

УДК 579.66

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

© Э.Ш. Акбулатов, А.В. Любяшкин, И.Н. Павлов, Р.А. Марченко*, Ю.Д. Алашкевич

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия),
e-mail: marchenkora@sibsau.ru*

Специальный выпуск журнала «Химия растительного сырья» издается по случаю 90-летия Сибирского государственного технологического университета и 60-летия Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнёва. В 2016 году в г. Красноярске был создан Опорный университет – ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» путем объединения этих двух крупнейших высших учебных заведений.

В статье представлены краткая историческая справка, основные направления педагогической и научной деятельности кафедры машин и аппаратов промышленных технологий. Представлены основные направления и перспективы работы созданной на базе кафедры научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья», связанные с решением проблем глубокой комплексной переработки растительного сырья.

Ключевые слова: делигнификация, ректификация, микрокристаллическая целлюлоза, вихревая ступень, коэффициент массоотдачи, размол, волокнистый полуфабрикат, пероксид водорода, сорбенты, биомасса дерева.

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

Введение

В 2016 году в Красноярске был создан Опорный университет, единственный в Красноярском крае – ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва». Создание такого университета было осуществлено Министерством образования и науки Российской Федерации путем объединения двух вузов, работавших самостоятельно в г. Красноярске до их объединения.

Один из вузов – Сибирский государственный технологический университет, которому в текущем году исполнилось 90 лет с момента его основания. Этот вуз был первым и единственным институтом в г. Красноярске, осуществляющим подготовку специалистов с высшим образованием. Второй вуз – Сибирский государственный аэрокосмический университет, которому в текущем году исполнилось 60 лет с момента его основания.

В настоящее время коллектив объединенного Опорного университета функционирует как единое целое. Результатом являются серьезные положительные изменения в работе объединенного вуза. Увеличилось

Акбулатов Эдхам Шукриевич – ректор, кандидат технических наук, тел. (391) 264-00-14,
e-mail: akbulatov_esh@sibsau.ru

Любяшкин Алексей Викторович – директор Института химических технологий, кандидат химических наук, тел. (391) 227-66-00, e-mail: lyubyashkinav@sibsau.ru

Павлов Игорь Николаевич – доктор биологических наук, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, тел. (391) 227-36-54,
e-mail: forester24@mail.ru

Окончание на С. 310.

число индустриальных партнеров со стороны промышленных предприятий. Seriously активизировалась работа коллектива в расширении и углублении научных исследований и другие изменения. Причем появились новые научные темы на стыке ранее обособленных научных направлений.

Благодаря инициативе отдельных коллективов вуза, в частности, Ресурсного центра коллективного пользования «Космические аппараты и си-

* Автор, с которым следует вести переписку.

стемы», кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Института химических технологий, кафедры лесоводства, охраны и защиты леса Института лесных технологий, коллективы вуза приняли участие в конкурсе по научным исследованиям, проводимым Минобрнауки РФ, и выиграли этот конкурс.

В результате вуз получил три научные лаборатории с финансированием от Минобрнауки РФ, а именно: «Интеллектуальные материалы и структуры», «Глубокой переработки растительного сырья» и «Защиты леса».

Одна из лабораторий – «Глубокой переработки растительного сырья» – создана на базе двух кафедр Института химических технологий, в частности: кафедры машин и аппаратов промышленных технологий (МАПТ) и кафедры химической технологии древесины и биотехнологии (ХТД).

Коллектив этой лаборатории состоит в основном из молодых ученых, магистрантов и аспирантов. Вместе с тем в работе лаборатории участвуют маститые ученые, среди которых два доктора наук, профессора кафедры машин и аппаратов промышленных технологий – Пен Роберт Зусьевич и Войнов Николай Александрович. Руководителем лаборатории назначен кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Марченко Роман Александрович.

Краткая справка о кафедре машин и аппаратов промышленных технологий

Кафедра создана приказом Министра МВ и ССО РСФСР от 11.02.1962 № 351 с целью подготовки инженеров-механиков для быстроразвивающихся химической и целлюлозно-бумажной промышленностей Сибири и Дальнего Востока. Потребность в специалистах данного профиля не ослабевает до настоящего времени.

Организатором и первым заведующим кафедрой был к.т.н., доцент Ф.Г. Шухман, который руководил кафедрой до 1965 года. С 1965 по 1970 год кафедру возглавлял доцент В.В. Свидерик. С 1971 по 1981 год, с 1986 по 1994 год и с 2000 по 2020 год кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.Д. Алашкевич. С 1981 по 1986 год кафедрой руководил к.т.н., профессор В.Ф. Харин, с 1994 по 2000 год – к.т.н., профессор Г.П. Кабанов.

