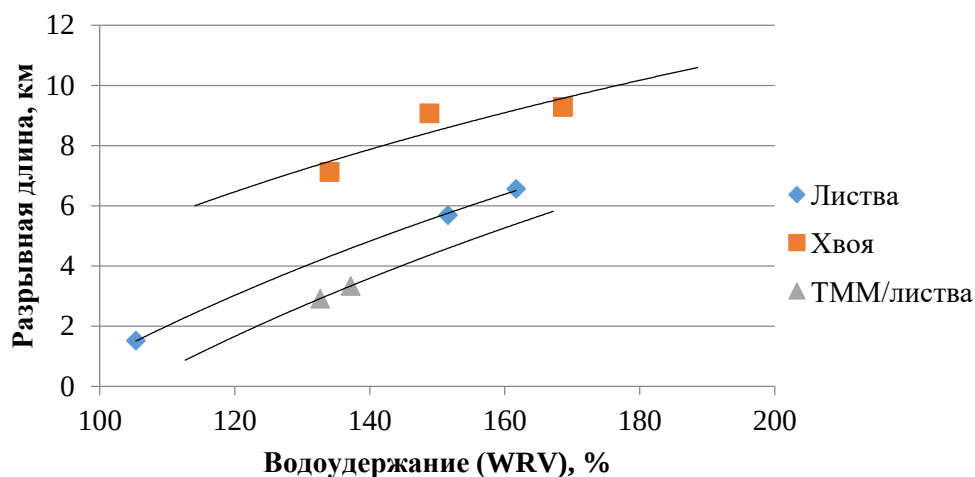


Рисунок 3 – Зависимость разрывной длины от водоудержания для разных видов ВПФ

График показывает практически линейную зависимость показателей, тем не менее логарифмическая описывает эту взаимосвязь более точно. После WRV выше 150 % скорость прироста прочности бумаги начинает снижаться, при этом для хвойной целлюлозы это происходит быстрее, чем для лиственной, а смесь ТММ с лиственной целлюлозой показывает аналогичную зависимость.

Данная зависимость наблюдается при увеличении на 20 % значения WRV ВПФ из хвойных пород древесины – прирост разрывной длины составил всего 2%. У лиственных же пород при увеличении водоудержания на 10 % прирост разрывной длины составил 15 %, а у смеси ТММ с лиственной целлюлозой после увеличения показателя WRV на 5 % значение разрывной длины увеличилось на 14 %.

Выводы:

1. Проведённое исследование показывает вне зависимости от композиции ВПФ близкую к линейной взаимосвязь водоудержания массы и прочностных свойств отливок до значения WRV порядка 150 %.
2. Выше этого значения зависимость приобретает, скорее, логарифмический вид. Однако требуются дальнейшие исследования для подтверждения.
3. Результаты предварительного исследования композиции ТММ / лиственная целлюлоза (90:10) показывают такой же характер зависимости разрывной длины от водоудержания, как и чистая лиственная целлюлоза.

Список литературы

1. Вторичная целлюлоза [Электронный ресурс]. URL: <https://boomtorg.ru/cellyu/vtorichnaya-cellyuloza.php> (дата обращения: 06.11.2021).
2. Дулькин Д. А. Развитие научных основ и совершенствование процессов технологии бумаги и картона из макулатуры: автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н./ Архангельский государственный технический университет, 2008. 18 с.

STUDYING THE INTERCONNECTION OF WATER RETENTION OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS AND STRENGTH PROPERTIES OF THE OBTAINED PRODUCT

O. V. Andreeva*, A. G. Kuznetsov

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: olyaandre2000@yandex.ru

Today, more and more recycled fibers and mechanical mass are used worldwide for the production of composite materials based on cellulose fibers. Both options are significantly inferior in strength to virgin fiber, but against the background of a global desire for sustainable forest management, reducing the environmental impact of the pulp and paper industry and reducing the carbon footprint, research related to improving the performance of mechanical pulp products, as well as recycled fibers, is becoming more relevant. In the course of the work, sulfate pulp of coniferous and hardwood species, as well as their mixture with thermomechanical mass, was studied. A linear dependence of the strength properties of castings on the water retention of the mass in the range of about 150 % is revealed. Above this value, the dependence becomes rather logarithmic.

Keywords: *cellulose, TMM, thermo-mechanical mass, water retention, strength properties, fibrous semi-finished products.*

References

1. *Secondary cellulose*. URL: <https://boomtorg.ru/cellyu/vtorichnaya-cellyuloza.php> (accessed 06.11.2021). (In Russian).
2. Dulkin D. A. *Development of scientific foundations and improvement of processes of paper and cardboard technology from waste paper*. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Arkhangelsk State Technical University, 2008, 18 p. (In Russian).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ОПИЛОК ЛИСТВЕННОЙ ВОДНО-ГЛИЦЕРИНОВОЙ СМЕСЬЮ НА ИХ СВОЙСТВА

П. М. Мухина*, О. А. Ерохина, А. Г. Кузнецов

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: khoran.apolinariya@mail.ru

В результате исследований, проведенных на кафедре ТЦКМ, было установлено, что арабиногалактан (АГ) в структуре древесины лиственницы находится в виде аква-комплекса АГ-вода с точкой эвтектики минус 65 °С. В связи с этим были проведены исследования по обработке опилок лиственницы другим аква-комплексом глицерин-вода (ВГС) с точкой эвтектики минус 38,9 °С, что представляет научный интерес.

Исследование влияния ВГС на свойства древесных опилок лиственницы проводили методом микроскопии. Экспериментально было установлено, что опилки без АГ отличаются по цвету и структуре поверхности. Опилки без АГ, вследствие термодеструкции при длительной водной и температурной обработке при выделении АГ, более темные и поверхность их более рыхлая, что существенно влияет на процесс присоединения ВГС, о чем свидетельствует увеличение светящейся области образцов без АГ по сравнению с исходными. Полученные данные представляют научный интерес для дальнейшего изучения.

Ключевые слова: водно-глицериновая смесь, глицерин, опилки лиственницы, арабиногалактан.

Известно широкое применение обработки опилок древесины водно-глицериновой смесью, глицерином, а также сополимерами глицерина для различных целей [1-3].

Целью данной работы является исследование влияния обработки водно-глицериновой смесью (ВГС) образцов опилок древесины лиственницы на их поверхностные свойства.

В данной работе в качестве образцов использовали опилки древесины лиственницы двух видов: с АГ, которые в дальнейшем будем называть исходными, и экстрагированные при $T = 66\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 21 часа [5], которые будем называть без содержания АГ.

В начале экспериментальной работы измеряли физико-механические свойства образцов опилок лиственницы: влажность и фракционный состав. В таблице 1 представлен их фракционный состав.

Таблица 1 – Фракционный состав

Опилки	Диаметр фракций			
	3 мм	1,6 мм	1 мм	Менее 1 мм
Исходные	-	2 %	33 %	65 %
Без АГ	1 %	4 %	51 %	44 %

Исследование фракционного состава показало, что исследуемые образцы опилок древесины лиственницы схожи по размеру.

В таблице 2 представлены результаты измерения влажности, образцов опилок лиственницы. Из таблицы 2 видно, что влажность образцов опилок до обработки ВГС практически одинакова.

Таблица 2 – Влажность образцов опилок лиственницы

Опилки	Влажность до обработки ВГС (W), %	Влажность после обработки ВГС (W), %
Исходные (с АГ)	8,6	20
Без АГ	9	17

На рисунках 1 и 2 представлены фото образцов опилок лиственницы с АГ и без АГ.

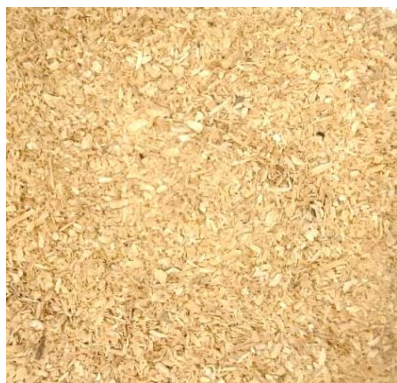


Рисунок 1 – образцы опилок лиственницы с АГ



Рисунок 2 – образцы опилок лиственницы без АГ

Из рисунков видно, что образцы опилок лиственницы без АГ более темные. Это, вероятно, объясняется термодеструкцией образцов опилок в результате экстракции при длительной водной и температурной обработке.

На рисунках 3 и 4 представлены фото поверхности образцов опилок лиственницы с АГ и без АГ до обработки ВГС. Из рисунков видно, что у образца опилок лиственницы без АГ наблюдается более рыхлая поверхность, что, вероятно, вызвано процессом экстракции при выделении АГ.

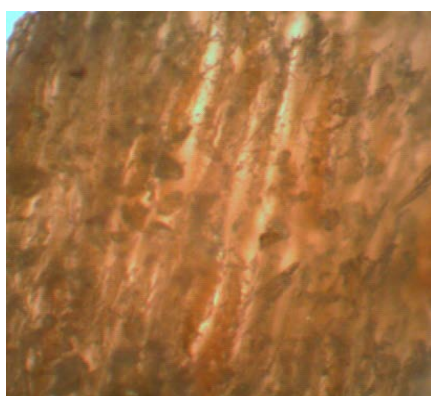


Рисунок 3 – образцы опилок лиственницы с АГ

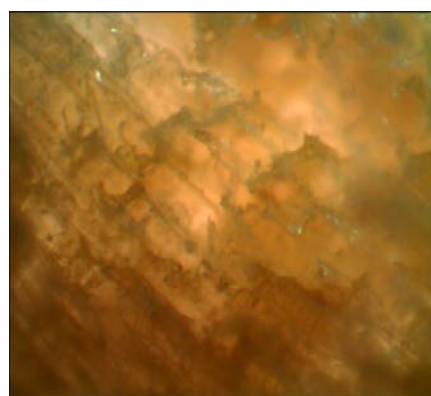


Рисунок 4 – образцы опилок лиственницы без АГ

Из литературы [4] известно, что при содержании воды 30 % и глицерина 70 % резко снижается вязкость ВГС (в десятки раз), что оказывает существенное влияние на процесс поглощения капиллярно-пористой структурой древесины молекул глицерина.

В связи с этим для обработки образцов опилок лиственницы использовали водно-глицериновую смесь (ВГС) с процентным содержанием глицерина 70 % и воды 30 %. Обработку образцов проводили на водяной бане при $T=83\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение двух и четырех часов. В колбы с водно-глицериновой смесью помещали навески образцов по 60 грамм при объемном соотношении опилок и ВГС 1:6, соответственно. Время эксперимента составляло 4 часа. Каждый час образцы опилок вынимали и сушили при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса.

Оценку влияния обработки ВГС на свойства образцов опилок лиственницы исходных с АГ и экстрагированных без АГ проводили методом сравнения микроскопии их поверхности и с помощью метода оценки вязкости отработанных растворов.

Визуальной разницы между опилками с содержанием АГ и без АГ после обработки водно-глицериновой смесью не обнаружено, однако, на ощупь опилки с АГ более жирные, чем без АГ.

Исследование поверхностных свойств образцов проводили на микроскопе МБИ-6 при увеличении в 100 раз.

На рисунках 5 и 6 представлены результаты микроскопии поверхности образцов опилок лиственницы с АГ и без АГ после их обработки ВГС.

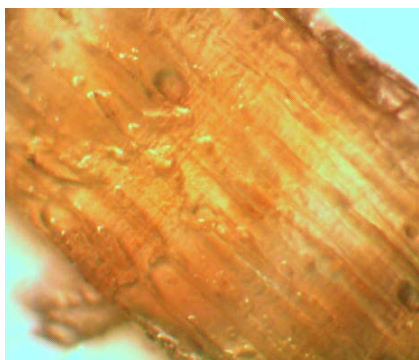


Рисунок 5 – образцы опилок лиственницы с АГ после обработки ВГС в течение 4 часов

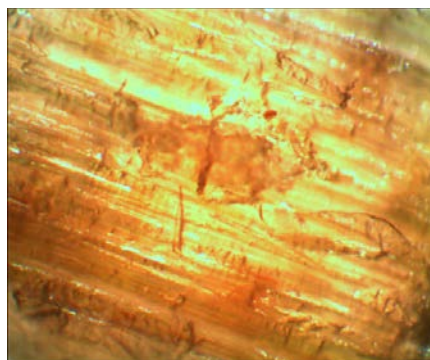


Рисунок 6 – образцы опилок лиственницы без АГ после обработки ВГС в течение 4 часов

Из рисунков видно, что ВГС по-разному оседает на поверхности образцов опилок лиственницы с АГ и без АГ. На образцах опилок лиственницы после выделения АГ наблюдается более светящаяся поверхность. Вероятно, это связано с тем, что опилки лиственницы без АГ, имеющие более рыхлую поверхность, присоединяют большее количество ВГС.

Вязкость отработанных растворов определяли на вискозиметре Брукфильда LVDV-II+PRO. На рисунке 7 представлены результаты измерения вязкости отработанных растворов после обработки образцов опилок лиственницы с АГ и без АГ.

Вязкость отработанных растворов при $T=23^{\circ}\text{C}$

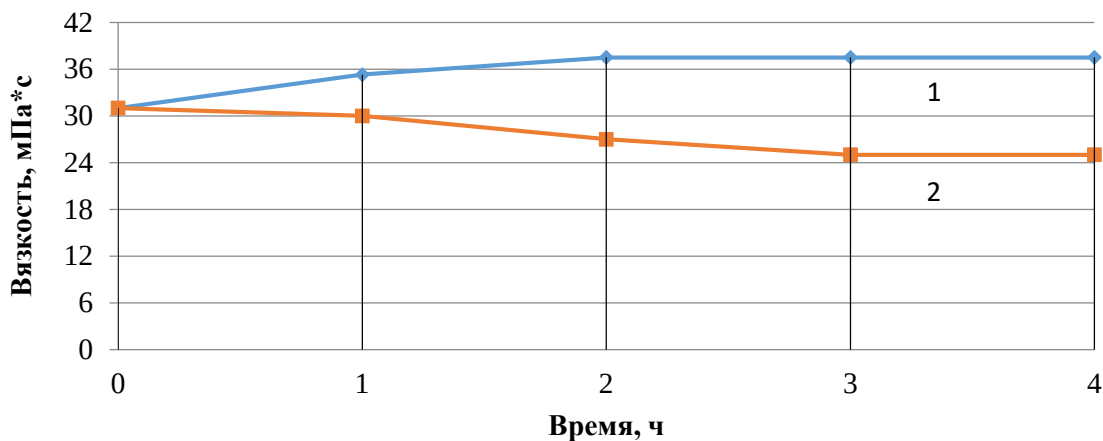


Рисунок 7 – Зависимость вязкости отработанных растворов от времени обработки при $T=23^{\circ}\text{C}$:
1 – образцы опилок лиственницы с АГ; 2 – образцы опилок лиственницы без АГ

Вязкость отработанных растворов после обработки образцов опилок лиственницы с АГ возрастает от времени (кривая 1), что, вероятно, связано с выделением экстрактивных веществ и АГ в процессе длительной водной и температурной обработки.

Вязкость отработанных растворов после обработки образцов опилок лиственницы без АГ снижается от времени (кривая 2), что, вероятно, связано с тем, что глицерин в большей степени остается в их порах, имеющих более рыхлую структуру поверхности.

Экспериментально установлено, что оптимальным временем для обработки образцов опилок лиственницы является 3 часа.

Выводы:

1. В результате исследования методом микроскопии установлено, что образцы опилок лиственницы без АГ имеют более рыхлую структуру, что влияет на взаимодействие поверхности опилок с ВГС.
2. После обработки образцов опилок лиственницы ВГС на их поверхности наблюдается «свечение», что позволяет предположить, что глицерин остается на поверхности опилок в виде пленки.
3. Полученные в результате измерений значения вязкости отработанных растворов показали, что процесс сорбции ВГС на образцах опилок лиственницы с АГ и без АГ происходит по-разному, что требует дальнейшего изучения.
4. Полученные результаты представляют научный интерес и являются предметом дальнейших исследований структуры образцов опилок лиственницы и способа их взаимодействия с ВГС.

Список литературы

1. Снычёва Е. В. Создание наполненных полимерных композиций на основе совместимости компонентов. Воронеж, 2006. 20 с.
2. Халимова Л. Х., Шакиров А. Н., Скорняков А. Н. Исследование влияния предобработки древесных опилок глицерином на их ферментативный гидролиз // Башкирский химический журнал. 2012. Том 19, № 4. С. 10-12.
3. Султанова Л. М., Зорин В. В., Петухова Н. И. Исследование влияния предобработки субстрата глицерином на гидролиз и ферментацию лигноцеллюлозных отходов с помощью *Streptomyces* sp. K-7 // Башкирский химический журнал. 2012. Том 19, № 3. С. 127-129.
4. Глазков С. С. Использование глицерина в качестве модификатора и тестирующего агента для древесины // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии. 2008. № 1. С. 12-20.
5. Хидоятов А. А., Кузнецов А. Г., Махотина Л. Г. Исследование процесса извлечения химических компонентов древесины лиственницы на экспериментальном экстракторе для использования их в композиции биоразлагаемой упаковки // Материалы II Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 23 ноября 2020 года) / Отв. ред. О.В. Фёдорова; ред. А.Г. Кузнецов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. Т. I. С. 35-41.

STUDY OF THE EFFECT OF LARCH SAWDUST TREATMENT WITH A WATER-GLYCERIN MIXTURE ON THEIR PROPERTIES

P. M. Mukhina*, O. A. Erohina, A. G. Kuznetsov

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia
E-mail: khoran.apolinariya@mail.ru

As a result of the studies carried out at the Pulp and Composites Technology Department, it was found that arabinogalactan (AG) in the structure of larch wood is in the form of an aqua-complex AG-water with an eutectic point of minus 65 °C, in this regard, studies were carried out on the treatment of larch sawdust by other glycerin-water aquatic complex (GWC) with an eutectic point of minus 38.9 °C, which is of scientific interest.

The purpose of this work is to study the surface properties of larch wood sawdust samples by microscopy.

Water-glycerin mixture in a ratio of 30 % water and 70 % glycerin, with a volume ratio of sawdust to GWC of 1:6, respectively, was used to process samples of two types of larch sawdust. Samples were treated in a water bath at T = 83 °C for two and four hours.

The study of the effect of GWC on the properties of larch sawdust was carried out by microscopy. It was found experimentally that sawdust without AG differs in color and surface structure. Sawdust without AG, due to thermal destruction during prolonged water and temperature treatment during pre-extraction of AG, is darker and their surface is more friable, which significantly affects the process of GWC attachment, as evidenced by an increase in the luminous region of the samples without AG in comparison with the initial ones. The data obtained are of scientific interest for further study.

Keywords: water-glycerin mixture, glycerin, larch sawdust, arabinogalactan.

References

1. Snycheva E. V. *Creation of filled polymer compositions based on the compatibility of components*. Voronezh, 2006, 20 p. (In Russian).
2. Halimova L. Kh., Shakirov A. N., Skornyakov A. N. Study of the influence of pre-treatment of sawdust with glycerin on their enzymatic hydrolysis. *Bashkir Chemical Journal*, 2012, vol 19, no. 4, pp. 10-12. (In Russian).
3. Sultanova L. M., Zorin V. V., Petukhova N. I. Study of the effect of substrate pretreatment with glycerin on hydrolysis and fermentation of lignocellulosic waste using *Streptomyces* K-7. *Bashkir Chemical Journal*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 127-129. (In Russian).
4. Glazkov S. S. Using glycerin as a modifier and testing agent for wood. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physicochemical Problems of Building Materials Science and High Technologies*, 2008, no. 1, pp. 12-20. (In Russian).
5. Khidoyatov A. A., Kuznetsov A. G., Makhotina L. G. Investigation of the process of extracting chemical components of larch wood on an experimental extractor for their use in the composition of biodegradable packaging. *Proceedings of the 2nd International State-of-the-Art Conference of Young Researchers and Pulp & Paper Industry Specialists «Modern Pulp and Paper Industry. Current Challenges and Promising Solutions»* (St. Petersburg, November 23, 2020), SPb., 2020, vol. 1, p. 35-41. (In Russian).

