

Дерево

ISSN 0011-9008

1/2022

обрабатывающая промышленность



Дерево — обработывающая промышленность

1/2022

ISSN 0011-9008

Учредитель: Редакция журнала
«Деревообрабатывающая промышленность»
Основан в апреле 1952 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по группе научных специальностей 05.21.00 – Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева.

Редакционная коллегия:



Главный редактор
Сафин Руслан Рушанович
д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический
университет»



Зам. главного редактора
Разумов Евгений Юрьевич
д.т.н., профессор

Czech University of Life Sciences Prague,
Faculty of Forestry and Wood Sciences,
Czech Republic

Торопов Александр Степанович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Царев Евгений Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Черных Михаил Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет
им. Калашникова»



Зам. главного редактора
ответственный за
международную ред. коллегию
Štefan Barcik, Prof. ing., Ph.D.

Technical university in Zvolen,
Faculty of environmental and
manufacturing technology,
Slovakia

Сафин Рушан Гареевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Баширов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Хасаншин Руслан Ромелевич, д.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Гаспарян Гарик Давидович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

Григорьев Игорь Владиславович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Арктический государственный
агротехнологический университет»

Мазуркин Петр Матвеевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Романов Евгений Михайлович, д.с.-х.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Рыкунин Станислав Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Семенов Юрий Павлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Dr. prof. Vlado Goglia
University of Zagreb, Croatia
Dr. prof. Ruzica Beljo Lucic
University of Zagreb, Croatia
Dr. prof. Nencho Delijski
University of Forestry, Bulgaria
Dr. prof. Ladislav Dzurenda
Technical University, Slovakia
Dr. prof. Etele Csanady
University of West Hungary

Dr. prof. Alfred Teischinger
BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
Austria

Marian Babiak, PhD, Dr.h.c.prof.RNDR.
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Dr. PhD Monica Sarvasova Kvietkova
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Адрес редакции:
117303, Москва, ул. Малая
Юшуньская, д. 1, корп. 1,

journal_woodworking@mail.ru
www.dop1952.ru

© «Редакция журнала
«Деревообрабатывающая
промышленность», 2022

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990
Формат бумаги 60x88/8
Тираж 720 экз.

СОДЕРЖАНИЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

Ахтямов Э.Р., Кручинин И.Н., Побединский В.В., Кручинина Е.И., Чижов А.А.

Разработка требований к применению добавок из вспученного вермикулита для строительства лесовозных дорог на территориях северного, приполярного и полярного урала

3

Жалко М.Е., Бургонутдинов А.М., Бурмистрова Д.Д., Ченушкина С.В., Данилов В.В.

Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях

10

Жалко М.Е.

Повышение морозоустойчивости дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог

18

Физико-механические процессы в деревообработке

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Малышева Н.П., Пустрова Н.П., Чернышев О.Н.

Экспресс-метод определения себестоимости продукции при расчете технико-экономических показателей деревообрабатывающих цехов

24

Разумов Е.Ю., Байгильдеева Е.И., Сафина А.В., Сафин Р.Г.

Получение бетулина высокой степени очистки

33

Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Хабибуллина А.Р., Байгильдеева Е.И.

Физико-механические характеристики композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии перекиси водорода

41

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Романов В.А., Феллух А., Чернышев О.Н.

Определение прочности склеивания при нормальном отрыве для разработки новых клеевых составов

55

Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б., Арсланова Г.Р., Валеев К.В., Зиятдинова Д.Ф., Гурьянов Д.А.

Математическое описание процесса экстракции фенольных соединений

62

Артёмов А.В., Ершова А.С., Бурындин В.Г., Савиновских А.В.

Изучение изменений прочностных показателей пластиков без связующего по потери массы при биоразложении

71

Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Валеев К.В.

Моделирование процесса извлечения бетулина из бересты березы

80

Химическая технология древесины

Строганова М.С., Жильникова Н.А.

Методика оценки самоочищающей способности водоема при влиянии стоков сульфат-целлюлозного производства

90

Чирков Д.Д., Захаров П.С., Шкуро А.Е., Ершова А.С.