Первый выпуск инженеров-механиков по специальности 150405 (в то время – 0558, затем – 170404) «Машины и оборудование лесного комплекса» (специализация «Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства») состоялся в 1964 году, в количестве 16 человек.

Выпуск специалистов по специальности 240801 (0516) произведен в 1967 г. (28 человек). В связи с очень большой потребностью специалистов специальности 240801 были открыты вечерняя и заочная формы обучения.

С 1987 года начата подготовка специалистов специальности 050501 (ранее – 030500) – «Профессиональное обучение» («Аппараты, приборы, оборудование и автоматизация химических производств»).

В 1994 году на кафедре была открыта специальность «Машины и аппараты пищевых производств».

С учетом расширения количества специальностей, в 1994 году кафедра была переименована: «Машины и аппараты промышленных технологий» (МАПТ).

В 2009 году открыта специальность «Оборудование нефтегазопереработки» очной и заочной форм обучения. Кафедра МАПТ готовит специалистов в области конструирования и технологического обслуживания аппаратов нефтегазопереработки.

С 2014 г., после реорганизации, к кафедре МАПТ присоединилась кафедра технологии целлюлозно-бумажного производства. В результате на объединенной кафедре МАПТ появилась новая специальность «Технология целлюлозно-бумажного производства». Обучение по этой специальности осуществляется по очной и заочной формам.

В настоящее время кафедра осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлениям 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 18.03.01 «Химическая технология» и 44.03.04 «Профессиональное обучение» (по отраслям) для различных отраслей промышленности выпускается 90 – 120 специалистов.

Марченко Роман Александрович – и.о. заведующего кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий, кандидат технических наук, тел. (391) 290-42-92, e-mail: marchenkora@sibsau.ru

Алашкевич Юрий Давыдович – доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, тел. (391) 227-36-54, e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

Объединенная кафедра достигла серьезных результатов, как в области учебного процесса, так и в научных исследованиях.

Остепененность профессорско-преподавательского состава кафедры приблизилась к 100%.

Профессору Юрию Давыдовичу Алашкевичу в 2016 г. присвоено ученое звание члена-корреспондента Российской государственной академии образования. В 2019 году профессор Ю.Д. Алашкевич стал академиком РАО.

В 2019 году создана научная лаборатория «Глубокой переработки растительного сырья». Сотрудниками лаборатории являются представители кафедр МАПТ и ХТД.

На кафедре МАПТ открыта аспирантура и докторантура по специальности 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины». Профессоры кафедры МАПТ являются членами диссертационных советов по защитах кандидатских и докторских диссертаций.

подавляющее число преподавателей кафедры МАПТ являются выпускниками этой кафедры.

Содержание исследований научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья»

В связи с тем, что большая часть хвойных пород древесины сосредоточена на территории Красноярского края, проблема рационального и комплексного использования лесных ресурсов актуальна. Для успешного решения задач требуется модернизация, совершенствование действующих производств, разработка новых технологических процессов, создание энерго- и материальносберегающих технологических схем, расширение ассортимента выпускаемой продукции.

Обладая уникальным химическим составом, биомасса дерева может быть использована в качестве сырья для получения широкой гаммы продуктов.

Используемые в настоящее время промышленные технологии химической переработки растительного сырья энергоемки и неблагоприятны в экологическом отношении. В частности, производство целлюлозы из растительного сырья базируется на использовании реагентов, в состав которых входят соединения серы и хлора, неизбежно попадающие в сточные воды и газовые выбросы, процессы протекают при высоких температурах (до 180 °С) и требуют высокого расхода тепловой энергии. Предполагается разработка экологически чистого и энергосберегающего способа делигнификации растительного сырья (древесины и стеблей однолетних растений) без использования серы и хлорсодержащих соединений, реализуемого при температурах ниже 100 °С и при атмосферном давлении. Принцип, лежащий в основе разрабатываемой технологии, защищен патентами РФ, заявитель и патентообладатель – СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

Наноцеллюлоза – мелкодисперсный продукт, кристаллиты микрофибрилл целлюлозы (без аморфной части), порошок модифицированной природной (волокнистой) целлюлозы. В древесине масса целлюлозы составляет 40–50%; в камышах, злаках и подсолнечнике – 30–40%; в стеблях льна и джута – 75–90%, а в волокнах хлопка – 95%. Технологический процесс выделения целлюлозы состоит из ряда операций, из которых основное значение имеют варка (процесс разрушения или растворения нецеллюлозных компонентов путем сульфитной, натронной или сульфатной варки) и отбелка (обработка хлором, озоном или перекисью водорода для разрушения макромолекул лигнина) полученной целлюлозы. В зависимости от исходного целлюлозного материала и условий получения, средние размеры частиц различных видов МКЦ находятся в пределах от 1 до 400 мкм. В настоящее время микрокристаллическая целлюлоза служит сырьем не только целлюлозно-бумажного производства, объемы которого постоянно наращиваются, но и химической, медицинской, фармацевтической, пищевой и других отраслей народного хозяйства. К основным свойствам микрокристаллической целлюлозы относят: сверхпрочность, псевдопластичность и сверхлегкость. Она способна улучшать свойства самых разных материалов, делая возможным создавать материалы с качественно и количественно новыми характеристиками.