УДК 676.014.34: 547.914.5

ГРНТИ 61.55.99; 61.57.31

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА МАЛЕОПИМАРОВОЙ КИСЛОТЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ БУМАГИ

Я. В. Боркина*, В. Л. Флейшер

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь, Минск

E-mail: yanaborkina@mail.ru

В работе рассмотрено влияние содержания малеопимаровой кислоты в составе полиамидной смолы на гидрофобизирующее и упрочняющее действия, оказываемые ею на бумагу. Установлено, что образец полиамидной смолы с содержанием малеопимаровой кислоты 8,41 мас.% проявляет гидрофобизирующее и упрочняющее действие в большей степени, чем образцы с содержанием малеопимаровой кислоты 4,66 и 17,31 мас.%. Введение полиамидной смолы в бумажные массы в количестве 0,136 – 0,25 % от а.с.в. улучшает прочностные (на 35,50 – 68,50 %) и гидрофобные (на 10,77 – 17,25 %) свойства образцов бумаги по сравнению с образцом, изготовленным без введения химических вспомогательных веществ. Дальнейшее увеличение количества вводимой полиамидной смолы приводит к ухудшению прочностных и гидрофобных свойств образцов бумаги.

Ключевые слова: малеопимаровая кислота, полиамидная смола, бумага, гидрофобность, прочность.

Известно, что гидрофобизирующие вещества на основе модифицированной канифоли, используемые при изготовлении бумаги и картона, обладают высокими проклеивающими свойствами и пониженными расходами по сравнению с веществами на основе немодифицированной канифоли. Среди проклеивающих материалов на канифольной основе особый интерес представляют «усиленные» клея, которые получают добавлением к канифоли малеопимаровой кислоты либо модифицированием канифоли непредельными соединениями, в частности, конденсацией с малеиновым ангидридом. Улучшенные проклеивающие свойства таких материалов объясняются пониженной склонностью малеинизированной канифоли к гидролизу и наличием в структуре малеопимаровой кислоты трех карбоксильных групп. Согласно вышесказанному, увеличение содержания малеопимаровой кислоты в составе полиамидной смолы должно усиливать ее гидрофобизирующие свойства.

Цель настоящих исследований – изучить влияние содержания малеопимаровой кислоты в составе полиамидной смолы на гидрофобные и прочностные свойства бумаги.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- получены канифольно-малеиновые аддукты с различным содержанием малеопимаровой кислоты конденсацией талловой канифоли с малеиновым ангидридом;
- синтезированы образцы полиамидной смолы с содержанием малеопимаровой кислоты 4,66; 8,41 и 17,31 мас.% и определены их основные физико-химические свойства (растворимость в воде, содержание сухих веществ, кислотное число);
- с использованием синтезированных образцов полиамидной смолы изготовлены образцы бумаги и определены их гидрофобные и прочностные свойства.

Полиамидная смола представляет собой частично нейтрализованный гидроксидом натрия продукт модифицирования полиаминоамидов (на основе диэтилентриамин и адипиновой кислоты) малеинизированной канифолью, предназначенный для упрочнения и гидрофобизации бумаги (элементарных слоев картона).

Модифицирование талловой канифоли осуществляли малеиновым ангидридом в количестве 10; 20 и 40 мол.% при температуре 180 – 190 °С в течение 3 ч. Известно, что образующийся при взаимодействии канифоли и малеинового ангидрида продукт, кроме малеопимаровой кислоты, содержит в своем составе смоляные кислоты, не реагирующие с малеиновым ангидридом, и непрореагировавший (свободный) малеиновый ангидрид (табл. 1). Содержание малеопимаровой кислоты в синтезированных канифольно-малеиновых аддуктах определяли согласно методике, описанной в [1], а количество непрореагировавшего малеинового ангидрида – согласно методике [2].

Таблица 1 – Состав синтезированных канифольно-малеиновых аддуктов

Номер образца	Количество малеинового ангидрида для модифицирования канифоли		Состав канифольно-малеиновых аддуктов, мас.%			
			малеопимаровая кислота		смоляные кислоты, их производные, нейтральные вещества	свободный малеиновый ангидрид
	мол.%	мас.%	рассчитано	найденно		
1	10,00	3,23	12,79	8,55	91,33	0,12
2	20,00	6,47	24,68	16,46	83,28	0,26
3	40,00	12,64	46,55	31,12	68,03	0,85

Установлено, что с увеличением количества введенного малеинового ангидрида степень его конверсии уменьшается, что объясняется составом смоляных кислот талловой канифоли, способных вступать с ним во взаимодействие, при этом часть малеинового ангидрида расходуется на протекание побочных реакций, о чем свидетельствует фактический выход малеопимаровой кислоты.

Получение образцов полиамидной смолы с использованием синтезированных канифольно-малеиновых аддуктов осуществляли по разработанной ранее методике [3].

Мольное соотношение адипиновая кислота : диэтилентриамин : малеинизированная канифоль : гидроксид натрия составляло 1,00 : 1,00 : 1,00 : 0,35. Полученные образцы полиамидной смолы отличались содержанием малеопимаровой кислоты и физико-химическими свойствами (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические свойства образцов полиамидной смолы

Номер образца	Содержание малеопимаровой кислоты, мас. %	Содержание сухих веществ, мас. %	Кислотное число, мг КОН/г	Растворимость в воде при 20 °С
1	4,66	56,58	39,98	Полная
2	8,41	52,55	23,34	Полная
3	17,31	71,27	49,94	Полная

Для оценки гидрофобизирующего и упрочняющего действия полиамидной смолы, модифицированной малеинизированной канифолью, в лабораторных условиях изготовлены образцы бумаги массоемкостью 80 г/м². В качестве волокнистого полуфабриката использовали целлюлозу сульфатную беленую из лиственных пород древесины (ГОСТ 28172-79). Степень помола волокнистой суспензии – 40 ± 2 °ШР. Расход полиамидной смолы в виде 0,1 % водных растворов изменяли от 0,136 до 1,0 % от а.с.в. Коагулянт (водный раствор полиоксихлорида алюминия концентрацией 1,76 г/л (в ед. Al₂O₃)) добавляли в бумажную массу после введения полиамидной смолы до достижения значений pH 6,5 – 7,2.

Гидрофобные свойства полученных образцов бумаги оценивали по поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании согласно ГОСТ 12605-97 при продолжительности испытания – 30 с (рис. 1, а), а прочностные – по разрушающему усилию в сухом состоянии согласно ГОСТ 13525.1-79 (рис. 1, б).

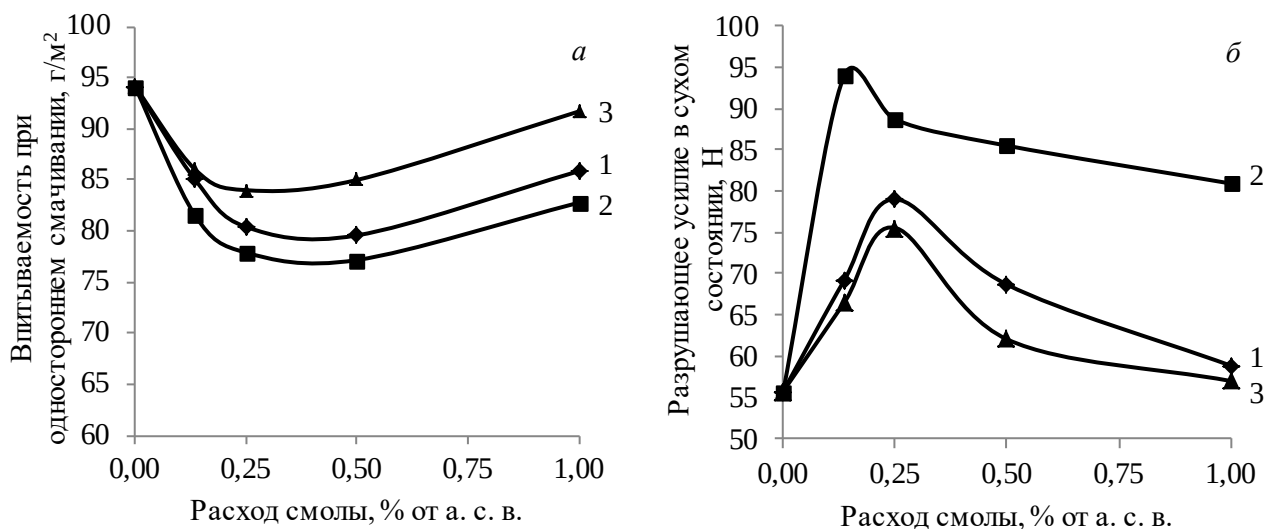


Рисунок 1 – Впитываемость при одностороннем смачивании (а) и разрушающее усилие в сухом состоянии (б) образцов бумаги в зависимости от расхода вводимой полиамидной смолы с различным содержанием малеопимаровой кислоты (мас. %): 1 – 4,66; 2 – 8,41; 3 – 17,31

Установлено, что введение полиамидной смолы в бумажные массы улучшает прочность образцов бумаги на 35,50 – 68,50 %, а гидрофобность – на 10,77 – 17,25 % по сравнению с образцом без введения химических вспомогательных веществ, при этом максимальный эффект наблюдается при расходах полиамидных смол 0,136 – 0,25 % от а.с.в. При повышении расхода полиамидной смолы гидрофобные и прочностные свойства образцов бумаги снижаются, что, вероятно, связано с увеличением расстояния между волокнами целлюлозы в структуре бумаги, обусловленного укрупнением частиц клеевого осадка на целлюлозных волокнах.

Отмечено, что образец полиамидной смолы с содержанием малеопимаровой кислоты 8,41 мас.% оказывает упрочняющее и гидрофобизирующее действие на бумагу в большей степени, чем образцы, содержащие в составе 4,66 и 17,31 мас.%. Ухудшение гидрофобизирующих свойств образца полиамидной смолы с содержанием малеопимаровой кислоты 17,31 мас.% может быть связано с изменением количественного и качественного состава смоляных кислот в составе канифоли в результате модифицирования ее малеиновым ангидридом.

Использование полиамидной смолы, модифицированной малеинизированной канифолью, с содержанием малеопимаровой кислоты 8,41 мас.% в количестве 0,136 % от а.с.в. при изготовлении бумаги позволяет снизить ее впитываемость на 13,43 % и повысить разрушающее усилие в сухом состоянии на 68,50 % (по сравнению с образцом, изготовленным без использования химических вспомогательных веществ).

Таким образом, установлено, что отсутствует прямая зависимость между количеством малеопимаровой кислоты в составе полиамидной смолы и ее гидрофобизирующим и упрочняющим действием. При содержании малеопимаровой кислоты в полиамидной смоле 8,41 мас.% улучшаются гидрофобные и прочностные свойства бумаги. При повышении содержания малеопимаровой кислоты до 17,31 мас.% наблюдается обратная зависимость.

Список литературы

1. Гордон Л. В., Чашин А. М., Радбиль Б. А., Масленников А. С., Богданова Е. В. Химико-технический контроль лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1978. 352 с.
2. Байбаева С. Т., Миркинд Л. А., Крылова Л. П., Навязская Э. А., Салова А. С. Методы анализа лакокрасочных материалов. М.: Химия, 1974. 472 с.
3. Флейшер В. Л., Боркина Я. В. Канифольная композиция с гидрофобизирующим и упрочняющим действием на бумагу // Труды БГТУ. Серия 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 1 (229). С. 131 – 137.

THE EFFECT OF THE AMOUNT OF MALEOPIMARIC ACID ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF POLYAMIDE RESIN FOR PAPER

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

Belarusian State Technological University, Republic of Belarus, Minsk

E-mail: yanaborkina@mail.ru

The paper considers the effect of the amount of maleopimaric acid in the composition of polyamide resin on the hydrophobic and strengthening effects exerting on paper. It was found that a sample of polyamide resin with a maleopimaric acid content of 8.41 wt.% exhibits a hydrophobic and strengthening effect to a greater extent than samples with a maleopimaric acid content of 4.66 and 17.31 wt.%. The injection of polyamide resins into paper pulps in an amount of 0.136 – 0.25 % a. d. f. improves the strength (by 35.50 – 68.50 %) and hydrophobic (by 10.77 – 17.25 %) properties of paper samples compared to a sample made without the introduction of chemical excipients. A further increase of the amount of polyamide resin introduced in leads to a degasifying of the strength and hydrophobic properties of paper samples.

Keywords: *maleopimaric acid, polyamide resin, paper, hydrophobicity, strength.*

References

1. Gordon L. V., Chashchin A. M., Radbil' B. A., Maslennikov A. S., Bogdanova E. V. *Khimiko-tekhnicheskii kontrol' lesokhimicheskikh proizvodstv* [Chemical and technical control of wood chemical production]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1978, 352 p. (In Russian).
2. Baybaeva S. T., Mirkind L. A., Krylova L. P., Navyazhskaya E. A., Salova A. S. *Metody analiza lakokrasochnykh materialov* [Methods of analysis of paint and varnish materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1974, 472 p. (In Russian).

3. Fleisher V. L., Borkina Ya. V. Kanifol'naya kompoziciya s gidrofobiziruyushchim i uprochnyayushchim dejstviem na bumagu [Rosin composition with a hydrophobic and strengthening effect on paper]. *Trudy BGTU. Seriya 2. Himicheskie tehnologii, biotekhnologii, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. Series 2. Chemical technologies, biotechnology, geoeology], 2020, no. 1 (229), pp. 131-137. (In Russian).

УДК 661.174
ГРНТИ 31.17.15

ОГНЕБИОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ДРЕВЕСИНЫ

А. П. Васильева*, И. И. Осовская

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: anastasia.vasilieva1998@yandex.ru

Огнезащитные средства для покрытия древесины, предложенные на рынке, не всегда выполняют повышенные потребности покупателя, что заставляет создавать новые средства защиты для обеспечения пожарной безопасности. Исследованы новейшие огнезащитные и биозащитные средства для древесины сосны в Ленинградской области. Проведена сравнительная характеристика эффективности новых различных антипиренов для пропитывания древесины методом сжигания. Определены группы огнезащитной эффективности исследуемых средств. Исследована возможность их использования для повышения стойкости к гниению строительных конструкций.

Ключевые слова: гниение древесины, огнебиозащитные средства, антипирены, пиролиз, воспламенение

Основу леса Ленинградской области составляют хвойные леса, среди которых преобладает сосна, занимающая около 40 % покрытой лесом площади. Больше всего богат хвойными лесами Карельский перешеек. Смолоносная система сосны служит древесному растению защитой, позволяющей переносить экстремальные условия обитания, и в том числе обеспечивает защиту от повреждения дерева насекомыми и другими живыми организмами. Сегодня пожароопасность и повышению стойкости к гниению является одной из главных проблем защиты древесины.

Можно отметить малое количество исследовательских работ по улучшению огнезащитных свойств древесины и повышению биостойкости в строительстве и эксплуатации деревянных зданий и сооружений. По определению горение древесной породы – это самоускоряющаяся экзотермическая химическая реакция с кислородом, которая способна поддерживать сама себя и распространяться в пространстве. Как и для каждой химической реакции, для процесса горения важны конкретные условия, без которых оно не может начаться – окислитель (кислород) и внешний источник тепла определенной мощности. При этом при разогреве древесины важна не только мощность источника тепла, но и длительность воздействия. Переход от медленного процесса разложения древесного материала к режиму горения соответствует условию, при котором скорость выделения тепла в результате химической реакции становится больше скорости тепловых потерь из зоны реакции. Процесс воспламенения может быть спонтанным или инициирован дополнительным небольшим источником зажигания, находящемся в пограничном слое. Таким источником «зажигания», возможно, будет пламя газовой горелки, электрическая искра или раскаленная проволока. После воспламенения тепловой поток, направленный к поверхности древесины, является комбинацией обратного и внешнего тепловых потоков от возникшего пламени.

Подавляющее большинство пожаров случается от малокалорийных источников зажигания. В этих условиях огнезащищенные материалы успешно предотвращают возгорание или локализуют возникший пожар. Это обстоятельство определило идею уменьшения

пожарной опасности сооружений, состоящую в том, чтобы использованием огнезащитных материалов исключить возможность распространения пламени [1-7].

Для повышения огнестойкости древесины широко применяют ее обработку специальными огнезащитными составами – антипиренами. В этом случае огнезащита древесных материалов создается введением в древесину нужного количества химических веществ, способных при заданной концентрации препятствовать ее горению без источника пламени. Наибольшее значение имеют методы защиты, основанные на применении химических средств – антисептиков, которые являются токсичными для поражающих древесину биологических агентов. Ни чуть не менее важное значение имеют методы защиты древесины, основанные на применении следующих четырех принципов: повышения или понижения температуры; повышения или понижения влажности древесины. В основу принципов заложено учение об условиях жизнедеятельности биологических агентов разрушения древесины, целенаправленное изменение которых может затормозить или вовсе исключить появление дефектов древесины даже без использования антисептиков. Методы защиты, основанные на этих четырех принципах, широко используются в деревопереработке как методы сезонной защиты лесоматериалов при складировании (пропаривание, замораживание, затопление или дождевание, сушка). Широко применяется конструкционная профилактика – целый комплекс мер, используемых при создании конструкции здания, его строительстве, обеспечивающие долгий срок службы без биологического разрушения. Попытки снижения горючести древесины предпринимались многими исследователями [8-10]. Наиболее простой и потому наиболее часто применяемый на практике способ защиты – это поверхностная (капиллярная) пропитка древесины огнезащитными средствами. Созданы огнезащитные обмазки и штукатурки, огнезащитные лаки и краски, огнезащитные пропитки [11]. На сегодняшний день на стадии поиска проводятся исследования по созданию новых ОЗС; обнаружено несколько патентов, в которых разработаны препараты, защищающие древесину от гниения вызванным конкретными штаммами бактерий [12].

Целью данного исследования явилось испытание огнезащитных препаратов различных марок, недавно появившихся на рынке, сочетающих, как правило, комплексное огне- и биозащитное действие: «ОгнеPROFIT», «Огнебиостоп», «Огнебиозащита», ХМББ, ХМХА. Все они имеют в своем составе антипирены, антимикробные добавки и специальные добавки, отличающиеся концентрацией указанных веществ в композициях. Каждый из этих препаратов имеет свои недостатки и достоинства. В рецептурах огнезащитных пропиточных составов используются производные фосфорной и фосфоновых кислот, борная кислота, тетрабораты аммония и натрия, аммонийные соли серной и соляной кислот, хлориды щелочноземельных металлов и металлов переменной валентности – далеко не полный перечень неорганических веществ, применяемых в виде компонентов пропиточных огнезащитных составов для древесины [13]. Механизм огнезащитного действия солевых препаратов заключается во влиянии на кинетические процессы термоокислительного разложения, воспламенения и горения. В частности, фосфорсодержащие антипирены, которые наиболее широко используются для огнезащиты, усиливают процесс карбонизации (обугливания), что приводит к уменьшению выхода горючих продуктов разложения.

Испытания проводили с ОЗС: «ОгнеPROFIT» (состав: вода, фосфат аммония, четвертичные аммониевые соединения, силикатное полимерное вяжущее); «Огнебиостоп» (состав: биоцид, фосфат цинка, вода); «Огнебиозащита» (состав: водный раствор борной кислоты и калия перманганата); ХМББ (состав: комплекс антипиренов – натрий двухромовокислый, сульфат меди, бура, борная кислота, вода, стабилизатор); ХМХА (состав: хромпик, медный купорос, хлористый аммоний). Для определения огнезащитной эффективности применяли следующие средства измерения, испытательное оборудование и материалы: установка «Керамическая труба»; газ бытовой; фольга алюминиевая толщиной от 0,014 до 0,018 мм марки ФГ; вытяжной шкаф с принудительной вентиляцией; емкость для пропитки образцов древесины; установка (устройство) для нанесения огнезащитного состава методом распыления; цинк азотнокислый 6-водный ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Объектом исследования служили образцы древесины сосны Ленинградской области влажностью 8 – 15 %, и плотностью 400 – 550 г/м³ в виде прямоугольных брусков с поперечным сечением 30х60 мм и длиной вдоль волокон 150 мм. Перед нанесением ОЗС образцы кондиционировали в эксикаторе с насыщенным раствором цинка азотнокислого 6-водного при температуре 23 ± 5 °С. На кондиционированные образцы древесины наносили слой испытуемого ОЗС, сушили до воздушно-сухого состояния. Общий расход ОЗС определяют суммированием расходов после нанесения каждого слоя и относят к площади поверхности. Перед испытанием обработанные и высушенные образцы древесины кондиционируют в тех же условиях.

Испытания проводят не менее чем на 10 образцах в вытяжном шкафу. Внутренние стенки керамического короба выкладывают алюминиевой фольгой блестящей стороной внутрь. Керамический короб переводят в горизонтальное положение и зажигают газовую горелку, устанавливают высоту пламени от 15 до 25 см. После этого керамический короб возвращают в рабочее вертикальное положение, закрывают крышку (зонт) над коробом и регулируют расход газа так, чтобы температура, регистрируемая термоэлектрическим преобразователем, в течение 5 минут была равна 200 ± 5 °С. Крышку отводят, испытываемый образец, закрепленный в держателе, опускают в короб, одновременно включают секундомер и возвращают зонт в рабочее положение.