Термомеханическая активация наполнителей для древесно-минеральных полимерных композиционных материалов

103

УДК 674.816

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЕТУЛИНА ИЗ БЕРЕСТЫ БЕРЕЗЫ

А.В. Сафина, Д.Р. Абдуллина, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, К.В. Валеев

В работе представлено математическое описание процесса пропитки и экстракции бересты березы толуолом. Сопоставление результатов математического моделирования и экспериментальных данных подтвердило адекватность разработанной математической модели. Отклонение расчетных значений от экспериментальных данных не превышает 18 %. Для определения коэффициентов массопроводности на этапах пропитки и извлечения бетулина спроектирована экспериментальная установка. В температурном диапазоне 100-105 °С коэффициенты составили, соответственно, $a_{мк} = 5,2 \cdot 10^{-12}$ и $a_{мн} = 7,8 \cdot 10^{-11}$ м²/с. В результате моделирования установлено, что средняя продолжительность стадии пропитки бересты составляет 25 мин, а время экстракции при периодическом процессе составляет около 2 часов. Однако выход бетулина при удельном расходе толуола в соотношении 1:7 составляет 60-70 % и для повышения степени извлечения целесообразно организовать процесс в несколько циклов и продолжить исследования по оптимизации параметров процесса.

Ключевые слова: береста, пропитка, экстракция, бетулин, массопроводность, моделирование.

Введение

В бересте березы содержится до 40 % бетулина, который является ценным продуктом и имеет широкое применение в промышленности [1-5]. Наличие бетулина в бересте делает источник сырья практически бесплатным, так как кора березы остается невостребованной и используется в основном как твердое топливо [6-7].

Исследованиями ряда авторов показано, что бетулин имеет хорошую растворимость в органических растворителях. В частности, высокая эффективность извлечения достигается при использовании такого экстрагента как толуол. [8-11].

Процесс извлечения бетулина включает стадии: измельчение, пропитку растворителем, экстракцию и выделение бетулина из экстракта. Скорость процесса извлечения бетулина из бересты и качество готового экстракта зависит от различных факторов, таких как, температура, степень измельчения сырья, гидромодуль и гидродинамика процесса и т.д. [12]. Так, повышение температуры ускоряет переход целевых компонентов в экстрагент, однако влияет на сохранение ферментных и лекарственных свойств получаемых экстрактов. Процесс экстракции ускоряется и с уменьшением степени измельчения сырья. Однако при этом увеличивается сопротивление слоя измельченных частиц, что ведет к необходимости увеличения удельного расхода толуола для равномерного процесса экстракции по сечению аппарата. Таким образом, необходимо создать математическую модель процесса, адекватно соответствующую реальной физической картине для оптимизации процесса извлечения бетулина из бересты. Имеющие в литературе математические описания и их решения получены эмпирически, путем обработки экспериментальных данных, поэтому работают только в узком диапазоне [13-14].

Целью настоящей работы является создание адекватного математического описания процесса извлечения бетулина из бересты березы, проверка ее адекватности реальным процессам извлечения и определение рациональных режимных параметров.

Методы и материалы

Из априорной информации [15-16] установлено, что удельный расход толуола экономически целесообразно поддерживать в пределах 7÷10 по отношению к бересте.

Вследствие большого удельного расхода толуола ($M=7\div 10$), считаем, что температура толуола в процессе пропитки и экстракции не меняется. В виду малой толщины измельченных частиц бересты считаем, что прогрев сырья происходит мгновенно и процессы пропитки толуолом и экстракции бетулина из сырья лимитируется лишь градиентом концентрации и молекулярной массопроводностью бересты. Измельченные частицы бересты имеют малую толщину $\approx 0,5$ мм, поэтому считаем частицу бесконечной пластиной. При этих условиях процесс пропитки бесконечной частицы описывается дифференциальным уравнением массопроводности:

$$\frac{\partial C_{EW}}{\partial \tau} = \alpha_{mE} \frac{\partial^2 C_{EW}}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где C_{EW} – локальная концентрация экстрагента в сырье (бересте) при пропитке; α_{mE} – коэффициент массопроводности бересты по экстрагенту; x – текущая координата в частице, отсчёт ведётся от поверхности частицы.

