



УДК 674.816

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

ЭКСТРАКЦИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

А.В. Сафина, канд. техн. наук, доц.

Н.Ф. Тимербаев, д-р техн. наук, проф.

Д.Ф. Зиятдинова, д-р техн. наук, проф.

Г.Р. Арсланова, магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: safin@kstu.ru, cpekgeu@gmail.com, ziatdinova2804@gmail.com, 94arslanovagulshat@mail.ru

В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях древесная зелень является отходом и не имеет полезного применения. Однако в ее состав входят компоненты, которые можно использовать в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности. В данной статье рассматриваются способы и аппаратное оформление процессов экстрагирования ценных компонентов из зелени хвойных и лиственных пород, разработанных на кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета. В связи с тем, что древесная зелень, содержащая витамины и минералы, является сырьем для производства кормовой муки, нами была разработана и запатентована технология ее комплексной переработки с извлечением ценных компонентов водяным паром при температуре 165 °С. Готовыми продуктами, получаемыми с помощью данной технологии, являются кормовая мука и биологически активные вещества. Многие биологически активные вещества не устойчивы к высоким температурам, поэтому для их извлечения разработана установка переработки хвойного экстракта из древесной зеленой массы. Процесс происходит в цилиндрическом контейнере при температуре 40...50 °С, в качестве экстрагента используется перегретый пар, что обеспечивает максимальный выход биологически активных веществ. При экстракции количество экстрагента в несколько раз превышает количество сырья, в связи с этим предложена технологическая линия, которая позволяет применять его повторно. Основное оборудование данной линии: экстрактор, выпарные аппараты, конденсатор смешения, холодильная компрессорная установка и рекуперативный теплообменник. Представленные разработки позволяют рационально использовать лесосечные отходы с получением ценных компонентов и могут найти применение на предприятиях лесопромышленного комплекса.

Ключевые слова: экстракция, древесная зелень, экстрагент, эфирные масла, целлюлоза, автогидролиз, биологически активные вещества.

Введение

Лесосечные отходы содержат много ценных компонентов, среди которых эфирные масла, пигменты, витамины, микроэлементы, спирты, альдегиды, жирные кислоты, смолянистые вещества и т. д. Их извлечение осуществляется экстрагированием с помощью различных экстрагентов. Способы и аппаратное оформление процесса экстракции определяются свойствами извлекаемых компонентов.

Для цитирования: Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 109–119. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

Вопросами сепарации веществ экстракционным методом занимались Голдовский А.М., Аксельруд Г.А., Лысянский В.М., Гурьянов А.И. [1, 6, 8, 15]. Извлечению полезных компонентов из биомассы дерева посвящены работы Ягодина В.И., Юдкевича Ю.Д., Славянского А.К., Репях С.М., Колесниковой Р.Д., Канарского А.В. [14, 18, 27, 31, 32].

Объекты и методы исследования

Первые результаты работ по экстрагированию компонентов из древесной зелени в Казанском национальном исследовательском технологическом университете (КНИТУ) были опубликованы в 2008 г. [4]. Они были посвящены переработке древесной зелени хвойных пород водяным паром при избыточном давлении. Исследования, проведенные А.Е. Ворониным [17, 29] позволили рекомендовать аппаратное оформление установки для получения хвойного экстракта [8, 17].

В отработанном сырье содержится много питательных веществ и витаминов, поэтому оно является ценным сырьем для производства кормовых добавок. В связи с этим была разработана и запатентована комплексная технология переработки древесной зелени (ДЗ) [19]. Схема установки для ее осуществления представлена на рис. 1.