Образец держат в пламени горелки в течение 2 минут. Расход газа в процессе испытания должен быть постоянным. Через 2 минуты подачу газа в горелку прекращают, образец оставляют в приборе для охлаждения. После охлаждения (температура отходящих газов в верхнем патрубке зонта равна комнатной) оставшуюся часть образца извлекают из керамического короба и взвешивают.

Потерю массы испытанного образца P_i , %, вычисляют по формуле:

$$P_i = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot 100}{m_{1i}} \% \text{ (масс.)},$$

m_{1i} - масса образца до испытания, г;

m_{2i} - масса образца после испытания, г;

i - номер образца.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение 10 определений, округленное до целого числа процентов. По результатам испытания устанавливают группу огнезащитной эффективности испытанного ОЗС при данном способе его применения. При потере массы не более 9 % для ОЗС устанавливают I группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 9 %, но не более 25 % для ОЗС устанавливают II группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 25 % считают, что данный состав не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным [14].

Испытания показали, что после сжигания образца с покрытием «ОгнеPROFIT» изменение массы составило 10,1 г; после сжигания образца с покрытием «Огнебиостоп» составило 24,5 г; после сжигания образца с покрытием «Огнебиозащита» составило 24,5 г; после сжигания образца с покрытием «ХМББ» составило 41,0 г; после сжигания образца с покрытием «ХМХА-1110» составило 52,8 г при одинаковом расходе огнезащитного средства 600 г/м². Представлены экспериментальные результаты испытуемых огнезащитных средств на приборе «Керамическая труба» (табл.). Дана классификация по группам огнезащитной эффективности.

Как видно из сводной таблицы, препараты «ОгнеPROFIT», «Огнебиостоп» и «Огнебиозащита» подтвердили свою эффективность в ходе испытаний и могут быть рекомендованы для обеспечения защиты от возгорания, распространения пламени и горения древесины и материалов на ее основе. Эти огнезащитные средства могут быть использованы как внутри, так и снаружи помещений в условиях конденсационного и гигроскопического увлажнения.

Таблица – Группа огнезащитной эффективности исследуемых огнезащитных средств

Название антипирена	Расход огнезащитного покрытия, г/м ²	Средняя арифметическая потеря массы, %	Группа огнезащитной эффективности
«ОгнеPROFIT»	600	7,0	I
«Огнебиостоп»	600	16,9	II
«Огнебиозащита»	600	17,3	II
ХМББ	600	28,9	Нет
ХМХА-1110	600	35,5	Нет

В этих условиях «ОгнеPROFIT» обеспечивает I группу огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292-2009. Средства «Огнебиостоп» и «Огнебиозащита» обеспечивают II группу огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292-2009. Потеря массы образцов для средств ХМББ и ХМХА-1110 превысила 25 %, вследствие этого данные ОЗС не могут быть эффективными согласно ГОСТ Р 53292-2009. Первую группу огнезащитного средства «ОгнеPROFIT» обеспечивает наличие в составе антисептика – четвертичного аммониевого соединения, специальной добавки – силикатного вяжущего полимера. Удовлетворительные свойства «Огнебиостоп» и «Огнебиозащита» обеспечивает комплекс различных антипиренов. Можно отметить, что преимущество «Огнебиостопа» в том, что в его составе содержится биоцид для борьбы с вредными микроорганизмами. Неудовлетворительные результаты ХМББ связаны с отсутствием в препарате антисептика, а недостаточная эффективность препарата ХМХА-1110 – с наличием слабо эффективных антипиренов. Перспективы дальнейших исследований мы видим в изучении влияния на ОЗС различных пленкообразующих полимеров в композиции покрытий.

Выводы:

1. Проведена сравнительная характеристика эффективности различных антипиренов для комплексной защиты от возгорания, распространения пламени и горения материалов из древесины.
2. Определены группы огнезащитной эффективности исследуемых составов.
3. «ОгнеPROFIT», «Огнебиостоп» и «Огнебиозащита» соответствуют ГОСТу Р 53292-2009, могут быть рекомендованы для эффективного использования в качестве средств огнезащиты для строительных конструкций.
4. Показано преимущество использования «Огнебиостопа» для борьбы с вредными микроорганизмами.

Авторы выражают благодарность сотруднику ООО «НПК» РосХимПром» Шевцову Сергею Александровичу за предоставление возможности работы на приборе «Керамическая труба».

Список литературы

1. Леонович А. А. Огнезащита древесины и древесных материалов: учеб. пособие. СПб.: ЛТА, 1994. 148 с.
2. Расев А. И., Косарин А. А., Красухина Л. П. Технология и оборудование защитной обработки древесины: учебник для вузов. М.: ГОУВПО МГУЛ, 2010. 171 с.
3. Ломакин А. Д. Защита древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-ть, 1990. 253 с.
4. Гусев А. В., Пазникова С. Н., Кожевникова Н. С. Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15, № 3. С. 30-36.
5. Тычино И. А. Огнезащита и биозащита строительной древесины посредством капиллярной пропитки. М.: ООО «Пожнаука», 2004. 107 с.

6. Петрова Е. А. Снижение горючести древесины // Строительные материалы. 2011. С. 59-61.
7. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 5. С. 23-31.
8. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А. Огнебиозащитный состав для древесины с эффективными дымогасящими компонентами // Вестник МГСУ. 2015. Т. 10. С. 106-115.
9. Enczel D., Lubloy E. Fire protection of wood with intumescent coatings and impregnation // Materials Science. 2012. vol. 64. pp. 68-70.
10. Анохин Е. А., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 2. С. 22-36.
11. Кислицын А. Н., Родионова З. М., Савиных В. И. Исследование влияния химических реагентов на пиролиз древесины // Переработка продуктов пиролиза древесины. 1976. Вып. 25. С. 4-15.
12. Патент РФ № 2010106772/05. Средство для огне- и биозащиты древесины и материалов на ее основе / Ю. С. Мирошниченко; патентообладатель Закрытое Акционерное Общество "ФК". Заявлено 24.02.2010; опубл. 27.08.2011, Бюл. № 24.
13. Покровская Е. Н. Механизм огнезащитного действия фосфоросодержащих соединений применительно к древесно-целлюлозным материалам // Химия древесины. 1991. № 4. С. 91-94.
14. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний.

FIRE-PROTECTIVE AGENTS FOR COVERING WOOD

A. P. Vasileva*, I. I. Osovskaya

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia
E-mail: anastasia.vasilieva1998@yandex.ru

Flame retardants for covering wood offered on the market do not always meet the increased needs of the buyer, which makes it necessary to create new means of protection to ensure fire safety. The latest flame-retardant and bioprotective agents for pine wood in the Leningrad region have been investigated. A comparative characteristic of the effectiveness of various new flame retardants for impregnating wood by burning is carried out. The groups of fire-retardant effectiveness of the studied means are determined. The possibility of their use to increase the resistance to rotting of building structures is investigated.

Keywords: wood decay, fire retardant agents, fire retardants, pyrolysis, ignition

References

1. Leonovich A. A. *Fire protection of wood and wood materials: textbook*. SPb, LTA, 1994, 148 p. (In Russian).
2. Rasev A. I., Kosarin A. A., Krasukhina L. P. *Technology and equipment for protective wood processing: a textbook for universities*. Moscow, MGUL, 2010, 171 p. (In Russian).
3. Lomakin A. D. *Protection of wood and wood materials*. Moscow, Lesn. prom-th, 1990, 253 p. (In Russian).
4. Gusev A. V., Paznikova S. N., Kozhevnikova N. S. Increasing the fire resistance of wooden building structures. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2006, vol. 15, no. 3, pp. 30-36. (In Russian).
5. Tychino I. A. *Fire protection and biosecurity of building wood by means of capillary impregnation*. Moscow, Pozhnauka LLC, 2004, 107 p. (In Russian).
6. Petrova E. A. Reducing the flammability of wood. *Building materials*, 2011, pp. 59-61. (In Russian).

7. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Efficiency and mechanism of action of two fire protection systems for wood. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 23-31. (In Russian).
8. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A. Fire-retardant composition for wood with effective smoke-extinguishing components. *Vestnik MGSU*, 2015, vol. 10, pp. 106-115. (In Russian).
9. Enczel D., Lubloy E. Fire protection of wood with intumescent coatings and impregnation. *Materials Science*, 2012, vol. 64, pp. 68-70. (In Russian).
10. Anokhin E. A., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B. The use of fire retardant impregnating compositions to reduce the fire hazard of wooden structures with different service life. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 22-36. (In Russian).
11. Kislitsyn A. N., Rodionova Z. M., Savinykh V. I. Study of the effect of chemical reagents on wood pyrolysis. *Processing of wood pyrolysis products*, 1976, no. 25, pp. 4-15. (In Russian).
12. Miroshnichenko Yu. S. *A means for fire and biosecurity of wood and materials based on it*. Patent RF no. 2010106772/05, 2011. (In Russian).
13. Pokrovskaya E. N. The mechanism of the fire-retardant action of phosphorus-containing compounds as applied to wood-cellulose materials. *Wood Chemistry*, 1991, no. 4, pp. 91-94. (In Russian).
14. GOST R 53292-2009. *Fire retardants and substances for wood and wood-based materials. General requirements. Test methods*. 2009. (In Russian).

УДК 504.05
ГРНТИ 87.26.11

СОХРАНЯЯ ЭКОЛОГИЮ, НЕ ЖЕРТВУЕМ КОМФОРТОМ

С. Г. Янчукович*, А. Г. Вербицкая

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: lana5272009@yandex.ru

В настоящее время загрязнение пластиком стало одной из самых серьёзных экологических проблем в мире, поскольку быстрорастущее производство одноразовых пластмассовых изделий превышает возможности мира по борьбе с ними. Проанализировав пути решения данной проблемы в России и за рубежом, приведён анализ достоинств упаковки из бумаги, рассмотрены возможности и преимущества использования одноразовой посуды из биоразлагаемого материала. Альтернативные варианты являются более целесообразными в использовании в реалиях нашего времени.

Ключевые слова: одноразовая посуда, экологическая проблема, пластиковая посуда, целлюлозно-бумажная отрасль, бумага, экология.

Целлюлозно-бумажная промышленность – основная отрасль ЛПК, многие предприятия применяют в качестве сырья вторичный ресурс – макулатуру. Использование возобновляемых технологий – важнейшая составляющая ЦБП. Отходы производства и потребления продукции могут использоваться в качестве сырья для производства тех же видов продукции, причем их переработка осуществляется на тех же мощностях, что и первоначальный выпуск бумаги и картона. Основной объем потребления бумаги и картона идет на производство упаковки. Много на российском рынке продукции из гофрокартона будет зависеть от цен на макулатуру и целлюлозу и от динамики цен на рынках Европы и ЮВА. Не менее важной проблемой является низкий, нерегулируемый уровень сбора макулатуры [1].

Группа предприятий «ГОТЕК» – крупнейший в России производитель упаковки и упаковочных материалов. В компанию входят шесть производственных предприятий по выпуску упаковки из гофрокартона. В условиях пандемии, сопровождаемой экономическим кризисом и снижением доходов населения, произошло изменение потребительского спроса и

образа жизни людей, особенно в городах. Резко увеличился спрос на онлайн-заказы, на доставку готовой еды на дом и в офисы. Это послужило толчком для увеличения рынка по производству одноразовой посуды и новых видов упаковки, например, компания SIG изобрела упаковку Heat&Go из высокобарьерного картона, который защищает продукты от посторонних запахов, света, влаги, выдерживает температуру 60 °С, пригоден для разогрева продуктов в микроволновой печи.

Данный сегмент будет расти благодаря пониманию потребителей сохранять экологию, используя безопасное экологическое сырье – бумагу и картон в повседневной упаковке [1]. В основном это одноразовая посуда: тарелки, стаканы, лотки, контейнеры. Стоит отметить, что по производству бумажной посуды 1-ое место в мире занимает Китай, а по производству товаров из переработанного бумажного сырья и целлюлозы 1-ое место занимает Франция, 2-ое место – Финляндия. В России для производства бумажной посуды используют ламинированный картон плотностью 250 г/кв.м. Все бумажные стаканы делят на два типа:

1. Для прохладительных напитков, имеет защитное восковое покрытие на обеих сторонах, чтобы предотвратить смачивание бумаги из-за впитывания жидкости.
2. Стакан для горячих напитков, чтобы выдерживать тепло, имеет защитное покрытие только с одной стороны [2].

Одним из факторов увеличения спроса на бумажную посуду является растущая осведомленность населения о передаче болезней и микробов при использовании многоразовой посуды, а также экологическая безопасность сырья и возможность повторной переработки и использования отходов как одного из направлений «зеленой экономики».

В России одноразовую бумажную посуду производят:

1. ООО «Квадрат-Упак», Москва.
2. «Булгар Грин», Казань.
3. «Лиес Пак», Пермь.
4. Компания «Эко Технологии», Московская обл.
5. ОАО «Солнечногорский опытно-экспериментальный завод», Псков.
6. Завод «АРТ Пласт», Московская обл.

На основании приведенной информации можно сделать вывод, что в России сегмент по производству упаковки, соответствующей по своим защитным свойствам, маркетинговым требованиям и экологической безопасности, отстает в развитии и одним из важных факторов, влияющим на это, является недостаток качественного сырья на внутреннем рынке и необходимость приобретать его за рубежом, что сложно при нестабильном курсе валют и санкциях.

Основным конкурентом бумажной упаковки является синтетический полимер, получаемый из ископаемой нефти и газа. Полимер обладает отличными свойствами: по прочности он непроницаем для жидкостей, легко формуется приобретая заданную форму, кроме того, он дешев. Впервые пластик появился в 1910 г. в США. Производство посуды началось в 1930 г., с выпуска одноразовых пластиковых стаканов. С распространением пластиковой посуды в мире стал снижаться спрос на одноразовую посуду из плотной бумаги. С 1950 г. в мире отмечается резкое повышение спроса на одноразовую пластиковую посуду. В кафе, ресторанах быстрого питания стали использовать одноразовый пластик, потому что это дешево, удобно и эстетично [2].

В конце XX века стало очевидным, что достоинства пластиковой посуды и изделий из пластика, вытеснившие бумажную и картонную упаковку, обернулись планетарной проблемой. Невозможность вторичной переработки и безопасной утилизации пластиковой упаковки приводит к загрязнению территорий, способствует глобальному потеплению и экологическим бедствиям [2].

Мало кто знал, что при неправильном использовании любая одноразовая или многоразовая пластиковая посуда вредна. Однако врачи считают, что она опасна при любых обстоятельствах, при этом особенно опасно повторное использование одноразовой

пластиковой посуды, так как выделяется большое количество опасных для здоровья веществ (рис. 1).

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Полиэтилен терефталат	Полиэтилен высокой плотности	Поливинил хлорид (ПВХ)	Полиэтилен низкой плотности	Полипропи- лен	Полистирол	Прочие виды пластика
РЕТЕ или РЕТ Безопасность: подходит только для однократного применения. При повторном применении могут выделяться фталаты.	HDPE или PE HD Безопасность: считается относительно безвредным, хотя из него может выделяться формальдегид.	PVC или V Безопасность: запрещен для пищевого применения. Может содержать бисфенол А, винилхлорид, фталаты, ртуть и/ или кадмий.	LDPE или PEVD Безопасность: относительно безопасен для пищевого применения, в редких случаях может выделять формальдегид.	Маркировка PP Безопасность: довольно безопасен, но при определенных условиях может выделять формальдегид.	Маркировка PS Безопасность: может выделять стирол, поэтому одноразовая посуда и называется одноразовой.	О или OTHER Поликарбонат, полиамид и виды пластмасс, не получившие отдельный номер.
Применение: хранится большинство напитков, растительных масел, кетчупов, слистей, косметических средств.	Применение: изготавливается одноразовая посуда, контейнеры для пищевых продуктов, бутылки для косметических средств, фасовочные пакеты, сумки, игрушки.	Применение: изготавливаются оконные профили, элементы мебели, пленка для натяжных потолков, трубы, скатерти, занавески, напольные покрытия, тара для технических жидкостей.	Применение: изготавливают большинство видов пакетов, мусорных мешков, компакт- дисков, линолеумов.	Применение: изготавливают пищевые контейнеры, упаковки для продуктов питания, шприцы, игрушки.	Применение: изготавливается почти вся одноразовая посуда, стаканчики для йогурта, лоточки под мясо, фрукты и овощи, контейнеры для еды, игрушки, сэндвич панели, теплоизоляционные плиты.	Безопасность: содержат Бисфенол А, точнее некоторые из них содержат, а некоторые пластмассы из этой группы, наоборот, повышенной экологической чистотой.
		Не подлежит переработке				Применение: изготавливаются бутылочки для детей, игрушки, бутылки для воды, упаковки.
						Не подлежит переработке

Рисунок 1 – Виды пластмасс и их маркировка [2]

Для того чтобы решить проблему пластикового мусора, нужно полностью пересмотреть весь процесс от производства пластика до его использования и утилизации.

Глава ЮНЕП Ингрид Андерсен, выступая на конференции, посвященной проблемам морского мусора и пластиковых отходов, предлагает конкретные шаги:

1. Необходимо сократить производство пластика, особенно для одноразового использования.
2. Перейти на замкнутый цикл производства пластика, чтобы по окончании жизненного цикла изделия можно было бы переработать. Тогда вторичная переработка пластика приведет к сокращению производства пластикового сырья на 55 %.
3. Модернизация по сбору и обращению с отходами пластика. Это необходимый этап в борьбе с пластиковым загрязнением. Пластик преследует нас везде: на земле, в воде и в воздухе. Если не принять кардинальных мер, то к 2040 году количество пластиковых отходов в океане утроится.

С 2021 года в странах ЕС запретили производить и продавать одноразовую пластиковую посуду. Пластик полностью исчез из ресторанов, кафе и других точек общепита еще в 2020 году, за полгода до введения официального запрета.

В России пытаются идти в том же направлении. О том, что правительство РФ готовит поправки в законодательстве о запрете использования пластика из неперерабатываемых и трудно извлекаемых материалов и полном отказе от одноразовой пластиковой посуды, заявила вице-премьер Виктория Абрамченко в мае 2021 года на Международном форуме в Санкт-Петербурге. Данную инициативу поддержали Министерство природных ресурсов и Совет по правам человека при Президенте РФ.

Проведенные опросы показали, что представители общепита и торговли спокойно воспринимают известие о переходе на одноразовую посуду и упаковку из биоразлагаемых материалов (бумага и картон) взамен полимерных материалов, несмотря на то, что она дороже пластика в полтора раза.

Однако есть серьезный нюанс. Теоретически бумажная посуда сделана из целлюлозы, то есть она экологичнее, так как целлюлоза поддается переработке, а попав на полигон, разлагается естественным путем. Но чистой бумажной посуды не существует, посуда ламинируется, и такой материал не перерабатывается, а попадая в океан, бумажная основа растворяется, а ламинирующая пленка остается. Покрытую пластиком бумагу нельзя сдавать в макулатуру. Для ее утилизации нужно разрабатывать новые технологии переработки. В начале 2021 г. «Макдоналдс» и ГК «Эколайн» запустили пилотный проект «Вторая жизнь бумажного стаканчика». «Эколайн» нашел заводы, которые взялись за опытную переработку (слои упаковки разделяют и каждый отдельно перерабатывают). Объем первой партии составил 1300 кг. Прогноз оптимистичный.

На основании представленного материала можно сделать выводы:

1. Прежде чем ввести полный запрет на пластик, надо найти ему достойную замену не только по его положительным свойствам (прочность, легкость в изготовлении, удобство в использовании, низкая себестоимость), но и исключая его основной недостаток: невозможность вторичной переработки и безопасной утилизации, выбросы CO₂ при сжигании, приводящие к глобальному потеплению и экологическим бедствиям.
2. В настоящее время альтернативой пластика является упаковка из бумаги и картона, ее декларируют как биоразлагаемую, пригодную для повторной переработки и использования. Однако это не так, наличие ламинированной пленки требует создания новых предприятий и линий по переработке. Но главная задача – модернизация сбора бумажного мусора, позволяющая отправлять его на переработку с дальнейшим использованием в производстве одноразовой посуды и других видов упаковки.

Список литературы

1. Елдышев Ю. Н. Мир против пластиковых пакетов // Экология и жизнь. 2011. № 7. С. 42-43.
2. Протасов В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: учеб. и справ. пособие. М.: Финансы и статистика, 1999. 670 с.