Поскольку перед пропиткой экстрагент в бересте отсутствует, то начальное условие имеет вид:

$$C_{EW}(x; \tau) \Big|_{\tau=0} = 0 \quad (2)$$

Считаем, что при пропитке экстракция не происходит, поэтому концентрация бетулина в экстракте равна нулю, то есть для решения дифференциального уравнения (1) можно принять граничные условия I рода:

$$C_{EW}(x; \tau) \Big|_{x=0} = C_{EH} = 100\% \quad (3)$$

Процесс экстракции бетулина из бересты, также, можно описать дифференциальным уравнением Фика для бесконечной пластины:

$$\frac{\partial C_{BW}}{\partial \tau} = \alpha_m \frac{\partial^2 C_{BW}}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где C_{BW} – локальная концентрация бетулина в бересте; α_m – массопроводность пропитанной экстрагентом бересты.

Исходная концентрация бетулина в бересте березы равна C_{BWH} . Тогда начальные условия записываются соотношением:

$$C_{BW}(x; 0) = C_{BWH} \quad (5)$$

Текущая концентрация бетулина на поверхности частицы бересты соответствует текущей концентрации бетулина в толуоле $C_{BD}(\tau)$.

$$C_{BW}(0; \tau) = C_{BD}(\tau) \quad (6)$$

Текущая концентрация бетулина в толуоле определяется решением дифференциального уравнения материального баланса – приток бетулина в экстракте равен стоку бетулина из сырья:

$$(m_B + m_T) dC_{BD} = q_m F d\tau, \quad (7)$$

где m_B – текущая масса бетулина в экстракте; m_T – масса толуола в экстракте.

Суммарная поверхность всех частиц бересты зависит от массы сырья m_w и удельной поверхности частицы f .

$$F = f \cdot m_w \quad (8)$$

Соотношение сырья и экстрагента определяет удельный расход толуола:

$$M = \frac{m_m}{m_w}, \quad (9)$$

где m_m – масса экстрагента (толуола).

Поток извлекаемого бетулина из бересты определяется градиентом концентрации бетулина на поверхности частицы:

$$q_B = \alpha_m \cdot \text{grad} C_{BW} \Big|_{x=0} \quad (10)$$

Текущую концентрацию бетулина в экстракте при проведении экстракции в периодическом режиме можно рассчитать из совместного решения уравнений (7)-(10):

$$dC_{B\partial}(\tau) = \alpha_m (\text{grad} C_{BW} \Big|_{x=0}) \cdot \left(\frac{f}{C_{BW} + M} \right) d\tau \quad (11)$$

Совместное решение уравнений (4)-(6) и (11) позволят определить изменение локальной концентрации бетулина в бересте и экстракте.

Рассчитать коэффициент массопроводности можно на основании зависимости, полученной преобразованием дифференциального уравнения (10) в уравнение с конечной разностью:

$$q = \alpha_m \frac{\Delta C}{b}, \quad (12)$$

где ΔC – разность концентраций экстрагентов на противоположных сторонах испытуемой бересты; b – толщина бересты.

Для экспериментального определения коэффициентов массопроводности для этапов пропитки и экстракции создана установка, представленная на рис.1.

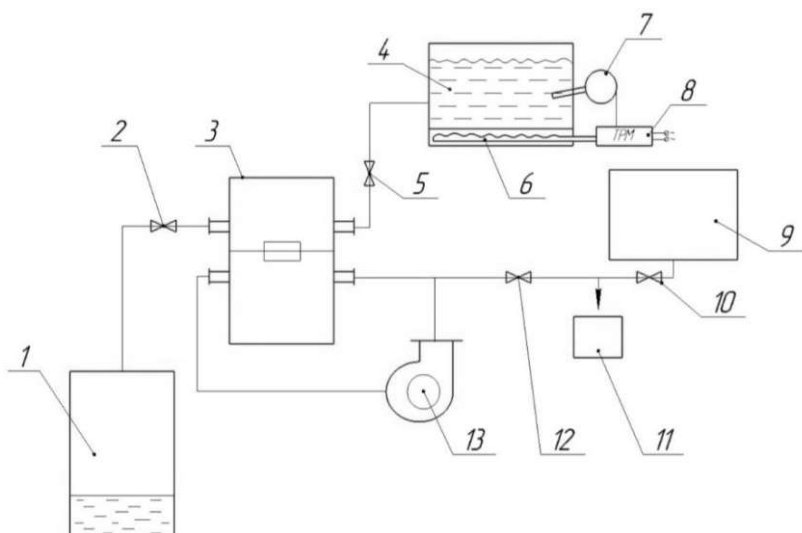


Рис.1. Схема установки для определения коэффициента массопроводности

Установка состоит из емкости 1 для приема и емкости 4 для подачи насыщенного бетулинового экстракта, вентилях 2,5,10,12, экспериментальной камеры 3, нагревательного элемента 6, датчика температуры 7, терморегулятора 8, емкости с толуолом 9, пробоотборника 11, центробежного насоса 13.