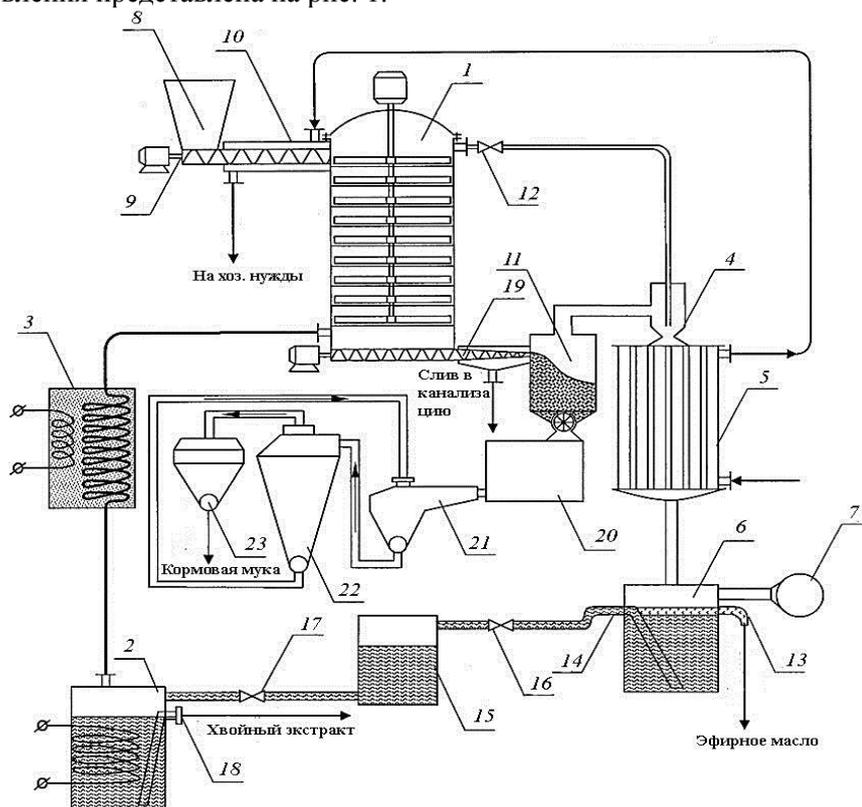


Рис. 1. Схема установки для комплексной переработки древесной зелени: 1 – тарельчатый экстрактор непрерывного типа; 2 – парогенератор; 3 – пароперегреватель; 4 – эжектор; 5 – конденсатор для отвода паров вскипания из буферного бункера с отработанной ДЗ; 6 – флорентина; 7 – вакуумный насос; 8 – загрузочная воронка; 9 – обогреваемое шнековое загрузочное устройство для подачи перерабатываемой ДЗ; 10 – рубашка загрузочного устройства; 11 – бункер отработанного сырья; 12, 16, 17 – вентили; 13, 14 – патрубки для отбора хвойного масла и флорентинной воды; 15 – бункер для флорентинной воды; 18 – патрубок для отбора хвойного экстракта; 19 – шнек-пресс для отжима и выгрузки отработанного сырья; 20 – сушилка кипящего слоя; 21 – измельчитель; 22 – воздушный сепаратор; 23 – дозатор готовой продукции

Установка, изображенная на рис. 1, работает следующим образом. ДЗ обрабатывается перегретым паром при давлении 0,4 МПа. Затем отработанное сырье сбрасывается в буферную емкость (бункер отработанного сырья) с атмосферным давлением. При этом оно за счет сброса давления разрыхляется и подсушивается. Окончательная сушка реализуется в сушилке кипящего слоя. После доизмельчения в ножевой мельнице (измельчителе) и сепарации в сепараторе полученная кормовая мука поступает на фасовку в дозатор. Флорентинная вода направляется в парогенератор, из которого сепарируется хвойный экстракт. Пар перед подачей в эжектор перегревается до 165 °С в пароперегревателе.

Результаты исследований по переработке ДЗ в этой установке были опубликованы ранее [3].

Поскольку хвоя представляет собой механически прочное гелеобразное тело с плотной оболочкой, то одним из путей интенсификации процесса извлечения ценных компонентов из нее является нарушение плотной оболочки измельчением и испарение заключенной в ней несвязанной жидкости. Конденсация испаренной жидкости позволяет получить экстракт высокой концентрации. Если при этом понижать остаточное давление среды и вести процесс при низких температурах, то появляется возможность сохранить многие биологически активные вещества и витамины. Для этого нами была разработана установка для получения хвойного экстракта из древесной зеленой массы (рис. 2), которая работает следующим образом.

Сырье в виде древесной зеленой массы загружается в бункер, откуда оно поступает в измельчитель. Измельченная хвойная древесная зеленая масса накапливается в буферной зоне контейнера, затем поступает в вакуумную зону. После заполнения вакуумной зоны древесной массой закрывается затвор 27 и включается вакуумный насос. Полые концентрические поверхности в вакуумной зоне нагреваются до температуры 40...50 °С. Биологически активные вещества из измельченной древесной зеленой массы, поступая в дополнительный холодильник, конденсируются и собираются в сборнике экстракта. После предварительного удаления части биологически активных веществ древесная зеленая масса направляется в экстракционную зону. После освобождения вакуумной зоны от древесной зеленой массы в нее загружается следующая порция из буферной зоны. В качестве экстрагента используется перегретый пар [18].

К экстракционным также можно отнести разработанные на кафедре переработки древесных материалов КНИТУ варианты модернизации процессов делигнификации древесины, при которых из древесной биомассы извлекаются все компоненты и остается лишь целлюлоза [7, 16, 20, 21, 33, 34]. Экстрагентом в этом случае является щелок, нагретый до температуры 165...175 °С. Процесс экстракции (варки) длится 4,0...4,5 ч. В результате из древесины получается рафинат (целлюлоза), экстракт идет на регенерацию в содорегенерационные котлы сжигания [39, 41, 42]. Дальнейшее совершенствование технологии делигнификации древесины отражено в публикациях Д.Ш. Гайнуллиной [5, 10, 25, 26].