PRESERVING THE ENVIRONMENT, WE DO NOT SACRIFICE COMFORT

S. G. Yanchukovich*, A. G. Verbitskaya

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: lana5272009@yandex.ru

Currently, plastic pollution has become one of the most serious environmental problems in the world, since the fast-growing production of disposable plastic products exceeds the world's ability to combat them. Having analyzed ways to solve this problem in Russia and abroad, the advantages of paper packaging are analyzed, the possibilities and advantages of using disposable dishes made of biodegradable material are considered. Alternatives are more appropriate for use in the realities of our times.

Keywords: *disposable utensils, environmental problem, plastic utensils, pulp and paper industry, paper, ecology.*

References

1. Yeldyshev Yu. N. World against plastic bags. *Ecology and life*, 2011, no 7, pp. 42-43. (In Russian).
2. Protasov V. F. *Ecology, health and environmental protection in Russia: study guide and reference manual*. Moscow, Finance and statistics, 1999, 670 p. (In Russian).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАССОПЕРЕНОСА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ КАРТОНА

Е. Н. Громова*, К. Г. Мисютина

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: gromova.gturp@mail.ru

В докладе описана методика экспериментального определения коэффициента массопереноса, характеризующего свойства материала в отношении развития поля влагосодержания при конвективной сушке картона. Приведены зависимости, позволяющие с достаточной точностью рассчитать значения коэффициента массопереноса при различных значениях влагосодержания. Построены графические зависимости изменения критерия Кирпичева и коэффициента массопереноса от влагосодержания в процессе конвективной сушки картона. Полученные значения коэффициента массопереноса можно использовать при расчетах полей влагосодержания в процессе конвективной сушки переплетного картона.

Ключевые слова: конвективная сушка, картон, тепломассообмен, влагосодержание, коэффициент массопереноса

В процессе сушки картона испарение влаги с внешней поверхности сопровождается ее неравномерным распределением по толщине материала, вызывая при этом такие нежелательные явления, как коробление, снижение прочностных характеристик, растрескивание и др. Поэтому режим сушки выбирается таким образом, чтобы градиент влагосодержания не превышал предельных значений. Поле влагосодержания в нестационарных условиях тепломассопереноса описывается системой дифференциальных уравнений, решение которых невозможно без определения коэффициента массопереноса α_m , характеризующего свойства материала в отношении развития поля влагосодержания.

Уравнение влагопроводности для нестационарных условий сушки с учетом влияния термовлагопроводности имеет вид [1]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \alpha_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \alpha_m \cdot \delta_t \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где U – влагосодержание картона, τ – длительность сушки, x – координата по толщине картона, t – температура картона, δ_t – термоградиентный коэффициент.

Процесс малоинтенсивной конвективной сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов, к которым относится картон, характеризуется малыми значениями градиентов температуры, поэтому влиянием термовлагопроводности можно пренебречь [2]. Тогда уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \alpha_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Учитывая, что поле влагосодержания в процессе конвективной сушки описывается параболической зависимостью [3], в результате преобразования уравнения (2) получим следующее соотношение в критериальной форме:

$$\frac{U_{\text{ц}} - U_{\text{п}}}{U_0 - U_{\text{р}}} = \frac{1}{2} Ki, \quad (3)$$

где U_0 , $U_{\text{р}}$ – начальное и равновесное влагосодержание, $U_{\text{ц}}$, $U_{\text{п}}$ – влагосодержание в центре и на поверхности материала, $Ki = \frac{R^2 \cdot dU}{\alpha_m \cdot U_0 \cdot d\tau}$ – критерий Кирпичева, R – толщина материала.

По распределению влагосодержания по толщине в процессе сушки картона на основании экспериментальных данных представляется возможным определить коэффициент массопереноса по следующему соотношению:

$$\alpha_m = \frac{R^2 dU}{2 \cdot (U_{\text{ц}} - U_{\text{п}}) d\tau} = \frac{R^2 dU}{Ki \cdot U_0 d\tau}. \quad (4)$$

Опыты по определению коэффициента α_m для переплетного картона массой 780 г/м^2 , плотностью $0,65 \text{ г/см}^3$, толщиной $1,25 \text{ мм}$, состоящего из 25% СФА небеленой, 20% бурой древесной массы, 25% полуцеллюлозы и 30% макулатуры, проводились в конвективной сушильной установке при температурах $60, 70$ и $80 \text{ }^\circ\text{C}$ и скорости воздуха $W_b < 1 \text{ м/с}$. Начальное влагосодержание образцов картона – $1,5 \text{ г/кг}$. В процессе опыта через фиксированные промежутки времени образцы вынимались из сушильной камеры и разделялись по толщине на три слоя. При этом определялось среднее влагосодержание образца $\bar{U}$ и влагосодержание каждого элементного слоя.

Распределение влагосодержания по толщине образца аппроксимировалось параболой (рис. 1):

$$U = -a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (5)$$

Или, учитывая равенство влагосодержания на поверхности теплообмена при $x = 0$ и $x = R$, распределение влагосодержания имеет вид:

$$U = a \cdot R \cdot x - a \cdot x^2 + c, \quad (6)$$

где $b = a \cdot R$; $c = U_0 = U_R = U_n$; $\frac{a \cdot R^2}{4} + c = U_{R/2} = U_{\pi}$.

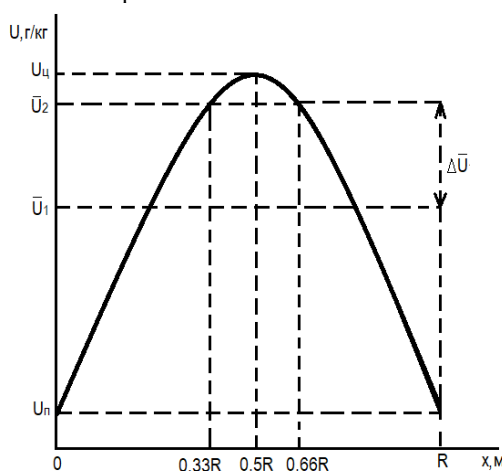


Рисунок 1 – Распределение влагосодержания по толщине образца картона

Среднеинтегральные значения влагосодержания $\bar{U}_1, \bar{U}_2$ элементарных слоев № 1, 2 и 3 определялись взвешиванием (при этом влагосодержание слоев 1 и 3 усреднялись) и рассчитывалось по следующим уравнениям:

$$\bar{U}_1 = \frac{\int_0^{R/3} U(x) dx}{R/3} = \frac{7}{54} a \cdot R^2 + c, \quad (7)$$

$$\bar{U}_2 = \frac{\int_0^{R/2} U(x) dx}{R/6} = \frac{13}{54} a \cdot R^2 + c. \quad (8)$$

Влагосодержание в центре и на поверхности образца определялось по формулам:

$$U_n = \bar{U}_1 - \frac{7}{6} \cdot \Delta \bar{U}, \quad (9)$$

$$U_{\pi} = \bar{U}_2 + \frac{1}{12} \cdot \Delta \bar{U}. \quad (10)$$

По мере убывания среднего влагосодержания картона была построена кривая скорости сушки $\frac{dU}{d\tau} = f(\bar{U})$, а по перепаду влагосодержания ΔU между центральным слоем и поверхностью испарения был определен критерий Кирпичева, на основании численных значений которого по формуле (4) рассчитан коэффициент массопереноса α_m при различных значениях влагосодержания $\bar{U}$ и температурах картона.

Коэффициент массопереноса α_m для переплетного картона, как и для большинства капиллярно-пористых тел, зависит от влагосодержания и температуры (рис. 2, кривые 1, 2, 3), характер изменения которого при различных значениях влагосодержания определяется формой связи влаги с материалом [4]. С повышением температуры значение коэффициента

увеличивается, так как вязкость влаги уменьшается, а с повышением влагосодержания интенсивность массопереноса возрастает.

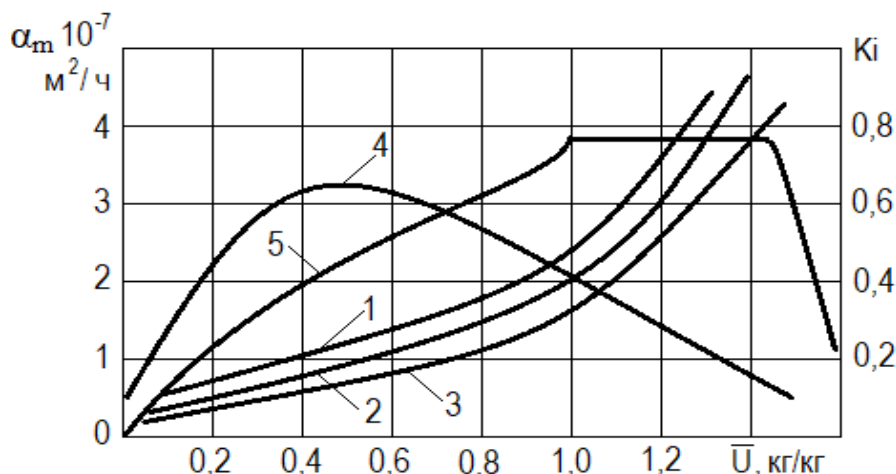


Рисунок 2 – Изменение критерия Кирпичева (Ki) и коэффициента массопереноса (α_m) в процессе конвективной сушки картона:

1 – α_m при $t_b=80$ °С; 2 – α_m при $t_b=70$ °С; 3 – α_m при $t_b=60$ °С; 4 – Ki при $t_b=80$ °С;
5 – кривая скорости сушки $\frac{dU}{d\tau} = f(\bar{U})$ при $t_b=80$ °С

Как следует из графика, кривая $\alpha_m = f(\bar{U})$ делится на два участка: на первом участке при $\bar{U} = 0,15 - 0,6$ кривую можно аппроксимировать линейной функцией вида:

$$\alpha_m = b + c \cdot \bar{U}, \quad (11)$$

где коэффициент α_m зависит от температуры сушки. В интервале от 0,6 до 1,4 кривая $\alpha_m = f(\bar{U})$ аппроксимируется зависимостью типа:

$$\alpha_m = b + c \cdot (\bar{U})^n. \quad (12)$$

Для условий конвективной сушки картона показатель степени в уравнении (12) равен $n = 3$.

При обработке данных в диапазоне изменения влагосодержания от 1,4 до 0,15 кривая аппроксимируется зависимостью:

$$\alpha_m = 0,941 - 2,171 \cdot \bar{U} + 7,77 \cdot \bar{U}^{-2} - 9,154 \cdot \bar{U}^{-3} + 4,366 \cdot \bar{U}^{-4}. \quad (13)$$

Полученные значения коэффициента массопереноса α_m можно использовать при расчетах полей влагосодержания в процессе конвективной сушки переплетного картона.

Список литературы

1. Жучков П. А. Тепловые процессы в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесная промышленность, 1978. 407 с.
2. Тимофеев О. Н. Влияние конвективного теплообмена и прижимного материала на эффективность контактной сушки бумаги: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГТУРП, 2011. 16 с.
3. Gromova E. N., Lakomkin V. Y., Nikolaeva A. G. Heat and Mass Transfer on Free Path Portions in Drying Paper in Multicylinder Contact-Convective Units // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2019. vol. 92. no 6. pp. 1588-1592. DOI 10.1007/s10891-019-02078-3.
4. Прохоров Д. А., Бойков Л. М., Ионин Е. Н. Зависимость энергетической эффективности от форм связи влаги с материалом на бумаго- и картоноделательных машинах // Неделя науки СПбПУ: Материалы научной конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 14–19 ноября 2016 года). СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2016. С. 218-221.

DETERMINATION OF THE MASS TRANSFER COEFFICIENT DURING CONVECTIVE DRYING OF CARDBOARD

E. N. Gromova*, K. G. Misutina

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: gromova.gturp@mail.ru

The article describes the method of experimental determination of the mass transfer coefficient, which characterizes the properties of the material in relation to the development of the moisture content field during convective drying of cardboard. Dependences are given that allow calculating the values of the mass transfer coefficient with sufficient accuracy for various moisture contents. Graphical dependences of changes in the Kirpichev criterion and mass transfer coefficient on moisture content in the process of convective drying of cardboard are constructed. The obtained values of the mass transfer coefficient can be used in the calculation of moisture content fields in the process of convective drying of bookbinding cardboard.

Keywords: *convective drying, cardboard, heat and mass transfer, moisture content, mass transfer coefficient*

References

1. Zhuchkov P. A. *Teplovye processy v cellyulozno-bumazhnom proizvodstve*. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1978, 407 p. (In Russian).
2. Timofeev O. N. *Vliyanie konvektivnogo teplomassobmena i prizhimnogo materiala na effektivnost kontaktnoj sushki bumagi*: avtoref. dis. ... kand. texn. nauk. SPb., 2011, 16 p. (In Russian).
3. Gromova E. N., Lakomkin V. Y., Nikolaeva A. G. Heat and Mass Transfer on Free Path Portions in Drying Paper in Multicylinder Contact-Convective Units, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2019, vol. 92, no. 6, pp. 1588-1592. DOI 10.1007/s10891-019-02078-3.
4. Prokhorov D. A., Bojkov L. M., Ionin E. N. Zavisimost energeticheskoy effektivnosti ot form svyazi vlagi s materialom na bumago- i kartonodelatelnykh mashinakh. *Nedelya nauki SPbPU: Materialy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*, St.-Petersburg, 2016, pp. 218-221. (In Russian).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ: К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ В РОССИИ

Р. В. Колесников*, Е. М. Фрейдкина

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: roman_kolesnikov@hotmail.com

Постоянно растущие объемы образования твердых коммунальных отходов (ТКО), переполненность полигонов для их захоронения, недостаток предприятий по переработке вторичного сырья, а также невозможность вторичной переработки некоторых категорий отходов обуславливают необходимость поиска новых способов их утилизации. Одним из современных и набирающих популярность в мире способов утилизации отходов является их переработка в энергию (waste-to-energy). В статье проводится анализ мирового опыта энергетической утилизации отходов и результатов использования данной технологии.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, утилизация ТКО, waste-to-energy, энергетическая утилизация, сжигание мусора, мусоросжигательные заводы (МСЗ).

Энергетическая утилизация, или концепция «waste-to-energy» предполагает выработку электрической и тепловой энергии в результате сжигания ТКО либо переработку отходов в источник горючего топлива – метана, метанола, этанола и синтетического топлива. Основные направления энергетической утилизации представлены ниже в таблице.

Таблица – Направления энергетической утилизации

Вид энергетической утилизации	Основной получаемый продукт
<i>Технологии, основанные на термической обработке</i>	
Сжигание отходов (на колосниковой решетке и в циркулирующем кипящем слое)	Электро- и тепло энергия
Переработка пластмасс в топливо	Масло и топливо (термотопливо)
Газификация	Горючий газ, водород, синтетическое топливо
Термическая деполимеризация	Синтетическая сырая нефть
Пиролиз	Горючие смолы, бионефть и уголь
Плазменная газификация	Синтез-газ, состоящий из водорода и монооксид углерода
<i>Нетермические технологии</i>	
Анаэробное сбраживание	Биогаз, богатый метаном
Ферментация	Этанол, молочная кислота, водород

Наиболее распространенной технологией энергетической утилизации является сжигание отходов для выработки электрической и тепловой энергии, преимущественно самым простым способом – на колосниковой решетке [1]. В странах Европейского союза энергетическая утилизация рассматривается как часть мер по достижению целей в области снижения нагрузки на полигоны отходов [2]. Данные по обращению с твердыми коммунальными отходами в странах Европы представлены на рисунке ниже [3].

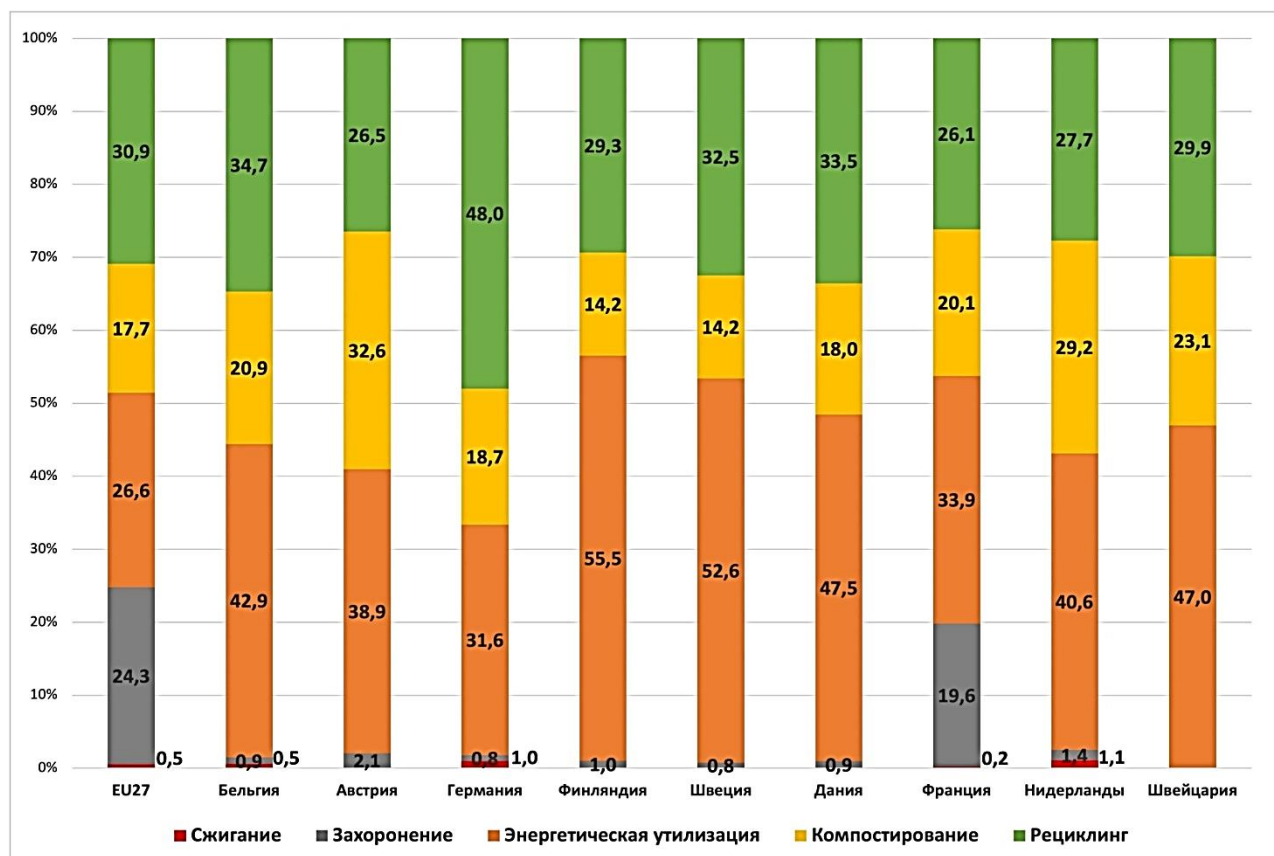


Рисунок – Обращение с отходами в некоторых странах Европы в 2019 году

В среднем, в странах ЕС более 26 % ТКО идет на энергетическую утилизацию, а в таких странах, как Финляндия и Швеция, более половины всех собираемых ТКО используются в этом направлении для получения энергии и тепла. Наблюдается тенденция наращивания энергетической утилизации. Так, в 2009 году на энергетическую утилизацию в ЕС направлялось лишь около 16 % ТКО. Лидерами в энергетической утилизации являются скандинавские страны. Так в Финляндии в 2009 году уровень такой утилизации составлял около 13,5 % от всех обрабатываемых отходов, а в 2019 году он уже составил 55,5 %, рост более чем в 4 раза.

Однако энергетическая эффективность предприятий по переработке ТКО в энергию недостаточно высока. Согласно данным отчета фонда Planete Energies, эффективность осуществляющих выработку только электроэнергии предприятий составляет лишь 20–25 %. Для предприятий, осуществляющих выработку только тепловой энергии, энергетическая эффективность находится на уровне 70–80 %. Предприятия, работающие по принципу когенерации, то есть вырабатывающие в процессе сжигания мусора и тепло, и электроэнергию, показывают энергетическую эффективность на уровне 50–60 %. Для производства количества энергии эквивалентного сжиганию 1 тонны мазута необходимо от 5 до 7 тонн отходов. Помимо этого, летучие газы, образующиеся в процессе сжигания отходов, очень токсичны и требуют особой очистки и нейтрализации негативного воздействия, для чего используются дорогостоящие фильтры очистки [4]. Причина низкой эффективности такого сжигания кроется в том, что теплота сгорания несортированных отходов очень низка ввиду присутствия большого количества негорючих фракций и их влажности [5].