Верхнюю емкость установки 3 непрерывно обновляют подачей насыщенного бетулинового экстракта из емкости 4 в емкость 1 открытием вентилях 2,5 для поддержания постоянной концентрации экстракта. Температура экстракта в верхней емкости установки по определению коэффициента массоотдачи α_m 3 поддерживается в пределах 100-105 °С с помощью терморегулятора 8, датчика температуры 7 и нагревательного элемента 6.

Для поддержания равномерной концентрации в нижней емкости установки по определению коэффициента массоотдачи α_m 3 экстракт непрерывно циркулируется центробежным насосом 13, отбор пробы экстракта 11 осуществляется открытием вентиля 12.

Экспериментальная камера, сечение которой представлено на рис. 2, состоит из верхней – 1 и нижней – 2 емкостей со штуцерами подвода и отвода экстрактов – 3. Испытуемый образец 4 закрепляется между фланцем 5 и шайбой 6 с внутренними диаметрами, равными $d=80\text{ мм}$, винтом 7 и создает изолированные полости, в которые подаются экстрагенты с разной концентрацией.

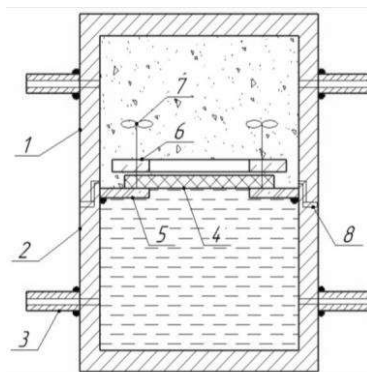


Рис.2. Экспериментальная камера для определения коэффициента массопроводности (сечение)

При определении коэффициента массопроводности при пропитке α_{mE} в нижнюю, предварительно нагретую емкость заливается чистый толуол с температурой $100-105\text{ }^{\circ}\text{C}$, закрывается берестой толщиной $0,5\text{ мм}$, переворачивается на 180° и определяется время появления толуола на противоположной стороне бересты, а затем определяется удельный поток массы толуола через образец.

$$q = \frac{\Delta m}{F \cdot \Delta \tau}, \quad (13)$$

где Δm – масса толуола, просочившаяся через бересту за время $\Delta \tau$.

Поверхность массоотдачи определяется внутренним диаметром фланца:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (14)$$

Совместное решение уравнений (12) и (13) позволяет рассчитать коэффициент массопроводности при пропитке:

$$\alpha_{mE} = \frac{q \cdot b}{\Delta C} \quad (15)$$

При пропитке разность концентраций ΔC берем равной 1.

При определении коэффициента массопроводности при экстракции α_{mE} в качестве испытуемого образца используется береста, пропитанная толуолом. Для поддержания максимальной разности концентраций на разных сторонах бересты через верхнюю емкость 1 пропускается толуол, насыщенный бетулином с концентрацией $C_{БД\text{ max}}$, а нижняя емкость 2 заполняется чистым толуолом. Разность концентраций ΔC в формуле (12) будет равна $C_{БД\text{ max}}$.

По изменению концентрации бетулина в нижней емкости рассчитывается удельный поток бетулина через образец по соотношению:

$$q_B = \frac{\Delta m_B}{F \cdot \Delta \tau}, \quad (16)$$

а затем коэффициент массопроводности при экстракции по соотношению:

$$\alpha_m = \frac{q_B}{F \cdot C_{БД\text{ max}}} \quad (17)$$

Для снятия кинетических кривых пропитки берется береста массой m_{WH} , погружается в толуол с заданной температурой и фиксируется изменение веса, которое отражает массу впитанного толуола.

Текущая средняя концентрация толуола в бересте в процессе пропитки рассчитывается по соотношению:

$$\overline{C_{EW}} = \frac{m_E}{m_{WH} + m_{E\max}}, \quad (18)$$

где m_E – текущая масса толуола в бересте. Она определяется разницей текущей массы бересты после ее выдержки в толуоле и начальной массой бересты (сухой) m_{WH} ; $m_{E\max}$ – максимальная масса толуола в бересте после завершения пропитки. Она определяется изменением исходной массы бересты при пропитке.