Другим примером экстракционных процессов в деревопереработке являются процессы автогидролиза [9, 22, 35], применяемые для получения технической целлюлозы. Результаты исследований [11–13] по совершенствованию технологии процесса экстрактирования высокотемпературной паровзрывной обработкой обобщены в работах Д.Б. Просвирникова [24, 28, 38, 40].

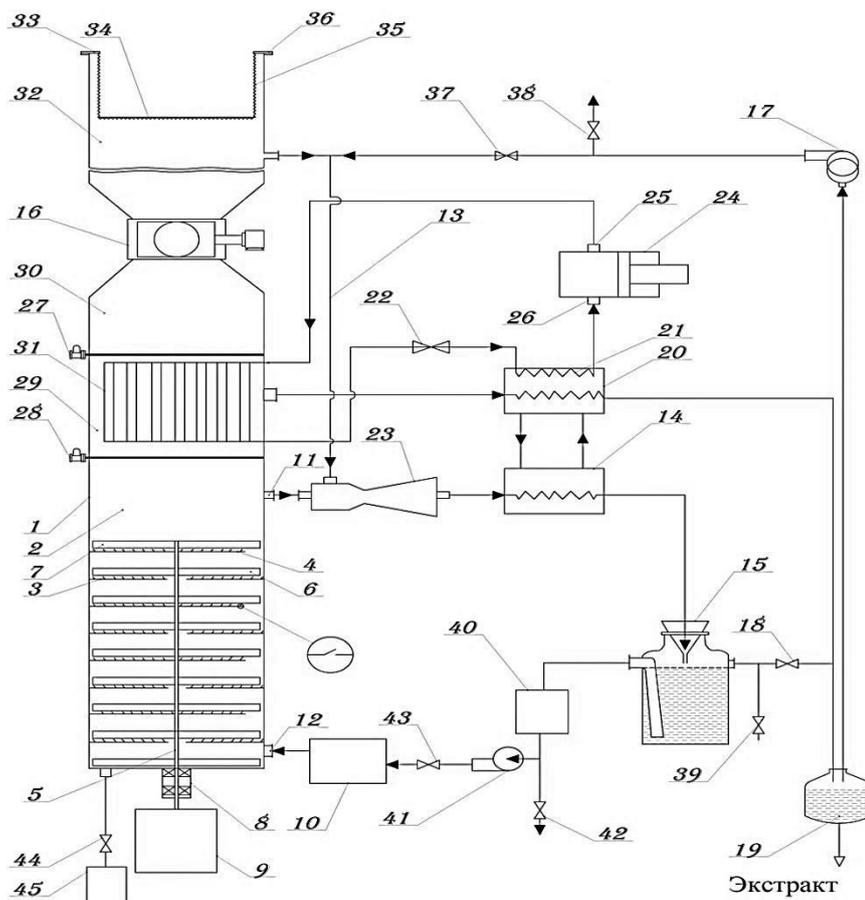


Рис. 2. Схема установки для получения хвойного экстракта из древесной зеленой массы: 1 – герметичный цилиндрический контейнер; 2 – экстракционная зона контейнера; 3, 4 – четные и нечетные перфорированные тарелки, установленные в нижней части зоны (выгрузочные отверстия в нечетных тарелках расположены на периферии и имеют форму сектора, в четных – в центре); 5 – ротор; 6, 7 – прикрепленные к ротору соответственно четные и нечетные лопастные мешалки S-образной формы, направленные в противоположные стороны; 8 – подшипниковый узел; 9 – привод; 10 – паровой котел для подачи пара в контейнер; 11–13 – паропроводы; 14 – кожухотрубчатый холодильник; 15 – флорентина; 16 – измельчитель; 17 – вакуумный насос; 18 – вентиль; 19 – сборник экстракта; 20 – дополнительный холодильник; 21 – испаритель, помещенный в кожух холодильника; 22 – дросселирующее устройство; 23 – эжектор; 24 – компрессор; 25, 26 – нагнетающие и всасывающие патрубки компрессора; 27, 28 – затворы; 29, 30 – вакуумная и буферная зоны контейнера; 31 – полые концентрические поверхности вакуумной зоны; 32 – бункер загрузочного устройства; 33 – крышка; 34 – диск; 35 – гофрированный газонепроницаемый рукав; 36 – фланцевое соединение для крепления крышки к бункеру; 37, 38, 39, 42–44 – вентили; 40 – емкость флорентинной воды; 41 – насос; 45 – сборник

В настоящее время популярным становится выделение из древесины биологически активных веществ [2, 18, 30, 36, 37], состав которых зависит от породы дерева. Все многообразие биологически активных веществ может быть разделено на вещества, выделяемые органическими растворителями (эфир, спирт и т. д.) и водой [23, 33, 38, 40, 43]. Выход биологически активных

веществ зависит от возраста дерева и времени года. При экстрагировании количество экстрагента в несколько раз превышает количество древесного сырья, поэтому актуален вопрос регенерации отработанного экстрагента.