Более эффективным способом энергетической утилизации, с точки зрения выработки энергии, например, является предварительная переработка отходов в RDF (Refuse Derived Fuel) топливо. Процесс предполагает извлечение из отходов ценных вторичных ресурсов и направление на производство топлива лишь непригодных для переработки отходов. Тем не менее такая технология требует намного больших инвестиций, а цена кВт-ч энергии уже в

2009 году была намного выше текущей стоимости электроэнергии в России – около 15 руб/кВт-ч. Также остается проблема образования при сгорании летучих газов [6].

С экономической точки зрения большая часть технологий энергетической утилизации отходов, дают отрицательный экономический эффект. Лишь технологии, предусматривающие более глубокую переработку отходов с целью получения энергетической фракции ТКО или получение твердого топлива, могут потенциально дать положительный экономический эффект. Помимо этого, подход к обращению с отходами, предусматривающий лишь выделение вторичных ресурсов и захоронение непригодных остатков, также потенциально может дать положительный экономический эффект [7].

В энергетическом бюллетене, опубликованном Аналитическим центром при правительстве РФ в 2017 году, приводится информация, что капитальные затраты на строительство генерирующего объекта на основе ТКО в 9 раз выше, по сравнению со строительством аналогичной по мощности ТЭС, а эксплуатационные – в 20 раз. Возмещение дополнительно понесенных расходов при этом будет перекладываться на промышленных потребителей электроэнергии посредством надбавки к оптовой стоимости электроэнергии, а затраты предлагается оплачивать из средств федерального бюджета и из тарифов на вывоз отходов и потребление электроэнергии населением [8, 9]. В целом же цена энергии, полученной из отходов в странах Европы, в среднем в 3 раза выше цены на электроэнергию, вырабатываемую традиционными способами [1]. Данный факт лишь подтверждает нецелесообразность такого подхода к обращению с отходами, несмотря на высокую популярность в мире.

Указанные обстоятельства ставят под сомнение эффективность использования ТКО в качестве топлива для получения энергии, так как, помимо низкой энергоэффективности, отбираются из оборота потенциально пригодные для вторичной переработки сырье и материалы. Более того, рассматривать ТКО как полноценный вид ресурса для выработки энергии являются абсолютно нецелесообразным. Так, например, сжигание 50% отходов из образующихся во Франции 36,7 млн тонн ТКО способно обеспечить около 1% потребности страны в энергии, что является абсолютно неадекватным с точки зрения отдачи со средств, вложенных в модернизацию существующих и строительство новых заводов по выработке энергии из мусора [4].

К плюсам сжигания отходов принято относить снижение нагрузки на полигоны. По данным исследования, проведенного институтом экологии НИУ ВШЭ, с помощью сжигания отходов удастся снизить объем размещаемых на полигоне отходов лишь на 15–18 % в масштабах страны. Причина этому – данная технология не уничтожает ТКО полностью. В результате сжигания 1 тонны отходов образуется до 650 кг так называемых вторичных отходов, состоящих на 83 % из шлака, 8,3 % золы, 4,8 % сорбентов и на 3,5 % из вредных примесей, образующихся в процессе очистки дымовых газов [11]. Таким образом, ТКО, как правило, относящиеся к отходам IV–V классов опасности, в процессе сжигания образуют, в том числе, отходы I–III классов опасности, что повышает средний уровень опасности отходов, подлежащих захоронению. Можно заключить, что снижение нагрузки на полигоны является лишь условным, снижаются объемные характеристики отходов, но повышается их средний класс опасности.

Утилизация отходов методом сжигания признана несоответствующей целям и задачам устойчивого развития, поскольку создает дополнительную углеродную нагрузку на экосистемы. В связи с этим страны ЕС постепенно исключают инвестиционные проекты по энергетической утилизации отходов посредством их сжигания из плана по финансовой поддержке сферы обращения с отходами и выбирают менее углерод-интенсивные проекты, основанные на нетермической переработке отходов в топливо [10]. Кроме того, энергетическая утилизация посредством сжигания является де-стимулирующим фактором развития системы раздельного сбора мусора и появления новых производств, потребляющих вторичное сырье.

Анализ доступных источников по энергетической утилизации отходов посредством сжигания для выработки энергии позволяет заключить, что такой способ утилизации ТКО является лишь быстрым решением проблемы переполненных полигонов для захоронения отходов в густонаселенных регионах на краткосрочную перспективу. При этом нарушается принцип экономики замкнутого цикла, подразумевающий возвращение в хозяйственный оборот вторичного сырья и материалов, в том числе получаемых из отходов.

В заключение хотелось бы отметить, что утилизация твердых коммунальных отходов методом сжигания не является эффективным способом и требует больших затрат по сравнению с традиционными источниками выработки энергии в России. Полученная таким образом энергия не может считаться «зеленой» ввиду высокого уровня образования углерода, высокой токсичности летучих газов, а также высокого уровня вторичных отходов, образующихся в процессе сжигания и требующих захоронения. Представляется целесообразным при оценке эффективности сферы обращения с отходами разделять показатель, характеризующий уровень утилизации отходов в стране, на уровень «истинной утилизации», подразумевающий вторичную переработку отходов и возвращение их в хозяйственный оборот, и уровень энергетической утилизации.

Список литературы

1. Потравный И. М., Баах Д. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов в контексте низкоуглеродного развития // Управленческие науки. 2021. № 3, Т.11. С.6–22. DOI 10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22.
2. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705> (дата обращения: 22.10.2021).
3. Евростат. Обращение с муниципальными отходами [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASMUN__custom_1455932/default/table?lang=en (дата обращения: 22.10.2021).
4. Отчет фонда Planete Energies, Сжигание – нагревательная сила мусора [Электронный ресурс]. URL: <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/incineration-heating-power-refuse?#> (дата обращения: 22.10.2021).
5. Фридланд В. С., Щеголькова Н. М. Экологические и энергетические направления утилизации твердых бытовых отходов // Теплоэнергетика. 2008. № 12. С.13–19.
6. Фабио Сиссот. Утилизация отходов в энергетических целях: интегрированный подход // Твердые бытовые отходы. 2009. № 11(41). С.61–64.
7. Польшгалов С. В. Техничко-экономическая оценка технологий обработки твердых коммунальных отходов для их последующей энергетической утилизации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 4(32). С.31–46. DOI 10.15593/2409-5125/2018.04.03.
8. Энергетический бюллетень. Энергетическая утилизация твердых бытовых отходов [Электронный ресурс]. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/13175.pdf> (дата обращения: 23.10.2021).
9. Потравный И. М., Дорис Б. Экономические инструменты реализации проектов энергетической утилизации твердых коммунальных отходов // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию юбилею кафедры и 114-летию РЭУ им. Г. В. Плеханова. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2021. С.214–220.
10. Kassandra Makavou. The EU is clear: Waste-To-Energy incineration has no place in the sustainability agenda [Электронный ресурс]. URL: <https://zerowasteurope.eu/2021/05/wte-incineration-no-place-sustainability-agenda/> (дата обращения: 23.10.2021).

11. АЭИ Прайм Эксперты оценили эффективность сжигания мусора в России [Электронный ресурс]. URL: https://1prime.ru/state_regulation/20210428/833557162.html (дата обращения: 23.10.2021).

ENERGY RECOVERY OF SOLID MUNICIPAL WASTE: TO THE QUESTION OF THE EFFICIENCY OF WASTE COMBUSTION FOR ENERGY GENERATION IN RUSSIA

R. V. Kolesnikov*, E. M. Freydkina

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: roman_kolesnikov@hotmail.com

The increasing volume of solid municipal waste (MSW), overcrowding of landfills, the lack of recycling facilities, and the inability to recycle certain categories of waste necessitate finding new ways to dispose of it. One of the modern and gaining popularity in the world is the recycling of waste into energy (waste-to-energy). The article analysis the world's experience of energy utilization of solid municipal waste and results of use of this technology.

Keywords: *municipal solid waste (MSW), MSW utilization, waste-to-energy, energy utilization, waste incineration, waste incineration plants (WIP).*

References

1. Potravny I. M., Baakh D. Energy utilization of municipal solid waste in the context of low-carbon development. *Management sciences*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 6–22. DOI 10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22. (In Russian).
2. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705> (accessed 22.10.2021).
3. Eurostat, *Municipal waste management*. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASMUN__custom_1455932/default/table?lang=en (accessed 22.10.2021). (In Russian).
4. *Planete Energies fund report, Incineration – the heating power of refuse*. URL: <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/incineration-heating-power-refuse?#> (accessed 22.10.2021). (In Russian).
5. Friedland B. C., Shchegolkova N. M. Ecological and energy trends in the utilization of solid household waste. *Teploenergetika*, 2008, no. 12, pp. 13–19. (In Russian).
6. Fabio Sissot Waste utilization for energy purposes: an integrated approach. *Solid household waste*, 2009, vol. 41, no. 11, pp. 61–64. (In Russian).
7. Polygalov S. V. Technical and economic assessment of technologies for processing solid municipal waste for their subsequent energy utilization. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urban studies*, 2018, vol. 32, no. 4, pp. 31–46. DOI 10.15593 / 2409-5125 / 2018.04.03. (In Russian).
8. *Energy Bulletin, Energy Utilization of Municipal Solid Waste*. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/13175.pdf> (accessed 23.10.2021). (In Russian).
9. Potravny I. M., Doris B. Economic instruments for the implementation of projects for the energy utilization of solid municipal waste. *Modern problems of project management in the investment and construction sphere and environmental management: proceedings of the XI International scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the department and 114 anniversary of the PRUE G. V. Plekhanova*, 2021, pp. 214–220. (In Russian).
10. Kassandra Makavou. *The EU is clear: Waste-To-Energy incineration has no place in the sustainability agenda*. URL: <https://zerowasteurope.eu/2021/05/wte-incineration-no-place-sustainability-agenda/> (accessed 23.10.2021).

11. *AEI Prime Experts assessed the efficiency of waste incineration in Russia*. URL: https://1prime.ru/state_regulation/20210428/833557162.html (accessed 23.10.2021). (In Russian).

УДК 676.2
ГРНТИ 66.35.43

РАЗРАБОТКА МАСЛА ЭКСПАНДЕРНОГО НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Д. А. Мельникова^{1,2*}, Е. Ю. Демьянцева¹, А. С. Литвинов²

¹*Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт – Петербург*

²*ПФК «РУСМА», Санкт – Петербург*

e-mail: melnikowa.da2017@yandex.ru

В настоящее время неотъемлемой частью нашей жизни является экологическое состояние планеты, зависящее как от отдельного индивида, пользующегося благами цивилизации, так и коммерческих компаний, вырабатывающих тонны отходов каждый год. Для своевременного решения экологических проблем необходимо внедрение лучших доступных технологий и замена синтетических ресурсов на растительные.

В рамках научно-исследовательской работы на базе промышленного предприятия при определенных температурных режимах было получено инновационное, экологически безопасное, не имеющее аналогов, высоковязкое масло экспандерное. Предназначено для смазывания работающих при экстремальном давлении поверхностей скольжения, в том числе для направляющих механических экспандеров при производстве труб большого диаметра, а также при тяжёлых операциях холодной прокатки и обработки металлов давлением.

Данный продукт обеспечивает надёжную защиту оборудования и изготавливаемых изделий от коррозии, обладает отличной адгезионной способностью и хорошо смывается водой. Не содержит хлорпарафинов, которые при высоких нагрузках или температуре выше 150 °С разрушаются и образуют небезопасные и коррозионно-активные соединения хлора.

Ключевые слова: экспандерное масло на основе растительного сырья, экология.

Экспандер – это пресс внутреннего давления, который помещается внутрь трубы, «лепестки» раскрываются и калибруют цилиндричность, овальность и наружный диаметр, исправляя кривизну трубы. Операция проходит при весьма большой силе трения между оправкой и стенкой трубы, поэтому в процессе используются специфические масла с повышенными противоизносными свойствами.

Цель данной исследовательской работы – получение экологически безопасного масла с высокой окислительной устойчивостью и стабильности смазочной плёнки при экстремальной сжимающей нагрузкой. Экспандерное масло на основе рапсового масла было получено по стандартной методике, по предварительно разработанной рецептуре с введением уникального пакета противоизносных, противозадирных, антискачковых, антикоррозионных бессвинцовых присадок последнего поколения от ведущих мировых производителей при введении биоцидной добавки и эмульгатора. В работе были оценены физико-химические свойства полученного экспандерного масла (табл.).

Для определения содержания воды испытуемые нефтепродукты нагревают в колбе с холодильником в присутствии не смешивающегося с водой растворителя (нефрас), который перегоняется вместе с водой, находящейся в образце. Конденсированный растворитель и вода постоянно разделяются в ловушке, причем вода остается в градуированном отсеке ловушки, а растворитель возвращается в дистилляционный сосуд [1]. Было обнаружено отсутствие воды в полученном масле.

Сущность метода определения кислотного числа заключается в растворении определенной массы растительного масла в растворителе (85 %-й этиловый спирт) с последующим титрованием имеющихся свободных жирных кислот спиртовым раствором гидроокиси калия [2]. Кислотное число составило 0,03 %.

Температура застывания определяется в охлаждении испытуемого нефтепродукта в холодильной камере и фиксировании температуры, при которой образец остается неподвижным [3]. Указанную температуру принимают за температуру застывания, которая равна 20 °С.

Метод определения стабильности 5 %-ой эмульсии заключается в том, что из навески (5 г) анализируемого препарата с приготовленной на воде жёсткостью 4,6 мг-экв/л готовят однородную эмульсию, которую выдерживают в покое 24 часа при комнатной температуре. По истечении этого времени определяют объем отделившихся «сливок», «масла» или «осадка» [4]. Эмульсия данного масла является стабильной в течение нескольких суток.

Таблица – Физико-химические показатели масла экспандерного

Наименование показателей	Нормированные значения показателей	Фактические значения показателей
Внешний вид	Маслянистая жидкость от светло-жёлтого до тёмно-коричневого цвета	Маслянистая жидкость тёмно-коричневого цвета
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	1100	860
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с, в пределах	380–460	414
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	170	200
Температура застывания, °С, не выше	–10	– 20
Массовая для воды, %, не более	0,1	Отсутствие
Кислотное число, мг КОН/г	Не нормируется, определение обязательно	0,03
Коррозионное воздействие на металлы (сталь 40 или 50 по ГОСТ 1050)	Выдерживает	Выдерживает
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,2	Отсутствие
Смываемость масла под струёй воды в течение 30 с, %, не менее	97	97
Нагрузка сваривания (Рс), кгс, не менее	400	550
Индекс задира (Из), кгс, не менее	80	80
Показатель износа (Ди) при нагрузке 196 Н в течение 1 ч, мм, не более	0,6	0,5
Значение рН 5-процентной водной эмульсии	7–10	7,408
Стабильность 5-процентной водной эмульсии, приготовленной на воде жёсткостью 4,6 мг-экв/л, в течение 24 ч	Выдерживает	Выдерживает

Таким образом, данное масло обеспечивает надёжную защиту оборудования и изготавливаемых изделий от коррозии, обладает отличной адгезионной способностью и хорошо смывается водой. Обладает высокой окислительной устойчивостью и обеспечивает высокую стабильность смазочной плёнки при экстремальной сжимающей нагрузке, не уступает немецким аналогам по нагрузке сваривания и превосходит их по показателю износа, что обеспечивает увеличение рабочих циклов поверхностей. Легко эмульгирует с водой в любом соотношении, образуя эмульсию, сохраняющую стабильность на протяжении нескольких суток. Совместимо с немецкими маслами без промывки системы смазки и не требует переналадки (настройки) систем утилизации СОЖ/СОТС.

Список литературы

1. ГОСТ 2477. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. Введ. с 2016-07-01. Москва: Изд-во стандартов, 2014. 5 с.
2. ГОСТ 31933. Масла растительные. Методы определения кислотного числа и кислотности. Введ. с 2014-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 2012. 12 с.
3. ГОСТ 20287. Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания. Введ. с 1992-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 1991. 10 с.
4. ГОСТ 16291. Пестициды. Метод определения стабильности эмульсий. Введ. с 1980-07-01. Москва: Изд-во стандартов, 1979. 8 с.

DEVELOPMENT OF EXPANDER OIL BASED ON HERBAL RAW MATERIALS

D. A. Melnikova^{1,2*}, E. Yu. Demyantseva¹, A. S. Litvinov²

¹ Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

² PFK «RUSMA», St. Petersburg, Russia

E-mail: melnikowa.da2017@yandex.ru

Currently, an integral part of our life is the ecological state of the planet, which depends on both the individual, enjoying the benefits of civilization, and commercial companies that generate tons of waste every year. To solve environmental problems in a timely manner, it is necessary to introduce the best available technologies and replace synthetic resources with plant ones.

As part of research work on the basis of an industrial enterprise, at certain temperature conditions, an innovative, environmentally friendly, unparalleled, high-viscosity expander oil was obtained. The product was made on the basis of rapeseed oil and a unique package of antiwear, extreme pressure, anti-surge, anti-corrosion lead-free additives of the latest generation from the world's leading manufacturers, a biocidal additive and an emulsifier. Designed for lubrication of sliding surfaces operating under extreme pressure, including for guide mechanical expanders in the production of large diameter pipes, as well as in heavy cold rolling and metal forming operations.

This product provides reliable protection of equipment and manufactured products from corrosion, has excellent adhesion ability and is well washed off with water. Does not contain chlorinated paraffins, which break down under high loads or temperatures above 150 °C and form unsafe and corrosive chlorine compounds.

Keywords: *expander oil, based on vegetable raw materials, ecology.*

References

1. GOST 2477. Oil and oil products. Method for determination of water content. Enter 2016-07-01. Moscow: Publishing house of standards, 2014, 5 p. (In Russian).
2. GOST 31933. Vegetable oils. Methods for determining acid number and acidity. Enter 2014-01-01. Moscow: Publishing house of standards, 2012, 12 p. (In Russian).
3. GOST 20287. Petroleum products. Methods for determining the pour point and pour point. Enter 1992-01-01. Moscow: Publishing house of standards, 1991, 10 p. (In Russian).
4. GOST 16291. Pesticides. Method for determining the stability of emulsions. Enter 1980-07-01. Moscow: Publishing house of standards, 1979, 8 p. (In Russian).

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЩЕЛОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СРК

С. Н. Смородин, А. Г. Николаева*

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: Nik.Nast5877242@mail.ru

В статье рассмотрена актуальная тема влияния серосодержащих компонентов минеральной части черного щелока на эффективность работы содорегенерационного котлоагрегата. Выполнены исследования, показывающее влияние сульфидности черного щелока на потери тепла на плавление солей q_7 физическим теплом плава q_6 и потери на восстановление сульфата q_8 . Результаты анализа, приведённые в данной работе, будут полезны для работников эксплуатирующих содорегенерационные котлоагрегаты.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, черный щелок, регенерация химикатов.

Содорегенерационный котлоагрегат (СРК) является энерготехнологическим агрегатом, эксплуатация которого осуществляется с целью высокоэффективной регенерации химикатов при условии экономичного сжигания щелока [1, 2].

Сульфатный щелок представляет собой раствор различных органических веществ и натриевых соединений. Органическая часть включает преимущественно щелочной лигнин, имеющий полидисперсный состав, и продукты разрушения углеводов. Минеральная часть сухого остатка включает свободный гидроксид натрия (едкий натр) NaOH и натриевые соли (сульфид Na_2S , сульфат Na_2SO_4 и карбонат Na_2CO_3), а также натриевую щелочь, преобладающую в минеральной части щелока и химически сведенную с органическими веществами.

Состав сухого остатка черного щелока зависит от вида перерабатываемого сырья, выхода целлюлозы, расхода щелочи на варку и ее потерь в цикле [3].

Целью работы является определение влияния содержания серосодержащих компонентов минеральной части щелока на эффективность работы СРК.

Расчет теплового баланса проводится при следующих условиях: влажность, минеральная и органическая часть, теплота сгорания щелока остаются постоянными. Меняется только содержание в минеральной части сульфата и сульфида.

Согласно полученным результатам можно определить следующие закономерности:

1. Как показали результаты расчета теплового баланса при увеличении содержания сульфида натрия в минеральной части щелока увеличивается тепловой коэффициент полезного действия (КПД) котла. Это в первую очередь связано со снижением потерь на восстановление сульфата. Потери на плавление солей и с физическим теплом плава увеличиваются, что связано с увеличением выработки плава. Зависимость КПД, потерь тепла на плавление солей q_7 , физического тепла плава q_6 и потерь на восстановление сульфата q_8 от доли сульфида в минеральной части щелока представлена ниже (рис. 1-4).