Для определения концентрации бетулина в толуоле C_{BD} в процессе экстракции или при определении коэффициента массопроводности отобранная проба экстракта взвешивается m_{DH} , затем вакуумной сушкой удаляется толуол и определяется масса бетулина m_B .

Текущее значение концентрации бетулина в толуоле определяется по соотношению:

$$\overline{C_{BD}} = \frac{m_B}{m_{DH}}, \quad (19)$$

где m_B – масса бетулина в экстракте, которая определяется удалением толуола из пробы экстракта с начальной массой m_{DH} .

Результаты математического моделирования

Экспериментальные значения коэффициентов массопроводности при пропитке и экстракции, определенные в соответствии с описанной методикой, в температурном диапазоне 100 -105 °С составили, соответственно, $a_{mE} = 5,2 \cdot 10^{-12}$ и $a_m = 7,8 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$.

По числовым значениям коэффициентов массопроводности можно отметить, что массопроводность сухой бересты значительно меньше массопроводности пропитанной бересты.

На рис.3 представлены локальные значения концентрации толуола в бересте при пропитке, полученные моделированием дифференциального уравнения (1).

Расчетные значения получены интегрированием локальных кривых концентрации толуола в бересте при заданном времени. Анализ кривых показывает, что при достижении 25 минут пропитанность бересты достигает 90 %.

Расчетные и экспериментальные значения изменения средней концентрации толуола в бересте при пропитке представлены на рис. 4.

Отклонение расчетных значений от экспериментальных данных не превышает 18 %. Это позволяет сделать вывод о возможности применения уравнений (1÷3) для моделирования процесса пропитки бересты при проведении инженерных расчётов.

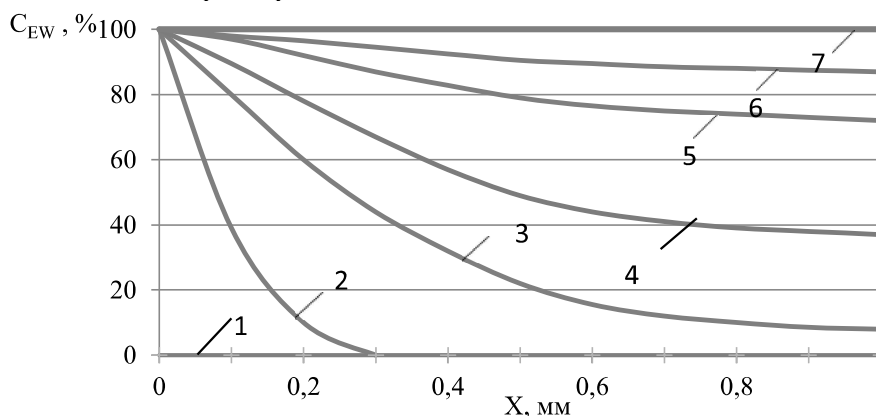


Рис.3. Локальные значения концентрации толуола в бересте при пропитке: 1- $\tau=0$ мин; 2- $\tau=1$ мин; 3- $\tau=5$ мин; 4- $\tau=10$ мин; 5- $\tau=15$ мин; 6- $\tau=25$ мин; 7- $\tau=\infty$

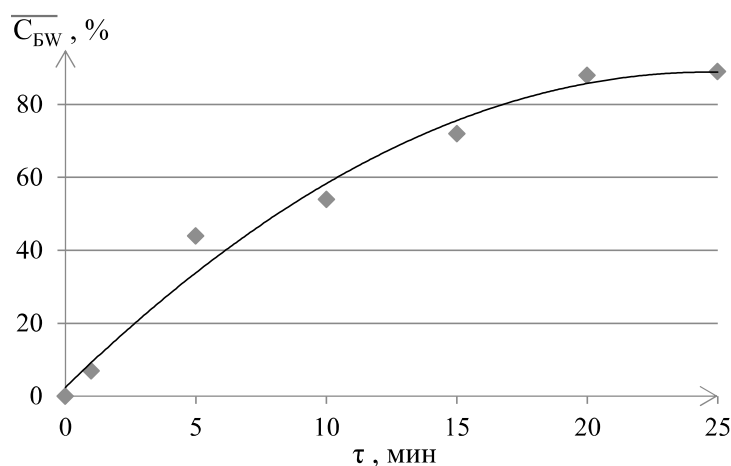


Рис.4. Кинетические кривые средней концентрации толуола в бересте при пропитке

Моделированием дифференциального уравнения (4) получены расчетные кривые изменения локальных значений концентрации бетулина в бересте при экстракции, представленные на рисунке 5.