В связи с этим была разработана технологическая линия процесса экстракции древесного сырья с одновременной регенерацией отработанного экстрагента (рис. 3).

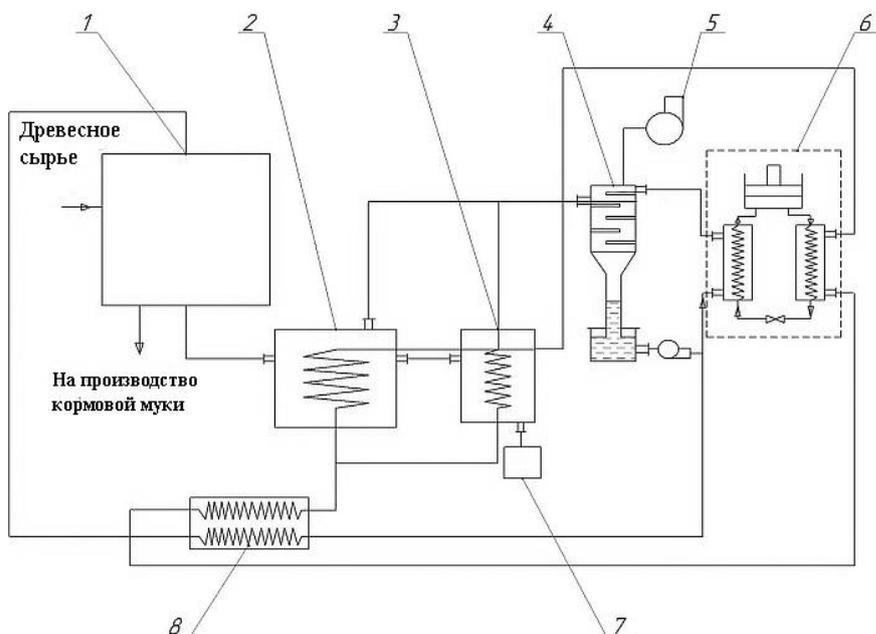


Рис. 3. Схема технологической линии процесса экстракции биологически активных веществ из древесины: 1 – экстрактор; 2, 3 – выпарные аппараты; 4 – конденсатор смешения; 5 – насос; 6 – компрессорная установка; 7 – сборник; 8 – рекуперативный теплообменник

Установка, приведенная на рис. 3, работает следующим образом.

В экстрактор загружается древесное сырье и экстрагент (этиловый спирт). Полученный экстракт выпаривается в две стадии: на первой – процесс происходит в выпарном аппарате под разрежением, которое создает конденсатор смешения, на второй – экстракт окончательно выпаривается в выпарном аппарате и собирается в сборнике. Одна часть паровой среды, удаленной и сконденсированной в конденсаторе смешения, с помощью компрессорной установки передает свое тепло на обогрев выпарных аппаратов, оставшаяся часть в качестве экстрагента подается через рекуперативный теплообменник на рециркуляцию в экстрактор с помощью насоса.

Заключение

Представленные разработки могут найти широкое применение на предприятиях лесопромышленного комплекса для извлечения ценных компонентов из древесной зелени и организации малотоннажных производств новых видов продукции. Развитие данных научных направлений и приведенных конструкций экстракционных аппаратов будет способствовать получению полезных веществ, необходимых в различных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело–жидкость. Л.: Химия, 1974. 256 с.
2. Арсланова Г.Р., Альмухаметов Р.С., Шакиров А.Р. Получение биологически активных веществ из древесины осины методом экстракции. Воронеж: ВГУИТ, 2016. 624 с.
3. Воронин А.Е. Установка для экстракции древесной зелени хвойных пород // Материалы междунар. форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI в.». Харьков, 2008. 137 с.
4. Воронин А.Е. Переработка древесной зелени хвойных пород водяным паром в среде избыточного давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 16 с.
5. Гайнуллина Д.Ш. Разработка технологии делигнификации активированной древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2015. 16 с.
6. Голодовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.
7. Гребинский С.О. Биохимия растений. Львов: Львов. ун-т, 1975. 278 с.
8. Гурьянов А.И. Моделирование и конструирование колонных интенсифицированных экстракторов на основе структурного подхода: автофер. дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 1996. 32 с.
9. Зиатдинова Д.Ф., Просвирников Д.Б., Сафин Р.Г., Байгильдеева Е.И. Комплексная переработка древесных отходов паровзрывным методом в аппарате высокого давления // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 2. С. 124–131.
10. Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Гайнуллина Д.Ш. Гипотетическая схема процессов физико-химической переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами вредных веществ в атмосферу // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 6. С. 43–46.
11. Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Извлечение примесей из древесноволокнистой массы, полученной при обработке лигноцеллюлозного материала высокотемпературным паровзрывным автогидролизом // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 70–77.
12. Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Исследование влияния высокотемпературной обработки на свойства продуктов, полученных методом паровзрывного гидролиза лигноцеллюлозного материала // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 58–66.
13. Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Разработка опытно-промышленной установки для разделения лигноцеллюлозного материала на компоненты методом высокотемпературного парового гидролиза // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 93–101.
14. Колесникова Р.Д., Тагильцев Ю.Г. Эфирные масла дальневосточных древесных растений. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1999. 288 с.
15. Лысянский В.М. Процесс экстракции сахара из свеклы. Теория и расчет. М.: Пищевая пром-сть, 1973. 224 с.
16. Пат. 2143044 Российская Федерация, МПК D 21 В 1/00, D 21 В 1/12. Реактор для непрерывного автогидролиза / Сафин Р.Г., Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Валиев Ф.Г., Просвирников Д.Б., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. Опубл. 27.02.2011, Бюл. № 6.
17. Пат. 2351642 Российская Федерация, МПК⁷ С 11 D 9/02. Установка для получения хвойного экстракта / Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Башкиров В.Н., Воронин Е.К., Тимербаев Н.Ф., Ахметова Д.А., Зиатдинова Д.Ф. Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
18. Пат. 2391408 Российская Федерация, МПК С 12 Q 1/25. Способ получения экстракта из растений рода *salix* / Каптина А.В., Канарский А.В., Шургин А.В. и др. Опубл. 10.06.2010, Бюл. № 22.