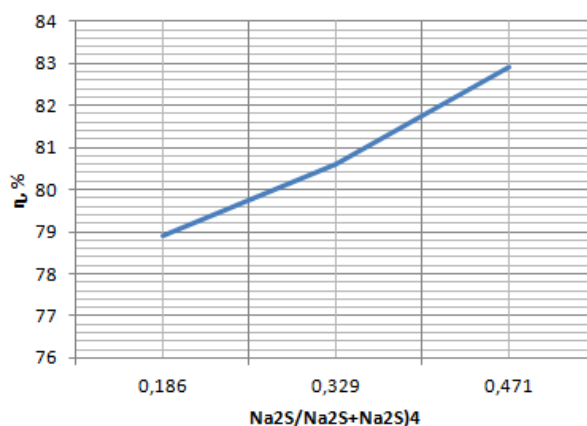


Рисунок 1 – Зависимость КПД от доли сульфида в минеральной части щелока

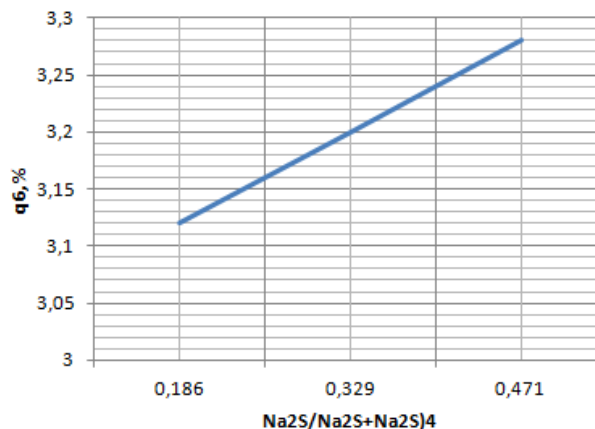


Рисунок 2 – Зависимость q₆ от доли сульфида в минеральной части щелока

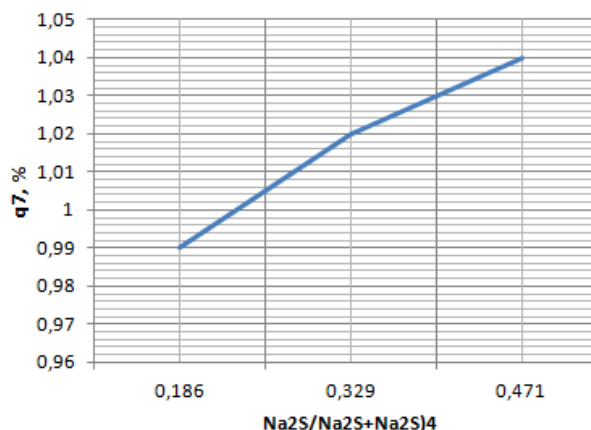


Рисунок 3 – Зависимость q₇ от доли сульфида в минеральной части щелока

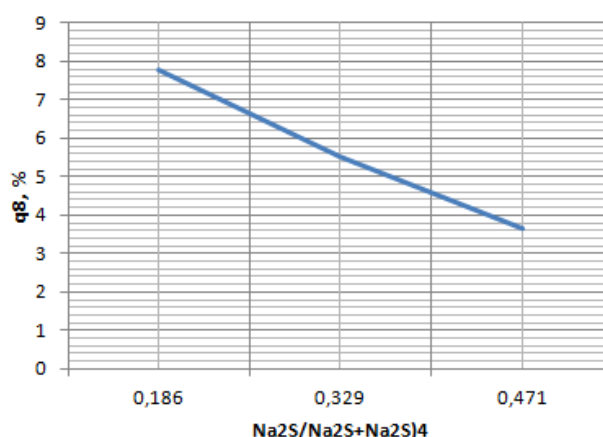


Рисунок 4 – Зависимость q₈ от доли сульфида в минеральной части щелока

2. Как показали результаты расчета материального баланса при увеличении содержания сульфида натрия в минеральной части щелока увеличивается расход плава, что связано с уменьшением содержания сульфата в минеральной части щелока и увеличением относительного содержания натрия, это наглядно представлено на графиках (рис. 5-7). Также увеличивается количество органической серы, переходящей в газовую фазу, что приводит к увеличению выбросов серосодержащих компонентов дымовых газов [4].

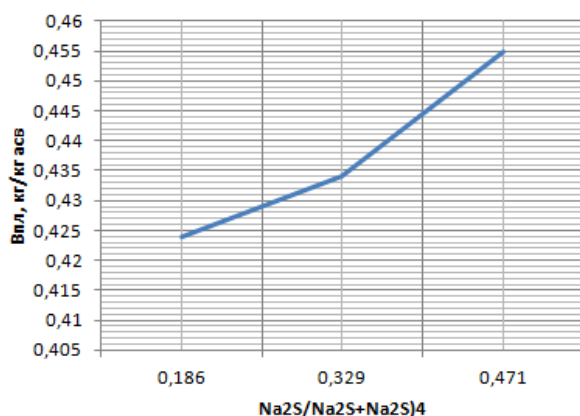


Рисунок 5 – Зависимость выработки плава от доли сульфида в минеральной части щелока

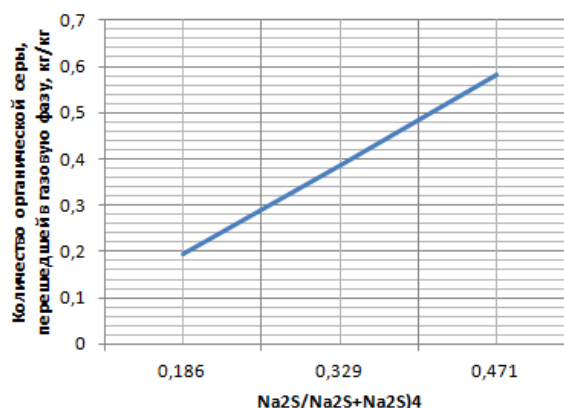


Рисунок 6 – Зависимость количества органической серы, перешедшей в газовую фазу, от доли сульфида в минеральной части щелока

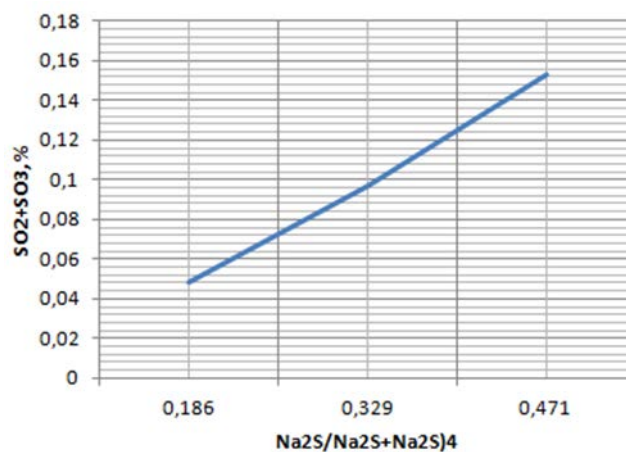


Рисунок 7 – Зависимость серосодержащих компонентов дымовых газов от доли сульфида в минеральной части щелока

3. При увеличении сульфида в минеральной части щелока несколько увеличивается содержание сульфида в плаве, при этом содержание сульфата в плаве не меняется (рис. 8).

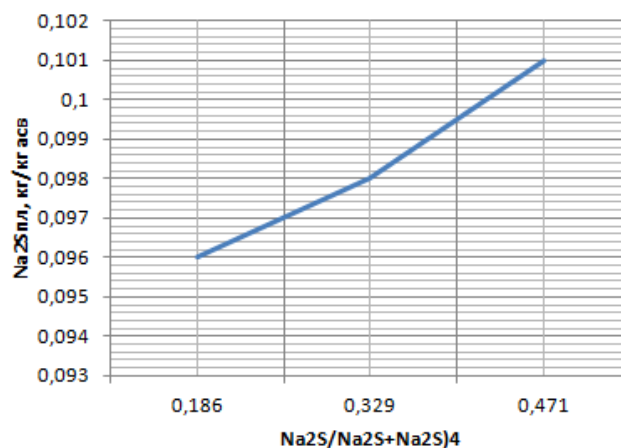


Рисунок 8 – Зависимость содержания сульфида в плаве от доли сульфида в минеральной части щелока

4. По результатам расчета теплового баланса при увеличении содержания сульфида натрия в минеральной части щелока увеличивается тепловой КПД котла, а следовательно, увеличивается паропроизводительность котла (рис. 9).

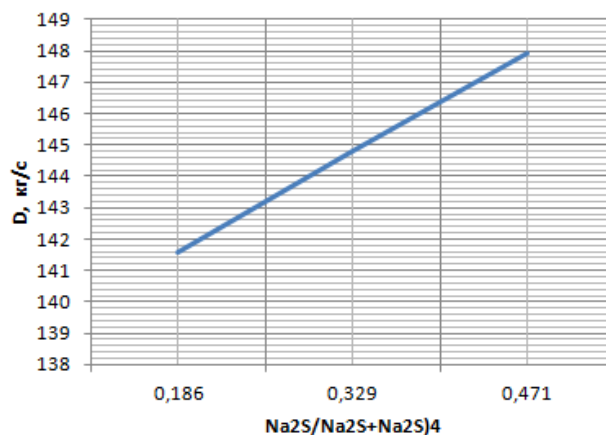


Рисунок 9 – Зависимость паропроизводительности от доли сульфида в минеральной части щелока

Таким образом, в результате исследований показано влияние минеральной части щелока на эффективность работы СРК. Этим, в том числе, можно объяснить и снижение паропроизводительности котла при постоянном расходе щелока, его теплотворной способности и температуре уходящих газов, которая наблюдается при эксплуатации СРК.

Список литературы

1. Смородин С. Н., Белоусов В. Н. Оборудование энерготехнологических ТЭС: учеб. пособие. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. 123 с.
2. Глейзер И. Ш. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций. М.: Энергосервис, 2010. 245 с.
3. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона: информац.-техн. справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. 479 с.
4. Vakkilainen E. Kraft recovery boilers, Principles and practice. Picaset Oy. Helsinki, 2007.

THE EFFECT OF THE COMPOSITION OF THE MINERAL PART OF THE LIQUOR ON THE EFFECTIVENESS OF THE RECOVER BOILER

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

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

E-mail: Nik.Nast5877242@mail.ru

The article discusses the actual topic of the influence of sulfur-containing components of the mineral part of black liquor on the efficiency of the soda-generating boiler. Studies have been carried out showing the effect of the sulfidity of black liquor on heat losses on the melting of salts q_7 by the physical heat of melting q_6 and losses on the reduction of sulfate q_8 . The results of the analysis given in this paper will be useful for workers operating sodoregeneration boilers.

Keywords: *sodoregeneration boiler, black liquor.*

References

1. Smorodin S. N., Belousov V. N. *Equipment of power technological thermal power plants: textbook*. St. Petersburg, HSTE SPbGUPTD, 2021, 123 p. (In Russian).
2. Glazer, I. S. *Boilers of energy-technological and thermal power plants*. Moscow, Energoservice, 2010, 245 p. (In Russian).
3. *Production of pulp, wood pulp, paper, cardboard: handbook of the best available technologies*. Moscow, Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2015, 479 p. (In Russian).
4. Vakkilainen E. *Kraft recovery boilers, Principles and practice*. Picaset Oy, Helsinki, 2007.

СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННЫЙ КОТЛОАГРЕГАТ С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 4300 ТОНН А.С.В. В СУТКИ

С. Н. Смородин, А. Г. Николаева*

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: Nik.Nast5877242@mail.ru

Содорегенерационные котлоагрегаты (СРК) – это одни из самых сложных и ответственных технологических агрегатов в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). Стоит отметить, что именно от стабильности и надежности работы СРК зависит эффективность регенерации химикатов и их возврат в варочный процесс при производстве целлюлозы. В статье представлены характеристика и конструкция содорегенерационного котлоагрегата с производительностью 4300 т а.с.в./сутки от компании Metso Power. По результатам обзора СРК даны рекомендации по местам установки данного котлоагрегата, а также сделан вывод об эффективности работы СРК.

Ключевые слова: целлюлоза, содорегенерационный котлоагрегат, регенерация щелока.

Содорегенерационный котлоагрегат – это энерготехнологический агрегат, задачей которого является высокоэффективная регенерация химикатов при условии экономичного сжигания щелока [1, 2, 3]. СРК используются при сульфатном производстве получения целлюлозы, схема производства сульфатной целлюлозы представлена ниже (рис. 1).

Надежная и экономичная работа СРК осуществляется за счёт применения комплексной автоматизации содорегенерационного котлоагрегата.

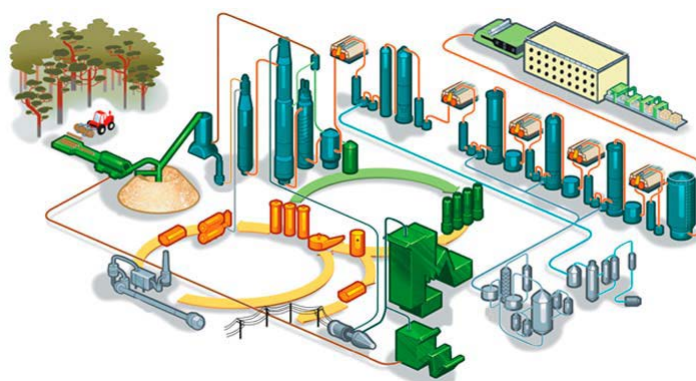


Рисунок 1 – Схема производства сульфатной целлюлозы

Рассмотрим подробнее характеристики основных составных частей котла (рис. 2).

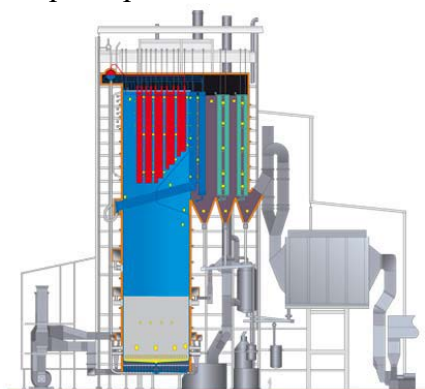


Рисунок 2 – Содорегенерационный котел компании Metso Power

Основные характеристики содорегенерационного котла представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики содорегенерационного котлоагрегата

Характеристики СРК	
Производительность по сухому веществу	4300 т с.в./сут
Выработка пара	198,4 кг/сек
Давление пара	96 бар
Температура пара	490 °С
Температура газов после экономайзера не превышает	173+5 °С
Степень восстановления плава	96%
Производительность по сжиганию слабых неконденсирующихся газов в СРК, макс.	5124 м ³
Расход крепких неконденсирующихся газов в топку, макс.	
Расход метанола в топку СРК, макс.	1450 кг/ч
Расход скипидара в топку СРК, макс.	300 кг/ч

Топка

Нижняя часть топки с мембранными экранами до самой верхней зоны горения выполнена из биметаллических труб 304L с мембранными ребрами из нержавеющей стали для обеспечения защиты от коррозии. Биметаллические трубы из Sanicro 38 [4] используются ниже яруса первичного воздуха. Участок из материала Sanicro 38 тянется до 800 мм за изгиб труб экрана/пода топки. Пять самых крайних труб пода топки по обеим сторонам также выполнены из биметалла Sanicro 38. Под топки имеет декантирующую конструкцию, что обеспечивает его защиту слоем твердого плава. К тому же под топки имеет наклон во избежание накопления паровых пузырей внутри труб пода, и таким образом обеспечивается эффективная теплопередача в трубы пода. Характеристики топки представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики топки

Характеристики топки	
Ширина	14629,6 мм
Глубина	15239,2 мм
Высота по оси топки	58,3 м
Поверхность нагрева	5124 м ²
Наружный диаметр труб	64 мм
Шаг труб	76 мм
Количество элементов в ширину	24 шт.
Количество труб в элементе в глубину	16 шт.

Защитный пучок

Водоохлаждаемый защитный пучок топки располагается на выходе топки для защиты пароперегревателя, а также обеспечения благоприятного режима потока газов в секцию пароперегревателя. Защитный пучок выполнен из жестких мембранных панелей. Секция, располагающаяся внутри топки, является довольно короткой и не имеет сварных стыковых швов. Мембранное ребро прикрепляется к самой верхней трубе защитного пучка, чтобы разбить крупные куски соли, падающие из пароперегревателя. Данная конструкция является жесткой и не протекающей.

Пароперегреватель

Змеевиковый, подвесной пароперегреватель состоит из первой, второй и третьей ступеней. Пар течет противотоком в первых ступенях и параллельно во второй и третьей ступенях. Такая схема обеспечивает наибольший запас прочности и самую экономичную конструкцию поверхности.

Ширмы пароперегревателя являются подвесными для обеспечения самостоятельного движения ширм без образования напряжения, которое вызывает старение и разрушение металла труб.

Паровой барабан

Питательная вода, поступающая из конденсатора впрыска, входит в барабан. Барабан располагается вне потока дымовых газов на фронтальной стене котла. Из барабана вода подается в топку, фестон и испарительную секцию.

Барабан снабжен циклонными сепараторами, которые представляют собой пароводяные сепарационные устройства центробежного типа. Циклонные сепараторы возвращают большое количество воды, принесенной паром, обратно на дно барабана. На каждом циклоне имеется каплеотделитель из нержавеющей стальной проволоки. Скрубберы шевронной формы, которые установлены над циклонными сепараторами, далее уменьшают влажность и унос твердых частиц. Во вторичном скруббере влажность с частицами улавливается в каналах каплеотделителей, выполненных из гофрированной листовой нержавеющей стали, возвращается в котловую воду.

Кипятильный пучок

Каждый третий элемент фронтальной части конвективных труб является кипящим пучком. Характеристики кипящего пучка представлены в табл. 3. Две трети элементов представляют собой подъемные трубы фестона. Обеспечивается доступ к нижней, средней и верхней частям испарительной секции.

Таблица 3 – Характеристики кипящего пучка

Кипятильный пучок			
Фронтальные элементы кипящего пучка		Задние элементы кипящего пучка	
Количество элементов подъемных труб фестона	71/47 шт.	Количество элементов в ширину	71 шт.
Количество труб в элементе	16/16 шт.	Количество труб в элементе	16 шт.
Наружный диаметр труб	42/64 мм	Наружный диаметр труб	42 мм
Поперечный шаг труб	610/203 мм	Шаг элементов в сторону	203 мм
Продольный шаг труб	102/102 мм	Шаг труб взад	102 мм

Водяной экономайзер

Водяной экономайзер состоит из двух ступеней продольного обтекания с противотоком дымовых газов и питательной воды. Все ступени экономайзера выполнены из шпирм из плавниковых труб.

Поток дымовых газов в экономайзере идет вниз по плавниковым трубам, и там нет поперечных перегородок, которые могли бы вызывать комкообразование. Фронтальные и задние трубы каждой ступени образуют водоохлаждаемую газовую направляющую перегородку для ступеней путем установки плавников этих труб под правильным (90°) углом по отношению к другим плавникам секции. Верхние коллектора шпирм образуют потолок экономайзера. Газоплотность потолка экономайзера обеспечивается обечайкой из углеродистой стали, расположенной на верхних коллекторах шпирм экономайзера. Конструкция боковых стен и задней стены 1-ой ступени экономайзера выполнена газоплотной при помощи внутренней облицовки из углеродистой стали. В среднем пространстве имеется необходимое количество сажеобдувочных аппаратов для обеспечения чистоты газоходов [4].

Предполагаемая производительность содорегенерационного котла представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Предполагаемая производительность СРК

Черный щелок	Макс. длительн. произв.
Поток черного щелока (без золы), тонн а.с.в./сут	4300
Содержание сухих веществ на бак-смеситель, %	~50
Содержание сухих веществ на сжигание на исходную массу (без золы), %	80
Содержание сухих веществ на сжигание на горючую массу, %	81.2
Температура из концентратора, °С	131

Одной из ведущих фирм, производящих содорегенерационные котлы, является Metso Power, она имеет опыт уже в течение более 70 лет по поставке котельного оборудования. Более 300 котлоагрегатов производительностью до 6000 т а.с.в. в сутки установлено по всему миру.

Котёл фирмы Metso Power рассчитан на производительность по сжиганию черного щелока, достигающую 4300 т а.с.в./сутки при концентрации щёлока 80 %.