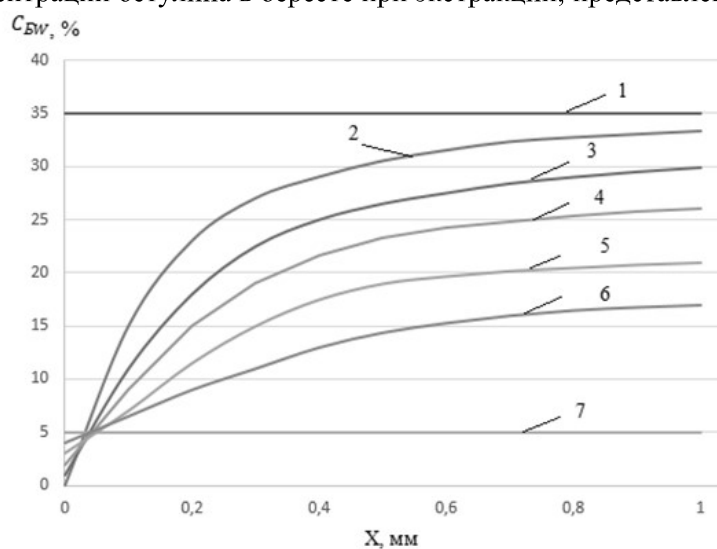


Рис.5. Локальные значения концентрации бетулина в бересте: 1- $\tau=0$ ч; 2- $\tau=0,1$ ч; 3- $\tau=0,5$ ч; 4- $\tau=1$ ч; 5- $\tau=2$ ч; 6- $\tau=3$ ч; 7- $\tau=\infty$

Анализ кривых показывает, что в процессе экстрагирования концентрация на поверхности частиц при $x=0$ поднимается с 0 % до 5 %. Это связано с тем, что концентрация бетулина в толуоле также повышается до 5 %. Интегрируя полученные кривые, можно получить расчетные значения средней концентрации бетулина в бересте в текущее время.

На рисунке 6 представлены расчетные и экспериментальные средние значения концентрации бетулина в бересте.

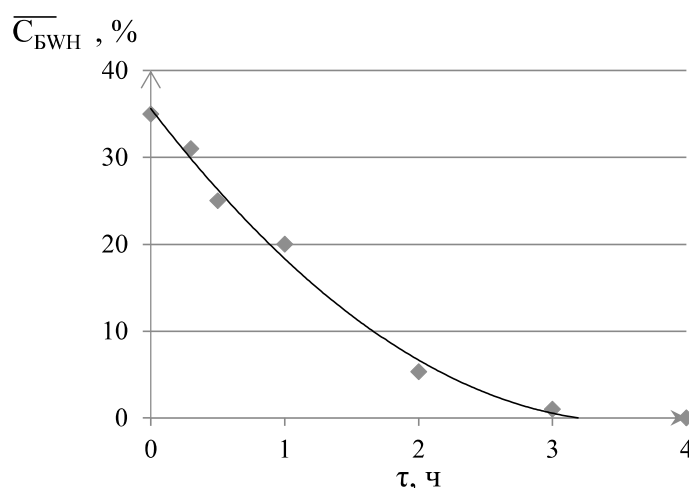


Рис.6. Кинетические зависимости концентрации бетулина в бересте

Отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет 17 %. Из представленного графика видно, что при достижении 3 часов концентрация бетулина в бересте не меняется, поэтому можно сделать вывод о том, что рациональная продолжительность экстрагирования составляет 2 часа. При дальнейшем экстрагировании скорость процесса резко падает, целесообразно организовать второй цикл с подачей чистого толуола.

На рисунке 7 представлены расчетные и экспериментальные значения средней концентрации бетулина в толуоле при периодическом процессе экстракции.