19. Пат. 2404238 Российская Федерация, МПК С 11 В 9/02. Способ комплексной переработки древесной зелени / Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Воронин Е.К., Кайнов П.А., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф. Оpubл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
20. Пат. 2425917 Российская Федерация, МПК D 21 С 3/02, D 21 С 11/06, В 01 D 53/48, В 01 D 53/52. Способ получения сульфатной целлюлозы / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. и др. Оpubл. 10.08.2011, Бюл. № 22.
21. Пат. 2437972 Российская Федерация, МПК D 21 С 3/02, D 21 С 3/26, D 21 С 11/00, D 21 С 11/04, D 21 С 11/06. Способ получения сульфатной целлюлозы / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. и др. Оpubл. 27.12.2011, Бюл. № 36.
22. Пат. 2464367 Российская Федерация, МПК D 21 В 1/36. Установка для получения технической целлюлозы взрывным методом / Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. и др. Оpubл. 20.10.2012, Бюл. № 29.
23. Пономарев В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М.: Медицина, 1976. 202 с.
24. Просвирников Д.Б. Совершенствование техники и технологии процесса высокотемпературной паровзрывной обработки древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 16 с.
25. Просвирников Д.Б., Ахметшин И.Р., Гайнуллина Д.Ш., Просвирникова Т.Д. Способы получения и области применения порошковой целлюлозы // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 17. С. 109–112.
26. Просвирников Д.Б., Ахметшин И.Р., Гайнуллина Д.Ш., Просвирникова Т.Д. Разработка аппаратного оформления технологии непрерывного получения порошковой целлюлозы // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2015. Т.18, № 11. С. 156–159.
27. Репях С.М., Рубчевская Л.П. Химия и технология переработки древесной зелени. Красноярск: КГТА, 1994. 320 с.
28. Салдаев В.А., Просвирников Д.Б. Конструкция гидрозатора в реакторе для паровзрывной обработки лигноцеллюлозного материала // Материалы 3-й Всерос. студен. науч.-техн. конф. «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология». Казань, 2012. С. 96–97.
29. Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Разумов Е.Ю. Установка для переработки отходов древесных производств // Вопр. соврем. науки и практики. 2009. № 5(19). С. 82–86.
30. Турецкова В.Ф., Лобанова И.Ю., Рассипова С.С., Таликова Н.М. Осина обыкновенная как перспективный источник получения препаратов противоязвенного и противовоспалительного действия // Бюл. сибирской медицины. 2011. Т.10, № 5. 340 с.
31. Юдкевич Ю.Д., Васильев С.Н., Ягодин В.И. Получение химических продуктов из древесных отходов. СПб.: СПбЛТА, 2002. 84 с.
32. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. Л.: ЛГУ, 1981. 244 с.
33. Al-Dajani W.W., Tschiner U.W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction // Tappi J. 2008. Vol. 7, iss. 6. Pp. 3–8.
34. Dietrich F., ed. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin; New York, Walter de Gruyter Publ., 1989. 613 p.
35. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions // Wood Research. 2012. Vol. 57, no. 4. Pp. 505–514.
36. Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and Its Possible Uses. Res. Note FPL; 091, 1971. 56 p.
37. Krasutsky P.A. Birch Bark Research and Development // Natural Product Reports. 2006. Vol. 23, no. 6. Pp. 919–942.
38. Liu Sh. Woody Biomass: Niche Position as a Source of Sustainable Renewable Chemicals and Energy and Kinetics of Hot-Water Extraction/Hydrolysis // Biotechnology Advances. 2010. Vol. 28, iss. 5. Pp. 563–582.