Процесс размола волокнистых полуфабрикатов в производствах получения бумаги, картона и древесноволокнистых плит является наиболее ответственным с точки зрения получения качественных показателей готовых изделий, возможности увеличения производительности технологических линий и снижения энергозатрат. Для решения поставленных задач предполагается исследование тепломассообменных процессов при течении волокнистых суспензий в рабочих органах размольных установок, при ножевом и безножевом способах размола. Актуальность проблемы заключается в разработке теоретических основ процессов глубокой переработки растительного сырья, позволяющих повысить производительность, качественные показатели готового продукта, экологическую безопасность производств.

Компоненты, получаемые при разделении скипидара, в настоящее время востребованы в промышленной практике для получения продуктов различного потребления. Новизной является очистка скипидара от примесей и разделение его на компоненты на опытной установке, изготовленной в металле при термической

ректификации в центробежном поле. Термическая ректификация обеспечивает высокое разделение смеси и апробирована авторами на практике.

Утилизация коры является слабым звеном в комплексной переработке растительного сырья. Несмотря на многочисленные исследования и конструктивные разработки, до настоящего времени нет обоснованной методики и соответствующего оборудования подготовки корьевых материалов к переработке, которые позволили бы осуществить возможность эффективного использования всей биомассы дерева.

Научная лаборатория располагается на территории кафедр машин и аппаратов промышленных технологий (МАПТ) и химической технологии древесины и биотехнологии (ХТД).

Коллектив научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» уже имеет научные заделы в совершенствовании технологии получения целлюлозы и процессов переработки биомассы растительного сырья с использованием ножевого и безножевого способов размола. Ими уже рассматривались недостатки в производстве целлюлозы из растительного сырья базирующиеся на использовании реагентов, в состав которых входят соединения серы и хлора, неизбежно попадающие в сточные воды и газовые выбросы. Получены предварительные данные по совершенствованию процесса размола волокнистых полуфабрикатов с использованием отдельных теоретических предпосылок, как при ножевом, так и при безножевом способах размола. В течение ряда лет проводились исследования в области гидродинамики и тепломассопереноса во вращающемся газожидкостном слое на контактных ступенях и в аппаратах. Разработаны оптимальные условия получения дубильных экстрактов и методы их облагораживания, переработки коры хвойных с получением полифенолов, сорбентов и других продуктов технического назначения, получения кормового и пищевого белка за счет биоконверсии растительного сырья. Проведен скрининг субстратов и микроорганизмов-продуцентов для получения биологически активных продуктов.

Результаты научных исследований коллектива лаборатории, полученные в предыдущие годы, обладают новизной по ряду позиций и будут использованы в ходе реализации настоящего исследования. Проект будет реализовываться в течение 5 лет, с 2019 по 2023 год.

Работа будет проходить при тесном и плодотворном сотрудничестве с Федеральным исследовательским центром «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН). Фундаментальная разработка теоретических основ глубокой химической переработки растительного сырья и их подтверждение результатами экспериментальных исследований, проводимых совместно с Институтом леса им. В.Н. Сукачева СО РАН и Институтом химии и химической технологии СО РАН позволит повысить производительность, качественные показатели готового продукта, экологическую безопасность производств.

Центр коллективного пользования КНЦ СО РАН будет задействован в работе по таким направлениям как:

- создание экологически чистой и энергосберегающей технологии получения целлюлозы в целлюлозно-бумажном производстве;
- получение наноцеллюлозы;
- разработка основ теории, процессов химической переработки биомассы древесины и возобновляемого растительного сырья с элементами совершенствования оборудования в целлюлозно-бумажном производстве и производстве ДВП;
- переработка коры хвойных с получением полифенолов, сорбентов и других продуктов технического назначения;
- биоконверсия растительного сырья с получением кормового и пищевого белка, получение биологически активных веществ из вегетативной части древесных растений.