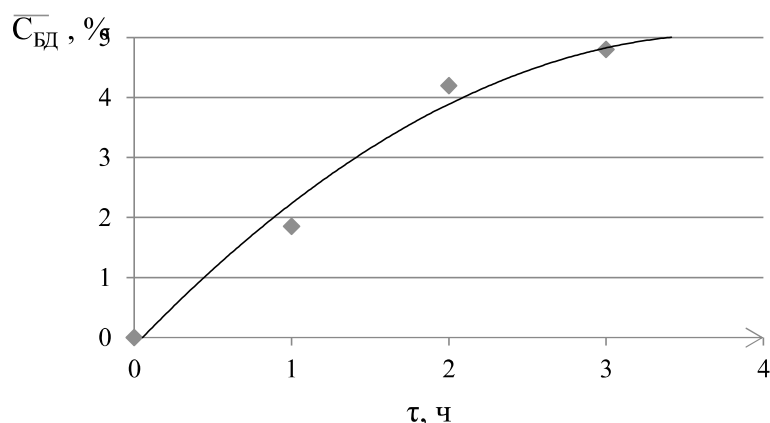


Рис.7. Кинетические зависимости средней концентрации бетулина в толуоле при периодическом процессе экстракции

Отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 15%. Как видно, спустя 3 часа концентрация бетулина в толуоле не менялась. Для более полного извлечения бетулина необходимо увеличить удельный расход толуола или проводить экстракцию в несколько циклов с обновлением экстрагента.

Количество циклов экстрагирования определяется моделированием процесса с учётом экономической целесообразности, затрат на регенерацию толуола из экстракта.

Заключение

Разработана математическая модель, адекватно описывающая процесс извлечения бетулина из бересты берёзы.

Моделированием процесса установлено, что оптимальное время пропитки измельчённой бересты составляет 15-20 минут, а время экстракции толуолом при температуре 100-105 °С составляет 3 часа.

Установлено, что выход бетулина в аппарате периодического действия при удельном расходе толуола 1:7 составляет 60-70 %. Для более полного извлечения бетулина необходимо продолжить

исследование с увеличением удельного расхода толуола до оптимального значения путём организации процесса экстрагирования в несколько циклов.

Литература

1. Почицкая И.М., Воропай Е.Н. Возможность применения бетулина в качестве multifunctional биологически активной добавки к пище // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2015. № 2 (28). С. 60-64.
2. Ивахнюк Г.К., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Исследование возможности применения бетулина для очистки воды от вредных примесей // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2020. Т. 25. № 1. С. 55-61.
3. Задорожная М.В., Лыско С.Б., Красиков А.П., Деев Л.Е. Применение бетулина в птицеводческих хозяйствах для повышения поствакцинального противовирусного иммунитета у птиц // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2012. № 4 (8). С. 87-91.
4. Hordyjewska, A., Ostapiuk A., Horecka A. Betulin and betulinic acid in cancer research // Journal of Pre-Clinical and Clinical Research. 2018. Vol.2, № 12. pp. 72-75.
5. Базарнова Ю.Г. Биологическая активность сухого экстракта бересты и его применение в масложировых продуктах // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. № 2. С. 32-39.
6. Кузнецов Б.Н., Рязанова Т.В., Щипко М.Л., Кузнецова С.А. Оптимизация термических и биохимических методов утилизации отходов экстракционной переработки березовой коры // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. С. 441-449.
7. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 10. С. 148-155.
8. Способ химической переработки бересты: пат. № 2306318 РФ, заявл. 2005127381/04, 31.08.2005; опубл. 20.09.2007.
9. Способ получения бетулина: пат. № 2192879 РФ, заявл. 2002101403/14, 04.01.2002; опубл. 20.11.2002.
10. Способ получения бетулина: пат. № 2184120 РФ, заявл. 2001103062/04, 02.02.2001; опубл. 27.06.2002.
11. Способ получения бетулина (варианты): пат. № 2523545 РФ, заявл. 2013104064/04, 30.01.2013; опубл. 20.07.2014.
12. Тимербаев Н. Ф., Сафина А. В., Арсланова Г.Р., Зиятдинова Д.Ф. Повышение энергоэффективности процесса экстракции // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.19. № 5-6. С.35-40.
13. Сафина А. В., Арсланова Г. Р., Зиятдинова Д. Ф., Ахметова Д. А., Сафин Р. Г., Халитов Р. А. Определение коэффициента массопроводности с учетом сложного строения растительных клеток в процессе экстракции // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. №1. С. 33-43.
14. Касенов Р.З., Демец О.В., Картбаева Г.Т., Жумадилов С.С., Бакибаев А.А., Ахмеджанов Р.Р. Исследование количественного выхода бетулина из березы киргизской и синтез его фосфорилированного производного // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. 2019. Т. 95. № 3. С. 13-19.
15. Лигостаева Ю.В., Ханина М.А., Грек О.Р., Родин А.П. Влияние методов измельчения бересты на выход биологически активных веществ // Journal of Siberian Medical Sciences. 2021. №3. С.14-24.
16. Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Валеев К.В. Энерго - и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы // Лесной вестник. 2021 Т. 25 № 4. С. 99-106.