39. Mosier N., Wyman Ch., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass // *Biore-source Technology*. 2005. Vol. 96, iss. 6. Pp. 673–686.
40. Heiska S. The Yield and Cultivation Reliability of Herbal Willow: PhD Diss. Biology (PDF). Joensuu, Finland, 2007. 88 p.
41. Van Oijen D., Feijen M., Hommel P., den Ouden J., de Waal R. Effects of Tree Species Composition on Within-Forest Distribution of Understorey Species // *Applied Vegetation Science*. 2005. Vol. 8, iss. 2. Pp. 155–166.
42. Vakkilainen E. Chemical Recovery // *Chemical Pulping – Papermaking Science Technology*. Book 6B / Ed. by J. Gullichsen, C.-J. Fogelholm. Helsinki, Finland: Fapet Oy and Tappi Press, 1999. Ch. 11. 247 p.
43. Whigham D.F. Ecology of Woodland Herbs in Temperate Deciduous Forests // *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 2004. Vol. 35. Pp. 583–621.

Поступила 04.10.17

UDC 674.816

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

Extraction of Valuable Components from Forest Residues

A.V. Safina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

N.F. Timerbaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

D.F. Ziatdinova, Doctor of Engineering Sciences, Professor

G.R. Arslanova, Graduate Student

Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: safin@kstu.ru, cpekgeu@gmail.com, ziatdinova2804@gmail.com, 94arslanovagulshat@mail.ru

Currently, woody green is a waste and has no useful application in forestry enterprises. However, it includes components that can be used in the pharmaceutical, food and cosmetic industries. The paper discusses the methods and hardware design of extracting valuable components from green of coniferous and hardwood species developed at the Department of Wood Materials Processing at the Kazan National Research Technological University. Since woody green containing vitamins and minerals is a raw material for the production of feed flour, we have developed and patented the technology of its complex processing with the extraction of valuable components by water steam at a temperature of 165 °C. Feed flour and bioactive substances are the finished products obtained with the help of this technology. Many bioactive substances are not resistant to high temperatures; therefore, for the qualitative extraction of them, a plant for processing coniferous extract from woody green mass has been developed. The process takes place in a cylindrical container at a temperature of 40...50 °C, with the use of superheated steam as an extractant. This temperature range provides the maximum yield of bioactive substances. When extracting, the amount of extractant is several times higher than the amount of raw materials. In this connection, we propose a processing line that allows reusing the spent extractant. The main equipment of this line is the extractor, evaporators, mixing condenser, refrigerating compressor unit and recuperative heat exchanger. The presented development allows the rational use of forest residues with obtaining of valuable components. This technology can be applied at the enterprises of the forest industry complex.

Keywords: extraction, woody green, extractant, essential oil, pulp, autohydrolysis, bioactive substance.

For citation: Safina A.V., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F., Arslanova G.R. Extraction of Valuable Components from Forest Residues. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 109–119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