Планируемые результаты

Новые представления о гидродинамике течения волокнистых суспензий в рабочих органах размалывающих машин и течения газожидкостной смеси в поле центробежного воздействия. Результаты обоснования механизма гидродинамики течения волокнистых суспензий и разрушения волокна, а также закономерности тепло- и массопереноса во вращающемся газожидкостном слое при термической ректификации. Теоретический анализ построения рабочих органов размольных установок, расчет усилий воздействия на волокнистый полуфабрикат при контакте ножей ротора с ножами статора в ножевых размольных установках, построение основных моделей процесса размола волокнистых полуфабрикатов. Повышение качественных характеристик готовой продукции в целлюлозно-бумажном производстве и производстве ДВП.

Модель процесса гидродинамики и тепломассопереноса на контактной ступени, экспериментально исследовать гидродинамику, массообмен и тепломассобмен во вращающемся газо-жидкостном слое, разработать технологическую схему очистки разделения скипидара, разработать колонну термической ректификации во вращающемся газожидкостном слое.

Новые методы делигнификации растительного сырья при производстве целлюлозы, выполнить лабораторные эксперименты по обработке технологии делигнификации древесины и соломы с использованием пероксида водорода и катализаторов, математически смоделировать и оптимизировать разработанный процесс, изучить потребительские свойства получаемых продуктов.

Получение микрокристаллической целлюлозы с использованием технологии размола целлюлозы ножевым и безножевым способами.

Получение полифенолов, в том числе дубильных экстрактов и других продуктов технологического назначения (сорбентов, биопрепаратов и др.). Получение кормового и пищевого белка.

Практическая польза от реализации проекта

Полученные научные результаты имеют высокую актуальность для Красноярского края и Сибирского региона, так как они могут служить основой при создании безотходной технологии переработки биомассы дерева с получением высококачественного продукта с заданными свойствами.

Проблемы использования древесины в лесном комплексе заключаются в том, что Красноярский край и Сибирский регион в целом обладают большими объемами не востребуемых древесных ресурсов в виде отходов производства, малоценных пород древесины и древесины, поврежденной вредителями. При этом в 2019 году объем образовавшихся древесных отходов на территории Красноярского края от деревообрабатывающей деятельности составил более 4 млн куб. м. Объем перерабатываемых отходов от лесопереработки составляет около 1,5 млн куб. м, или 37%, а оставшиеся отходы остаются не востребуемыми. На сегодняшний день большая часть продукции предприятий лесной отрасли края экспортирует продукцию с минимальной переработкой в виде лафета, бруса, доски. Крупнейшим потребителем продукции в 2018-2019 гг. являлся Китай. В настоящее время ситуация на мировом рынке нестабильная и крайне актуально повышение доли глубокой переработки. В ближайшем будущем в Красноярском крае планируется к запуску ряд инвестиционных проектов в области лесного комплекса, включая глубокую переработку растительного сырья.

Результаты лабораторных исследований процессов переработки древесины, поврежденной насекомыми-вредителями, позволят перерабатывать эту древесину по оптимальной технологии в целлюлозно-бумажную продукцию, очистить территории, занятые пораженным лесостоем, расширить сырьевую базу действующих и строящихся лесохимических предприятий Красноярского края и Иркутской области. Изучение процессов варки древесины позволит скорректировать технологические процессы производства целлюлозно-бумажной продукции на строящихся предприятиях с учетом особенностей сырьевой базы этих предприятий.

Поступила в редакцию 21 июля 2020 г.

Принята к публикации 26 октября 2020 г.

Для цитирования: Акбулатов Э.Ш., Любяшкин А.В., Павлов И.Н., Марченко Р.А., Алашкевич Ю.Д. Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 309–314. DOI: 10.14258/jcprtm.2020048853.

*Akbulatov E.Sh., Lyubyashkin A.V., Pavlov I.N., Marchenko R.A.**, Alashkevich Yu.D. TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR CHEMICAL PROCESSING OF BIOMASS OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Krasnoyarskiy Rabochiy, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: forester24@mail.ru

A special issue of the journal "Chemistry of Plant Raw Materials" is published on the occasion of the 90th anniversary of the Siberian State Technological University and the 60th anniversary of the Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev. In 2016, the Reference University was created in Krasnoyarsk – Siberian State University of Science and Technology, by combining these two largest higher educational institutions.

The review article presents a brief historical reference, the main directions of pedagogical and scientific activity of the Department of Machines and Apparatus of Industrial Technologies. The main directions and prospects of work created on the basis of the department of scientific laboratory "Deep processing of plant raw materials" related to solving problems of deep complex processing of vegetal raw materials are presented.

Keywords: delignification, rectification, microcrystalline cellulose, vortex stage, mass recovery coefficient, grinding, fibrous semi-product, hydrogen peroxide, sorbents, wood biomass.

Received July 21, 2020

Accepted October 26, 2020

For citing: *Akbulatov E.Sh., Lyubyashkin A.V., Pavlov I.N., Marchenko R.A., Alashkevich Yu.D. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 309–314. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048853.

* Corresponding author.