После обзора характеристик и конструкции СРК можно рекомендовать к установке данный котлоагрегат со вспомогательным оборудованием на крупных целлюлозно-бумажных производствах, например, таких как АО «Сегежский ЦБК», а также на филиалах АО «Группа «Илим» и других.

Список литературы

1. Компания Metso: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mogroup.com/ru/corporate/about-us/> (дата обращения: 10.10.2021).
2. Смородин С. Н., Белоусов В. Н. Оборудование энерготехнологических ТЭС: учеб. пособие. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. 123 с.
3. Глейзер И. Ш. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций. М.: Энергосервис. 2010. 245 с.
4. ГОСТ 10994-74. Сплавы прецизионные. Марки: межгосударственный стандарт. Введен в действие 1975-01-01 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009057> (дата обращения: 10.10.2021).

RECOVER BOILER WITH A CAPACITY OF 4300 A.D.T. PER DAY

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

*Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial
Technologies and Design, St. Petersburg, Russia
E-mail: Nik.Nast5877242@mail.ru*

Sodoregeneration boilers (SRCs) are one of the most complex and responsible technological units in the pulp and paper industry (CBP). It is worth noting that the efficiency of chemical regeneration and their return to the cooking process in the production of cellulose depends on the stability and reliability of the product. The article presents the characteristics and design of a sodoregeneration boiler unit with a capacity of 4,300 tons a.s.v./day from Metso Power. Based on the results of the SRC review, recommendations are given on the installation sites of this boiler unit, and a conclusion is made about the effectiveness of the SRC.

Keywords: *cellulose, sodoregeneration boiler, liquor regeneration.*

References

1. *Metso Company: official website.* URL: <https://www.mogroup.com/ru/corporate/about-us/> (accessed 10.10.2021).

2. GOST 10994-74. *Precision alloys. Stamps: the interstate standard*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009057> (accessed 10.10.2021). (In Russian).
3. Smorodin S. N., Belousov V. N. *Equipment of power technological thermal power plants: textbook*. St. Petersburg, HSTE SPbGUPTD, 2021, 123 p. (In Russian).
4. Glazer I. S. *Boilers of energy-technological and thermal power plants*. Moscow, Energoservice, 2010, 245 p. (In Russian).

УДК 662.818
ГРНТИ 61.01.91

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ БУМАГИ

Д. А. Петрова*, И. Р. Смирнов
СПбГУПТД, Санкт-Петербург
E-mail: the-dasha@yandex.ru

Существует множество способов переработки бумажных отходов. Перспективным и экономически оправданным является изготовление из них топливных брикетов. В статье рассмотрены 3 схемы переработки бумажных отходов и показана принципиальная возможность получения брикетов с характеристиками, сравнимыми с промышленно выпускаемыми топливными брикетами на основе березовых опилок.

Ключевые слова: бумажные отходы, бумага, переработка, топливный брикет.

В настоящее время почти 80 % мирового энергоснабжения обеспечивается ископаемым топливом, которые, вместе с тем, оказывают вредное воздействие на окружающую среду. Возможным решением данной проблемы является поиск и исследование новых видов топлива. Топливный брикет (ТБ) относится к альтернативным видам топлива, которое широко используется для обогрева теплиц, гаражей, дачных или садовых домиков [1]. К тому же обеспечивается утилизация отходов бумаги.

Биомасса растительного происхождения имеет большой потенциал как источник энергии, поскольку она является возобновляемой, в отличие от природных ископаемых ресурсов. Одним из возможных видов биомассы являются отходы бумаг и картонов. Эти отходы имеют волокнистую структуру, поэтому представляется возможным производство топливных брикетов на их основе. Кроме того, бумага и картон имеют низкое содержание соединений серы и азота [2].

Исходя из вышесказанного, целью данной работы являлась разработка простого и экологически безопасного способа переработки бумажных отходов в топливные брикеты. Для осуществления данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать и апробировать технологическую схему получения топливных брикетов.
2. Определить плотность, теплоту сгорания и прочность полученных образцов.
3. Провести сравнительный анализ свойств топливных брикетов и их аналогов.

В работе использовали следующие материалы в качестве бумажных отходов:

- 1) газетная бумага марки В, предназначенная для печатания на высокоскоростных газетных агрегатах газетного текста, штриховых и растровых черно-белых и цветных иллюстраций. Плотность бумаги не менее 0,62 г/см²; влажность 8 ± 1 % [3];
- 2) бумага для офисной техники марки С, предназначенная для одно- и двухсторонней печати на копировальных аппаратах, лазерных и струйных принтерах. Плотность бумаги 80 г/м², влажность 3,9 – 5,3 % [4].

Резку газетной бумаги производили на shreddере Powershred® М-7Сm. Размер резаных кусочков составлял 5×100 мм.

Технологические схемы получения ТБ представлены на рисунках 1 – 3, фотографии готовых топливных брикетов представлены на рисунке 4.

На первом этапе работы из резаной газетной бумаги делали пульпу и затем из нее изготавливали ТБ (рис. 1).

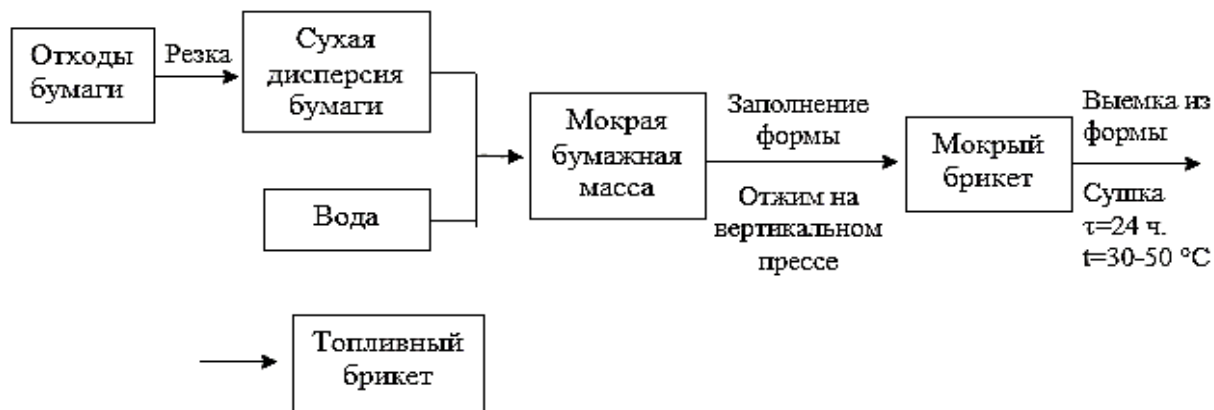


Рисунок 1 – Схема получения топливного брикета из бумажной пульпы без использования связующего

Бумагу измельчали, добавляли воду и оставляли на 3 часа при температуре 60 – 70 °С до получения бумажной пульпы. Полученной пульпой заполняли форму, отжимали на вертикальном прессе, затем сушили при 30 – 50 °С и извлекали из формы.

Для сокращения использования воды была опробована схема получения брикетов без использования связующего из смеси бумажной пульпы и сухой бумаги (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема получения топливного брикета из бумажной пульпы и сухой резаной бумаги без использования связующего

Бумагу измельчали, добавляли воду при массовом соотношении бумага : вода 1:4 и оставляли на 3 часа при температуре 60 – 70 °С до получения бумажной пульпы. Полученную пульпу смешивали с сухой резаной бумагой и заполняли форму полученной массой, затем отжимали на вертикальном прессе, извлекали из формы и сушили при 30 - 50 °С.

Органолептическим методом было определено, что прочность полученных по представленным схемам ТБ достаточно низкая, что может быть связано как с использованием изначально непрочной бумаги, так и отсутствием связующего.

Для сравнения были изготовлены топливные брикеты из бумаги для офисной техники, пропитанные 4 %-ым раствором поливинилового спирта (ПВС). Схема получения таких брикетов показана на рисунке 3.

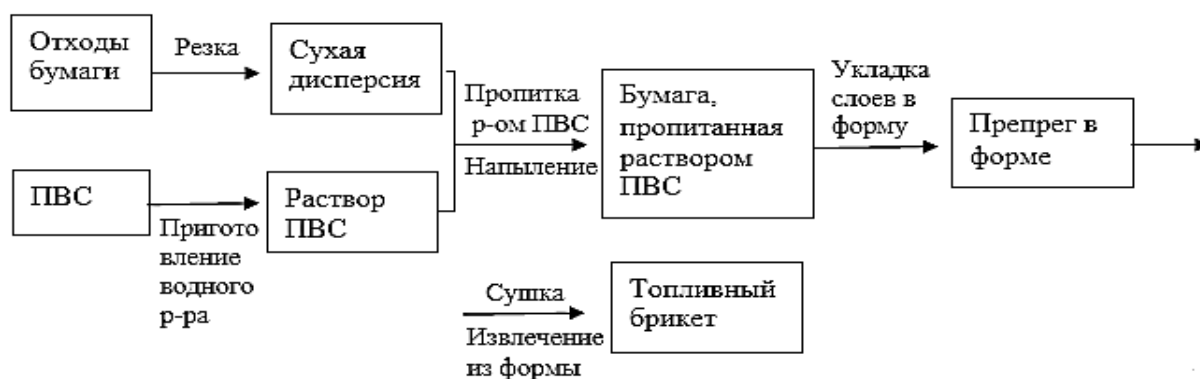


Рисунок 3 – Схема получения топливных брикетов методом пропитки бумаги с использованием водного раствора поливинилового спирта

Раствор ПВС наносили тонким слоем пульверизатором на листы бумаги, получали таким образом препрег. Затем препрег укладывали в форму и сушили при температуре 50 °С, затем высушенный брикет извлекали из формы и оценивали его свойства.

На рисунке 4 представлены фотографии полученных образцов топливных брикетов.

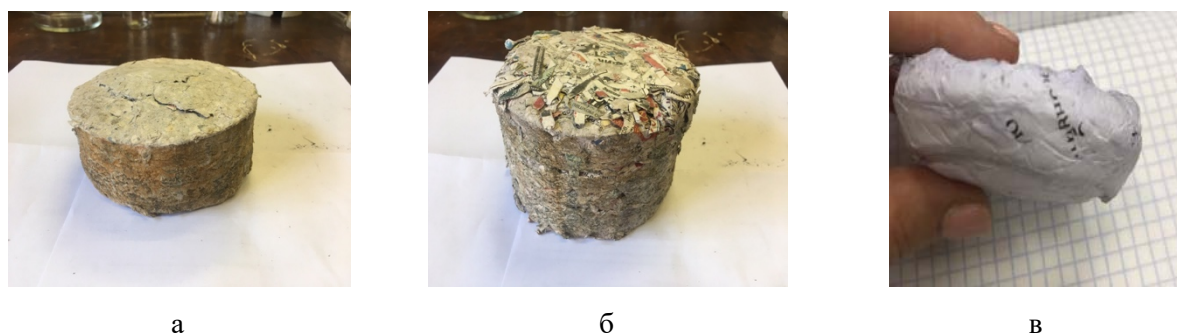


Рисунок 4 – Фотографии образцов, полученных по схеме 1 (а), по схеме 2 (б) и по схеме 3 (в)

Свойства полученных топливных брикетов в сравнении с промышленно выпускаемыми топливными брикетами на основе березовых опилок (RUF-брикетами) представлены в таблице ниже. Определение теплоты сгорания проводили на калориметре С 2000 basic.

Таблица – Свойства полученных топливных брикетов

Показатель	Вид топливного брикета			
	Резаная бумага + вода (схема 1)	Пульпа + сухая бумага (схема 2)	4 % раствор ПВС + бумага	RUF-брикеты
Плотность, кг/м ³	380	422	990	1012
Теплота сгорания, кДж/г	—	—	18984	18417
Прочность органолептическая	низкая	средняя	средняя	высокая

Из таблицы видно, что наиболее близкими свойствами в сравнении с промышленно выпускаемыми топливными брикетами являются брикеты на основе бумаг, пропитанных 4 %-ым раствором ПВС методом напыления.

Таким образом, установлено, что наиболее технологически простым, экономически выгодным и экологически безопасным способом получения топливных брикетов из бумажных отходов является способ, в котором используется связующее (схема 3).

Список литературы

1. Топливный брикет своими руками: пошаговая инструкция [Электронный ресурс]. URL: <https://househill.ru/kommunikacii/otoplenie/element/toplivnyj-briket-svoimi-rukami.html> (дата обращения: 05.11.2021).
2. Gado H., Ouiminga S. K., Daho T., Yonli A. H., Sougot I.M., Koulidiati J. Characterization of briquettes coming from compaction of paper and cardboard waste at low and medium pressures // Springer. Netherlands, 2014. pp. 725-731.
3. ГОСТ 6445-74. Бумага газетная. Технические условия. Введ. 01.01.1975. М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1974.
4. ГОСТ 57641-2017. Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия. Введ. 01.03.2018. М.: Стандартинформ, 2017.

RESEARCH OF THE PAPER RECYCLING PROCESS

D. A. Petrova*, I. R. Smirnov

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: the-dasha@yandex.ru

There are many ways to recycle paper waste. The production of fuel briquettes from them is promising and economically justified. The article considers 3 paper waste recycling schemes and shows the fundamental possibility of obtaining briquettes with characteristics comparable to commercially produced fuel briquettes based on birch sawdust.

Keywords: *paper waste, paper, recycling, fuel briquette*

References

1. *Toplivnyy briket svoimi rukami: poshagovaya instruktsiya*. URL: <https://househill.ru/kommunikacii/otoplenie/element/toplivnyj-briket-svoimi-rukami.html> (accessed 05.11.2021). (In Russian).
2. Gado H., Ouiminga S. K., Daho T., Yonli A. H., Sougot I, Koulidiati J. Characterization of briquettes coming from compaction of paper and cardboard waste at low and medium pressures. *Springer*, Netherlands, 2014, pp. 725-731.
3. *GOST 6445-74. Bumaga gazetnaya. Tekhnicheskie usloviya* [News-print. Specifications], 1974.
4. *GOST 57641-2017. Bumaga kserograficheskaya dlya ofisnoy tekhniki Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Xerographic paper for office equipment. General specifications], 2017. (In Russian).

УДК 661.728; 669.184.287.4; 676; 676.2

ГРНТИ 66.45.43; 66.45.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАЗМОЛА ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНА И СТРУКТУРУ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СБОРА И ХРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В. Н. Селезнёв*, Л. Г. Махотина

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, Санкт-Петербург

E-mail: b.seleznev@yandex.ru

Одним из перспективных способов сбора и хранения биоматериала является использование химически обработанного целлюлозного композиционного материала-носителя. В работе представлены актуальность области исследования, результаты исследования морфологических свойств хлопкового волокна после размолла при разных

концентрациях, а также показано влияние концентрации волокна при размоле на структуру лабораторных отливок, имитирующих целлюлозный композиционный материал.

Ключевые слова: хлопковая целлюлоза, морфология волокна, размол, структура отливки, целлюлозный композиционный материал.

Целлюлозные композиционные материалы (ЦКМ) для сбора и хранения биологических материалов представляют собой бумагу из хлопковой целлюлозы, обработанную специальными буферными растворами для сохранения на ней различных биологических веществ в условиях комнатной температуры. В настоящее время такого вида бумагу производят в виде карт, которые получают по запатентованной технологии и называют FTA – картами [1].

Такого рода карты производятся многими компаниями (например, Whatman (GE Healthcare) – Великобритания, Ahlstrom-Munksjö – Финляндия, «Алкор Био» - Россия) [2], но существующие виды не обеспечивают надежного хранения в первозданном виде биологический материал, в частности, структура ДНК и РНК вирусов при длительном хранении разрушается и «рубится» на части, что усложняет проведение дорогостоящих исследований по изучению и определению новых вирусов.

В России не существуют технологии и производства такого вида материала, что приводит к большим затратам при закупке данного вида продукции для исследовательских лабораторий, медицинских учреждений и др.

Таким образом, разработка технологии ЦКМ для сбора, хранения и безопасной доставки проб из любой точки нашей страны является актуальной в связи с дорогостоящей доставкой проб в специальных боксах морозильной камеры.

Производство ЦКМ начинается с массоподготовительного отдела, где проводят приемку, очистку, сортировку и размол волокнистого полуфабриката, от морфологических свойств которого в значительной степени зависит структура, физико-механические свойства материала.

Морфологические свойства – это показатели размерных характеристик волокна (средневзвешенная или среднеарифметическая длина, ширина, угол изгиба, процент скручиваемости и изгибание волокон, степень фибрилляции – процент отделенных фибрилл от волокна в пробе, содержание мелочи – фрагменты волокон в пробе менее 0,2 мм и другие показатели).

Морфология волокна целлюлозы оказывает влияние на прочность листа и его структуру. Длинные волокна формируют полимерную матрицу ЦКМ, обеспечивая прочность, короткие волокна, располагаясь между длинными волокнами, придают полотну однородную и равномерную структуру, обеспечивая в большей степени печатные и оптические свойства. Наличие изогнутых волокон в большей степени влияет на прочностные характеристики волокна [3]. Мелкое волокно, заполняя пустоты, способствует формированию дополнительных связей, что может привести, с одной стороны, к упрочнению полотна, но, с другой стороны, повлияет на обезвоживания/удержания в процессе формования полотна и повысить пылимость материала.

Цель данной работы – исследование влияния размол хлопковой целлюлозы при разных концентрациях на морфологию волокна и структуру полученных из него отливок, имитирующих ЦКМ.

Для проведения исследования использовали хлопковую целлюлозу, которую размалывали на лабораторном ролле «Валлей» при разных концентрациях и времени размол.

Размол хлопковой целлюлозы проводился при следующих концентрациях: 2, 3, 4 и 5 г/л в течение 2, 4 и 6 минут.

Для определения морфологических характеристик использовали анализатор волокна Morfi Compact. В процессе измерения образец пропускается через оптическую ячейку, позволяющую получить изображение волокон с высоким разрешением. Оптическая

разрешающая способность составляет 10 мкм, рабочая разрешающая способность составляет 4 мкм, благодаря обработке результатов.

Отливки массой 240 ± 10 г/м² изготавливали на листоотливном аппарате Рапид–Кетен с автоматическим управлением.

Для оценки структуры полученных отливок были разработаны два метода:

Метод визуального оценивания, основанный на оценке группой людей образцов на просвет в соответствии с балльной системой. От 0 до 7, где 0 – очень плохое формование, 7 – хорошее формование и определение среднего значения, чем выше балл, тем равномернее структура отливки.

Оптический метод – определение среднеквадратичного отклонения непрозрачности и белизны СІЕ при помощи спектрофотометра. Для каждой отливки определяли в 25 точках непрозрачность и белизну СІЕ с последующим расчетом среднеквадратичного отклонения от этого показателя. Оценка образцов происходила следующим образом: чем ниже значение среднеквадратичного отклонения, тем лучше равномерность структуры отливки.

Морфологические свойства волокна после размола при разных концентрациях представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Морфологические свойства хлопковой целлюлозы при размоле при концентрации 4 – 5 г/л

Характеристика волокна	Хлопок 5 г/л			Хлопок 4 г/л		
	2 мин	4 мин	6 мин	2 мин	4 мин	6 мин
Средневзвешенная длина, мм	1,72	1,50	1,36	1,57	1,45	1,38
Ширина волокна, мкм	24,2	25,5	26,4	23,9	25,9	26,8
Угол изгиба (гр.)	127	129	130	126	129	130
Процент изогнутых волокон, %	66,7	59,7	54,6	63,0	58,1	55,4
Скручиваемость, %	19,1	15,9	14,6	18,2	16,0	15,0
Степень фибрилляции, %	0,619	0,893	1,279	0,634	0,949	1,263
Содержание мелочи, %	3,32	6,19	5,95	7,46	5,23	5,28

Таблица 2 – Морфологические свойства хлопковой целлюлозы при размоле при концентрации 2 – 3 г/л

Характеристика волокна	Хлопок 3 г/л			Хлопок 2 г/л		
	2 мин	4 мин	6 мин	2 мин	4 мин	6 мин
Средневзвешенная длина, мм	1,45	1,42	1,30	1,52	1,31	1,25
Ширина волокна, мкм	24,3	26,1	27,5	25,1	27,0	27,1
Угол изгиба (гр.)	126	129	130	127	129	130
Процент изогнутых волокон, %	60,3	57,9	53,0	63,5	56,6	54,1
Скручиваемость, %	17,3	15,7	14,5	18,1	15,3	14,9
Степень фибрилляции, %	0,728	1,058	1,514	0,762	1,237	1,472
Содержание мелочи, %	10,57	6,22	5,49	8,65	7,43	8,05

Как можно видеть из данных, представленных в таблицах, при всех концентрациях волокна при размоле наблюдается снижение средневзвешенной длины, что вполне ожидаемо. Но при этом наибольшее снижение показателя средневзвешенная длина наблюдается при концентрации размола 2 г/л. Такие результаты подтверждают литературные данные [4] – при низких концентрациях размола в большей степени происходит рубка волокна, а не его фибриллирование. С увеличением времени размола при всех концентрациях наблюдается

увеличение ширины волокна, при этом у концентраций 2 – 3 г/л наблюдается наибольшее увеличение.