REFERENCES

1. Aksel'rud G.A., Lysyanskiy V.M. *Ekstragirovanie. Sistema tverdoe telo – zhidkost'* [Extraction. The Solid-Liquid System]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. 256 p. (In Russ.)
2. Arslanova G.R., Al'mukhametov R.C., Shakirov A.R. *Poluchenie biologicheskii aktivnykh veshchestv iz drevesiny osiny metodom ekstraktsii* [Preparation of Bioactive Substances from Aspen Wood by the Extraction Method]. Voronezh, VSUET Publ., 2016. 624 p. (In Russ.)
3. Voronin A.E. Ustanovka dlya ekstraktsii drevesnoy zeleni khvoynykh porod [Plant for the Woody Green Extraction of Coniferous Species]. *Materialy mezhdunar. foruma molodezhi «Molodezh' i sel'skokhozyaystvennaya tekhnika v XXI v.»* [Proc. Intern. Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the 21st Century"]. Kharkiv, 2008. 137 p. (In Russ.)
4. Voronin A.E. *Pererabotka drevesnoy zeleni khvoynykh porod vodyanym parom v srede izbytochnogo davleniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Processing of Woody Green of Coniferous Species by Water Vapor in an Excess Pressure Environment: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2013. 16 p.
5. Gaynullina D.Sh. *Razrabotka tekhnologii delignifikatsii aktivirovannoy drevesiny: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of the Delignification Technology of Activated Wood: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2015. 16 p.
6. Golodovskiy A.M. *Teoreticheskie osnovy proizvodstva rastitel'nykh masel* [Theoretical Bases of Vegetable Oils Production]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1958. 446 p. (In Russ.)
7. Grebinskiy S.O. *Biokhimiya rasteniy* [Phytochemistry]. Lviv, Lviv University Publ., 1975. 278 p. (In Russ.)
8. Gur'yanov A.I. *Modelirovanie i konstruirovaniye kolonnykh intensifitsirovannykh ekstraktorov na osnove strukturnogo podkhoda: avtofer. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Modeling and Design of Column Intensified Extractors Based on the Structural Approach: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 1996. 32 p.
9. Ziatdinova D.F., Prosvirnikov D.B., Safin R.G., Baygil'deeva E.I. Kompleksnaya pererabotka drevesnykh otkhodov parovzryvnym metodom v apparate vysokogo davleniya [Complex Processing of Wood Wastes by the Steam-Explosion Method in a High-Pressure Apparatus]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 2, pp. 124–131.
10. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Gaynullina D.Sh. Gipoteticheskaya skhema protsessov fiziko-khimicheskoy pererabotki drevesnykh materialov, soprovozhdayushchikhsya vybrosami vrednykh veshchestv v atmosferu [Hypothetical Scheme of Physical and Chemical Processing of Wood Materials, Accompanied by Harmful Substances Emissions into the Atmosphere]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 6, pp. 43–45.
11. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Izvlechenie primesey iz drevesnovoloknistoy massy, poluchennoy pri obrabotke lignotsellyuloznogo materiala vysokotemperaturnym parovzryvnym avtogidrolizom [Extraction of Impurities from Wood-Fiber Pulp Obtained by Lignocellulosic Material Processing with High-Temperature Steam-Explosion Auto-Hydrolysis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 70–77.
12. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Issledovanie vliyaniya vysokotemperaturnoy obrabotki na svoystva produktov, poluchennykh metodom parovzryvnogo gidroliza lignotsellyuloznogo materiala [Investigation of the Influence of High-Temperature Treatment on the Properties of Products Obtained by the Steam-Explosion Hydrolysis of Lignocellulosic Material]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 58–66.
13. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Razrabotka opytno-promyshlennoy ustanovki dlya razdeleniya lignotsellyuloznogo materiala na komponenty

metodom vysokotemperaturnogo parovogo gidroliza [Development of a Pilot Plant for Separating Lignocellulosic Material into Components by High-Temperature Steam Hydrolysis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 93–101.

14. Kolesnikova R.D., Tagil'tsev Yu.G. *Efirnye masla dal'nevostochnykh drevesnykh rasteniy* [Essential Oils of Far Eastern Woody Plants]. Khabarovsk, Far East For. Res. Inst. Publ., 1999. 288 p. (In Russ.)

15. Lysyanskiy V.M. *Protsess ekstraksii sakhara iz svekly. Teoriya i raschet* [The Extracting Process of Sugar from Beet. Theory and Calculation]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1973. 224 p. (In Russ.)

16. Safin R.G., Ziatdinova D.F., Safin R.R., Razumov E.Yu., Timerbaev N.F., Valiev F.G., Prosvirnikov D.B., Kaynov P.A., Khasanshin R.R., Voronin A.E. *Reaktor dlya nepreryvnogo avtogidroliza* [Reactor for Continuous Autohydrolysis]. Patent RF, no. 2143044, 2011.

17. Safin R.R., Voronin A.E., Safin R.G., Bashkirov V.N., Voronin E.K., Timerbaev N.F., Akhmetova D.A., Ziatdinova D.F. *Ustanovka dlya polucheniya khvoynogo ekstrakta* [Plant for Coniferous Extract Production]. Patent RF, no. 2351642, 2009.

18. Kaptina A.V., Kanarskiy A.V., Shurgin A.V. et al. *Sposob polucheniya ekstrakta iz rasteniy roda salix* [The Method of Extract Production from Plants of the Genus *Salix*]. Patent RF, no. 2391408, 2010.

19. Safin R.R., Voronin A.E., Safin R.G., Razumov E.Yu., Voronin E.K., Kaynov P.A., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. *Sposob kompleksnoy pererabotki drevesnoy zeleni* [The Method for Complex Processing of Woody Green]. Patent RF, no. 2404238, 2010.

20. Safin R.R., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Sposob polucheniya sul'fatnoy tsellyulozy* [The Method of Sulfate Cellulose Production]. Patent RF, no. 2425917, 2011.

21. Safin R.R., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Sposob polucheniya sul'fatnoy tsellyulozy* [The Method of Sulfate Cellulose Production]. Patent RF, no. 2437972, 2011.

22. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Ustanovka dlya polucheniya tekhnicheskoy tsellyulozy vzryvnym metodom* [Plant for the Technical Pulp Production by the Explosive Method]. Patent RF, no. 2464367, 2012.

23. Ponomarev V.D. *Ekstragirovanie lekarstvennogo syr'ya* [Extraction of Drug Raw Materials]. Moscow, Meditsina Publ., 1976. 202 p. (In Russ.)

24. Prosvirnikov D.B. *Sovershenstvovanie tekhniki i tekhnologii protsessa vysokotemperaturnoy parovzryvnoy obrabotki drevesnykh otkhodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technological Advancement of the Process of High-Temperature Steam and Explosive Treatment of Wood Waste: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2013. 16 p.

25. Prosvirnikov D.B., Akhmetshin I.R., Gaynullina D.Sh., Prosvirnikova T.D. *Sposoby polucheniya i oblasti primeneniya poroshkovoy tsellyulozy* [Methods of Production and Application of Powdered Cellulose]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 17, pp. 109–112.

26. Prosvirnikov, D.B., Akhmetshin I.R., Gaynullina D.Sh., Prosvirnikova T.D. *Razrabotka apparaturnogo oformleniya tekhnologii nepreryvnogo polucheniya poroshkovoy tsellyulozy* [Development of Hardware Design for the Continuous Production Technology of Powdered Cellulose]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 11, pp. 156–159.

27. Repyakh S.M., Rubchevskaya L.P. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki drevesnoy zeleni* [Chemistry and Technology of Woody Green Processing]. Krasnoyarsk, KSEA Publ., 1994. 320 p. (In Russ.)

28. Saldaev V.A., Prosvirnikov D.B. *Konstruktsiya gidrozatvora v reaktore dlya parovzryvnoy obrabotki lignotsellyuloznogo materiala* [The Design of the Hydraulic Lock in the Reactor for the Steam-Explosion Treatment of Lignocellulosic Material]. *Materialy 3-y Vseros. stud. nauch.-tekhn. konf. «Intensifikatsiya teplo-massoobmennyykh protsessov, promyshlennaya bezopasnost' i ekologiya»* [Proc. 3rd All-Russ. Student Sci. Eng. Conf. "Intensification of Heat-Mass-Exchange Processes, Industrial Safety and Ecology"]. Kazan, 2012, pp. 96–97. (In Russ.)

29. Safin R.R., Voronin A.E., Razumov E.Yu. Ustanovka dlya pererabotki otkhodov drevesnykh proizvodstv [Wood Waste Processor]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2009, vol. 19, no. 5, pp. 82–86.

30. Turetskova V.F., Lobanova I.Yu., Rassypnova S.S., Talykova N.M. Osina obyknovennaya kak perspektivnyy istochnik polucheniya preparatov protivoyazvennogo i protivovospalitel'nogo deystviya [*Populus tremula* L. as a Perspective Source of Preparations Antiulcerous and Anti-Inflammatory Activity]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2011, vol. 10, no. 5, pp. 106–111.

31. Yudkevich Yu.D., Vasil'ev S.N., Yagodin V.I. *Poluchenie khimicheskikh produktov iz drevesnykh otkhodov* [Chemical Products Production from Wood Waste]. Saint Petersburg, SPbFTA Publ., 2002. 84 p. (In Russ.)

32. Yagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoy zeleni* [Fundamentals of Chemistry and Technology of Woody Green Processing]. Leningrad, LSU Publ., 1981. 244 p. (In Russ.)

33. Al-Dajani W.W., Tschiner U.W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction. *Tappi J.*, 2008, vol. 7, iss. 6, pp. 3–8.

34. Dietrich F., ed. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin; New York, Walter de Gruyter Publ., 1989. 613 p.

35. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions. *Wood Research*, 2012, vol. 57, no. 4, pp. 505–514.

36. Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and Its Possible Uses. *Res. Note FPL*; 091, 1971. 56 p.

37. Krasutsky P.A. Birch Bark Research and Development. *Natural Product Reports*, 2006, vol. 23, no. 6, pp. 919–942.

38. Liu Sh. Woody Biomass: Niche Position as a Source of Sustainable Renewable Chemicals and Energy and Kinetics of Hot-Water Extraction/Hydrolysis. *Biotechnology Advances*, 2010, vol. 28, iss. 5, pp. 563–582.

39. Mosier N., Wyman Ch., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Biore-source Technology*, 2005, vol. 96, iss. 6, pp. 673–686.

40. Heiska S. *The Yield and Cultivation Reliability of Herbal Willow*: PhD Diss. Biology (PDF). Joensuu, Finland, 2007. 88 p.

41. Van Oijen D., Feijen M., Hommel P., den Ouden J., de Waal R. Effects of Tree Species Composition on Within-Forest Distribution of Understorey Species. *Applied Vegetation Science*, 2005, vol. 8, iss. 2, pp. 155–166.

42. Vakkilainen E. Chemical Recovery. *Chemical Pulping – Papermaking Science Technology. Book 6B*. Ed. by J. Gullichsen, C.-J. Fogelholm. Helsinki, Finland, Fapet Oy and Tappi Press, 1999, ch. 11. 247 p.

43. Whigham D.F. Ecology of Woodland Herbs in Temperate Deciduous Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 2004, vol. 35, pp. 583–621.

Received on October 04, 2017