Показатель угол изгиба волокон при всех концентрациях растет, а процент изогнутых волокон падает и достигает примерно одинакового значения при 6 минутах размола, как и скручиваемость, по причине того, что волокно выпрямляется в процессе размола.

Несмотря на то, что при концентрации ниже 3 г/л волокно больше укорачивается, при этом наблюдается сильное повышение степени фибрилляции волокна, что, скорее всего, обусловлено устройством ролла и его гарнитурой, т.к. ролл предназначен для проведения процесса фибрилляции волокна и тем самым придания ему бумагообразующих свойств.

Результаты оценки просвета отливок группой экспертов представлены в таблице 3.

Установлено, что наиболее равномерную структуру имеют отливки, полученные из массы с концентрацией волокна при размоле 2 – 3 г/л.

Оптические свойства лабораторных отливок представлены в таблице 4.

Анализ полученных данных показал, что с увеличением времени размола и снижением концентрации хлопковой целлюлозы уменьшается колебание величины непрозрачности и белизны СІЕ отливки (среднеквадратичное значение), что обусловлено улучшением просвета и равномерностью структуры (хорошее формование отливок), что заметно и на фото отливок (табл. 3). Видно, что отливки, полученные из массы, размолотой при концентрации 2–3 г/л и времени размола 6 минут, имеют самый равномерный просвет.

Таблица 3 – Распределение баллов при оценке качества формования отливки по визуальному методу

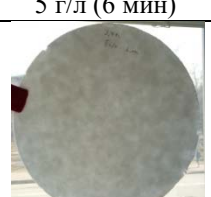
	Отливки (240 г/м²) из массы при разной концентрации размола и времени		
Концентрация массы и время размола	2 г/л (2 мин)	2 г/л (4 мин)	2 г/л (6 мин)
Изображение отливки			
Среднее значение баллов	2,5	4,7	6,0
Концентрация массы и время размола	3 г/л (2 мин)	3 г/л (4 мин)	3 г/л (6 мин)
Изображение отливки			
Среднее значение баллов	2,3	5,0	6,2
Концентрация массы и время размола	4 г/л (2 мин)	4 г/л (4 мин)	4 г/л (6 мин)
Изображение отливки			
Среднее значение баллов	2,5	4,2	5,7
Концентрация массы и время размола	5 г/л (2 мин)	5 г/л (4 мин)	5 г/л (6 мин)
Изображение отливки			
Среднее значение баллов	2,5	4,3	5,8

Таблица 4 – Оптические свойства отливок из хлопковой целлюлозы массой 240 г/м²

Оптические свойства	Хлопок 2 г/л			Хлопок 3 г/л		
	2 мин	4 мин	6 мин	2 мин	4 мин	6 мин
Белизна CIE, %	69,25	70,18	66,84	70,91	71,14	71,93
Среднеквадратичное отклонение от значения белизны CIE	1,43	0,49	0,40	1,46	0,97	0,4
Непрозрачность, %	99,28	99,60	99,64	100,40	99,06	99,74
Среднеквадратичное отклонение от значения непрозрачности	4,29	1,38	1,15	3,36	2,61	1,03
Оптические свойства	Хлопок 4 г/л			Хлопок 5 г/л		
	2 мин	4 мин	6 мин	2 мин	4 мин	6 мин
Белизна CIE, %	67,19	70,78	72,42	63,76	67,11	68,99
Среднеквадратичное отклонение от значения белизны CIE	1,84	1,17	0,81	2,09	0,99	0,36
Непрозрачность, %	98,69	99,60	99,74	99,55	99,15	99,24
Среднеквадратичное отклонение от значения непрозрачности	3,64	2,97	1,25	6,03	3,24	1,54

Таким образом, визуальный и оптический способ оценки равномерности структуры отливок подтверждают друг друга.

Выводы:

1. Изучено влияние концентрации хлопковой целлюлозы при размоле на морфологию волокна.
2. Показано влияние концентрации и времени размола хлопковой целлюлозы на формирование структуры ЦКМ.
3. Показано, что для достижения равномерного просвета ЦКМ, невысокой степени фибрилляции волокна и содержания мелкого волокна необходимо проводить размол при концентрации 2-3 г/л и времени размола 6 минут.

Список литературы

1. US Patent 5496562, Int. Cl. A61K 9/14. Solid medium and method for dna storage / Burgoyne L. A.; Assignee: Flinders Technologies Pty Ltd, Bedford Park, Australia. 30.11.1993; Date of Patent: 05.03.1996.
2. Dash H. R., Shrivastava P., Das S. Principles and Practices of DNA Analysis: A Laboratory Manual for Forensic DNA Typing. Humana Press, Springer Science+Business Media LLC, part of Springer Nature, 2020. 344 p.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
4. Фляте Д. М. Свойства бумаги: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 384 с.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF COTTON CELLULOSE REFINING ON THE MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF THE FIBER AND THE STRUCTURE OF THE CELLULOSIC COMPOSITE MATERIAL FOR THE COLLECTION AND STORAGE OF BIOLOGICAL SUBSTANCES

V. N. Seleznev*, L. G. Makhotina

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia
E-mail: b.seleznjov@yandex.ru

One of the promising methods for collecting and storing biomaterial is the use of a chemically treated cellulosic composite carrier material. The paper presents the relevance of the research area, the results of studying the morphological properties of cotton fiber after refining at different concentrations, and also shows the effect of the fiber concentration during grinding on the structure of laboratory castings imitating a cellulose composite material.

Keywords: *cotton cellulose, fiber morphology, refining, structure handsheet, cellulosic composite material.*

References

1. Burgoyne L. A. *Solid medium and method for DNA storage*. US Patent no. 5496562, 1996.
2. Dash H. R., Shrivastava P., Das S. *Principles and Practices of DNA Analysis: A Laboratory Manual for Forensic DNA Typing*. Humana Press, Springer Science+Business Media LLC, part of Springer Nature, 2020, 344 p.
3. *Pulp and paper production technology. Production of paper and cardboard. Part 1. Technology of production and processing of paper and cardboard*. vol. 2, SPb.: Polytechnic, 2005. 423 p. (In Russian).
4. Flyate D. M. *Properties of paper: A textbook*. St. Petersburg: Publishing company "Lan", 2012. 384 p. (In Russian).

УДК 681.58
ГРНТИ 50.13.13

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ В СКРУББЕРЕ ВЕНТУРИ С РАЗРАБОТКОЙ САУ РАСХОДОМ ОРОШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

И. А. Ашихмина, М. О. Слюта*

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

Одной из основных задач автоматизации скрубберов Вентури является автоматизация работы поддержания постоянной скорости поступающих газов и дозировка орошающей жидкости. Экономичность процесса очистки дымовых газов достигается не только при сохранении соответствия между расходом поступающего газа и расхода орошающей жидкости, но и при соблюдении концентрации отходящих газов на выходе каплеуловителя при оптимальном значении.

Цель научно-исследовательской работы: снизить затраты на расход воды и увеличить эффективность очистки газа с помощью поддержания концентрации отходящих газов на выходе каплеуловителя при оптимальном значении.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, комплекс технических средств, содорегенерационный котел, расход орошающей жидкости, концентрация отходящих газов, операторская станция.*

Автоматизация технологических процессов на сегодняшний день очень распространена абсолютно во всех сферах и областях и является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Все существующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащаются средствами автоматизации. Создание эффективной автоматизированной системы технологического процесса является очень важной и сложной задачей [1].

Одной из основных задач автоматизации скрубберов Вентури является автоматизация работы поддержания постоянной скорости поступающих газов и дозировка орошающей жидкости. Регулирование экономичности процесса очистки дымовых газов осуществляется по схеме «газ – вода». В этом случае расход воды изменяется системой автоматического регулирования (САУ) пропорционально расходу поступающего на очистку газа.

Экономичность процесса очистки дымовых газов достигается не только при поддержании соответствия между расходом поступающего газа и расхода орошающей жидкости, но и при обеспечении соответствующей концентрации отходящих газов на выходе каплеуловителя при оптимальном значении. Это способствует снижению затрат на расход воды и увеличение эффективности очистки газа в аппарате.

Промышленные выбросы, загрязняющую атмосферу, могут содержать твердые и жидкие частицы, а также вредные газообразные компоненты. Процессы очистки выбросов от этих частиц основаны на свойствах аэрозолей (пыли, дыма, тумана), закономерностях их движения и осаждения.

На значительном числе содорегенерационных котлоагрегатов (СРК) за электрофильтрами установлены скрубберные устройства, являющиеся второй ступенью очистки газов. Скрубберы позволяют уменьшить выброс в атмосферу диоксида серы, а при определенных условиях и сероводорода, и одновременно более грамотно использовать тепло уходящих газов.

Основным показателем эффективности функционирования скруббера Вентури является степень очистки отходящих от СРК дымовых газов, содержащих вредные вещества. Концентрация пылевых частиц на выходе аппарата должна быть не более $4-6 \text{ г/м}^3$. Основным параметром, влияющим на степень очистки газов, является расход орошающей жидкости. Уменьшение орошения приводит к снижению степени улавливания уноса в скруббере и снижению эффективности его работы. Для увеличения эффективности функционирования скруббера Вентури была предложена модернизация процесса очистки уходящих газов с разработкой системы автоматического управления расходом орошающей жидкости.

Система автоматизации процесса очистки дымовых газов в скруббере Вентури должна выполнять:

- измерение: концентрации дымовых газов на входе и выходе, расхода орошающей жидкости, расхода дымовых газов, давление орошающей воды;
- автоматическое регулирование расхода орошающей жидкости, концентрации дымовых газов на выходе;
- автоматическое управление клапаном подачи орошающей жидкости.

На операторской станции должно быть обеспечено дистанционное управление оператором: расходом орошающей жидкости, приводом клапана подачи орошающей воды. Также должны быть разработаны сигнализация предельных положений регулирующего органа на трубопроводе подачи орошающей воды (открыто – закрыто) и аварийное отключение скруббера при недопустимом повышении концентрации газов на выходе более $4-6 \text{ г/м}^3$, недопустимом понижении расхода орошающей воды менее $800 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Перечень контролируемых и регулируемых параметров процесса очистки дымовых газов в скруббере Вентури представлены в таблице ниже.

Таблица – Перечень контролируемых и регулируемых параметров процесса очистки дымовых газов в скруббере Вентури

Наименование параметра	Номинальное значение	Диапазон изменения
Концентрация пылевых частиц, г/м ³	5	± 1
Расход орошающей воды, м ³ /ч	950	± 50
Давление орошающей воды, МПа	0,25	± 0,05
Расход дымовых газов, м ³ /ч	2000	± 50

На концентрацию пылевидных частиц в дымовых газах на выходе из скруббера оказывает влияние как расход дымовых газов, так и расход орошающей воды. Из данных параметров управлению подлежит расход орошающей воды, который можно регулировать при помощи клапана, установленного на соответствующий трубопровод. Расход дымовых газов при этом измеряется, и в случае его значительных флуктуаций расход орошающей воды также будет изменяться.

Алгоритмическая схема предлагаемой САУ расходом орошающей жидкости приведена на рисунке 1.

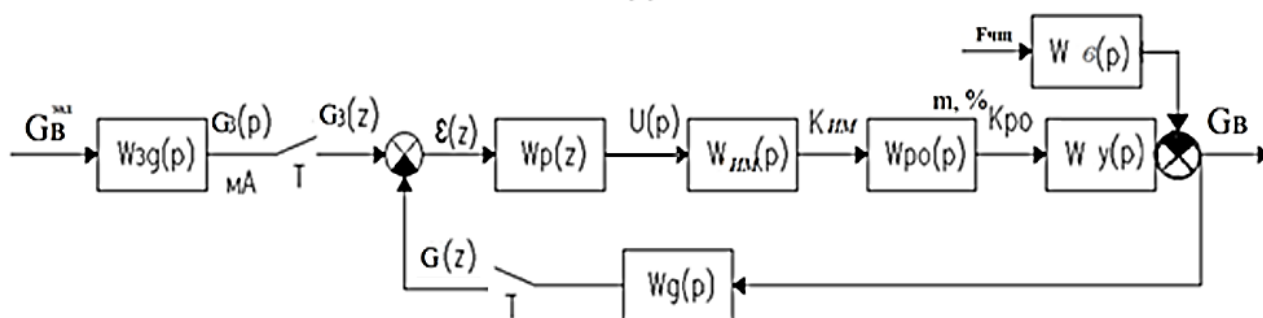


Рисунок 1 – Алгоритмическая схема цифровой САУ расходом орошающей жидкости

Комплекс технических средств (КТС) АСУТП объекта управления включает в себя: измерительные и исполнительные устройства, контроллерное оборудование, коммутационную аппаратуру, а также системы сигнализации и вспомогательное оборудование.

Для реализации функций контроля и управления технологическим оборудованием в данном объекте управления используется программно-логический контроллер (ПЛК) SIMATIC S7-400. Распределенный ввод/вывод реализован на станциях ET200M.

В качестве датчиков перепада давления, а также и измерения расхода методом переменного перепада давления выбран преобразователь давления измерительный Rosemount 3051. Для измерения уровня выбран интеллектуальный буйковый уровнемер серии Foxboro 244LD. Для измерения температуры используется термопреобразователь сопротивления Метран-2700 с унифицированным выходным сигналом. В качестве исполнительного механизма выбран клапан «Samson».

Для автоматической системы регулирования концентрации пыли на выходе из скруббера Вентури будет использован датчик Dusthunter T100, т.к. он является наиболее точным, имеет автоматическую калибровку нулевой и контрольной точки.

Регулирование экономичности процесса очистки дымовых газов осуществляется по схеме «газ-вода», с корректировкой концентрации отходящих газов. В этом случае расход воды изменяется системой автоматического регулирования пропорционально расходу приходящих дымовых газов на очистку. Измерительный анализатор отходящих газов регистрирует значения и вносит поправки в систему очистки газов. Измерение расхода газообразной и жидкой среды обычно производится достаточно точно, поэтому схема «газ-

вода», наряду с простотой исполнений и надежностью, обеспечивает также экономическое ведение процесса очистки дымовых газов (рис. 2).

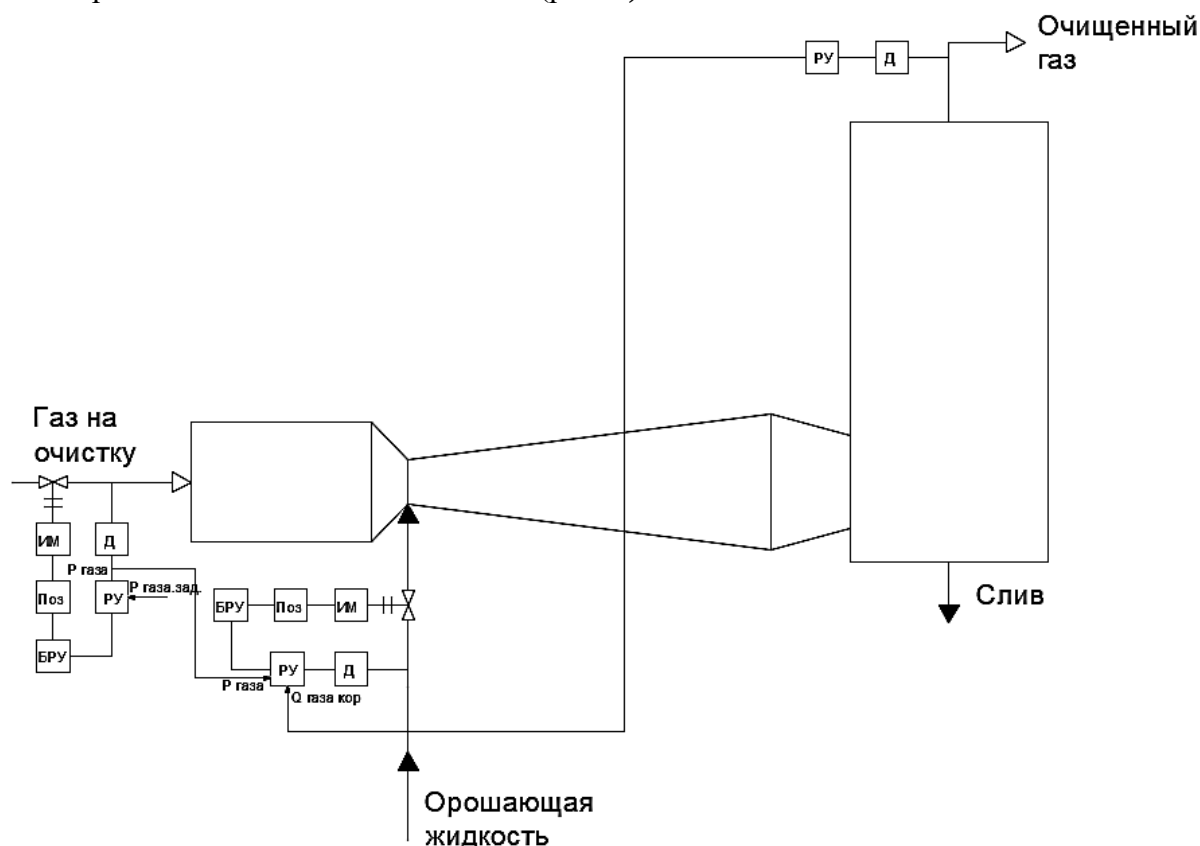


Рисунок 2 – Схема совмещенной АСР по газу и воде с корректировкой по концентрации отходящих газов

Расход газа измеряется датчиком $P_{\text{газ}}$, а расход воды датчиком $P_{\text{воды}}$. Сигналы датчиков расхода воды и газа, а также корректирующий сигнал с датчика концентрации отходящих газов алгебраически суммируются в регулирующем устройстве РУ, которое в соответствии с заданным сигналом воздействует через исполнительный механизм на регулирующий орган [2].

В результате выполнения научной работы была разработана система автоматического управления очистки дымовых газов в скруббере Вентури, решением которой выступает снижение затрат на расход воды и увеличение степени очистки дымовых газов согласно требованиям технического регламента ПДВ.

Список литературы

1. Суриков В. Н. Технические средства автоматизации технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. 98 с.
2. Буйлов Г. П. Автоматика и автоматизация производственных процессов целлюлозно-бумажного производства: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию, СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. 100 с.

MODERNIZATION OF THE FLUE GAS CLEANING PROCESS IN THE VENTURI SCRUBBER WITH THE DEVELOPMENT OF THE SAU IRRIGATION FLUID FLOW RATE

I. A. Ashihmina, M. O. Slyuta*

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

E-mail: marina_slyuta@mail.ru

One of the main objectives of Venturi scrubber automation is to automate the operation of maintaining a constant incoming gas flow rate and dosing the irrigation liquid. Efficiency of flue gas cleaning process is achieved not only by maintaining the correspondence between the incoming gas flow rate and the irrigation liquid flow rate, but also by maintaining the concentration of waste gases at the outlet of the drift eliminator at the optimum value.

Objective of the research work: to reduce the cost of water consumption and increase the efficiency of gas purification by maintaining the concentration of waste gases at the outlet of the droplet eliminator at the optimum value.

Keywords: *automation of technological processes, set of technical means, recovery boiler, irrigation liquid flow rate, waste gas concentration, operator's station.*

References

1. Surikov V. N. *Tekhnicheskie sredstva avtomatizacii tekhnologicheskikh processov i proizvodstv.* SPb.: Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, 2020, 98 p. (In Russian).
2. Bujlov G. P. *Avtomatika i avtomatizaciya proizvodstvennykh processov cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva.* SPb.: Higher School of Technology and Energy of SPbSUITD, 2019, 100 p. (In Russian).

МАТЕРИАЛЫ

III Международной научно-технической конференции
молодых учёных и специалистов ЦБП

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

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

2022 • Том 1

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

Темплан 2021 г., поз. 5304/21

Подписано к печати 19.07.2022.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 5,6.	Уч.-изд. л. 5,6.
Тираж 20 экз.	Изд. № 5304/21.	Цена «С».
		Заказ №

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