© Сафина А. В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: alb_saf@mail.ru; Абдуллина Д.Р. – магистрант кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: dilya.panda@yandex.ru; Зиятдинова Д.Ф. – д-р техн. наук, профессор кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: ziatdinova2804@gmail.com; Сафин Р. Г. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: safin@kstu.ru; Тимербаев Н.Ф. – д.т.н., профессор кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: cpekgeu@gmail.com; Валеев К.В. – аспирант кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: kirval116@mail.ru.

UDC 674.816

MODELING OF THE PROCESS OF EXTRACTION OF BETULIN FROM BIRCH BARK

A.V. Safina, D.R. Abdullina, D.F. Ziatdinova, R.G. Safin, N.F. Timerbaev, K.V. Valeev

The paper presents a mathematical description of the process of impregnation and extraction of birch bark with toluene. Comparison of the results of mathematical modeling and experimental data confirmed the adequacy of the developed mathematical model. The deviation of the calculated values from the experimental data does not exceed 18%. An experimental installation has been designed to determine the mass conductivity coefficients at the stages of impregnation and extraction of betulin. In the temperature range of 100-105 °C, the coefficients were, respectively, $a_{mE} = 5,2 \cdot 10^{-12}$ and $a_m = 7,8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{c}$. As a result of modeling, it was found that the average duration of the birch bark impregnation stage is 25 minutes, and the extraction time during the periodic process is about 2 hours. However, the yield of betulin at a specific toluene consumption in a ratio of 1:7 is 60-70% and to increase the degree of extraction, it is advisable to organize the process in several cycles and continue research on optimizing the process parameters.

Keywords: birch bark, impregnation, extraction, betulin, mass conductivity, modeling.

References

1. Pochickaya I.M., Voropaj E.N. [The possibility of using betulin as a multifunctional biologically active food supplement] *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food industry: science and technology] 2015. No. 2 (28). pp. 60-64. (In Russ.)
2. Ivahnyuk G.K., Skripnik I.L., Voronin S.V. [Study of the possibility of using betulin for water purification from harmful impurities] *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the International academy of environmental sciences and life safety]. 2020. V. 25. No. 1. pp. 55-61. (In Russ.)
3. Zadorozhnaya M.V., Lysko S.B., Krasikov A.P., Deev L.E. [The use of betulin in poultry farms to increase post-vaccination antiviral immunity in birds] *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Omsk State Agrarian University]. 2012. No. 4 (8). pp. 87-91. (In Russ.)
4. Hordyjewska, A., Ostapiuk A., Horecka A. Betulin and betulinic acid in cancer research // *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*. 2018. V. 2, No. 12. pp. 72-75. (In Russ.)
5. Bazarnova Yu.G. [Biological activity of birch bark dry extract and its use in oil and fat products] *Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv* [Processes and apparatuses of food production]. 2011. No. 2. pp. 32-39. (In Russ.)
6. Kuznecov B.N., Ryazanova T.V., Shchipko M.L. [Optimization of thermal and biochemical methods of utilization of wastes of extraction processing of birch bark] *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development]. 2005. V. 13. pp. 441-449. (In Russ.)
7. Andreev A.A. [Resource-saving and use of wastes from harvesting and processing of wood raw materials] *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty* [Fundamental and applied research: problems and results]. 2014. No. 10. pp. 148-155. (In Russ.)
8. Method for chemical processing of birch bark: patent No. 2306318 Russian Federation, declared 2005127381/04, 31.08.2005; publ. 20.09.2007. (In Russ.)
9. Method for obtaining betulin: patent. No. 2192879 Russian Federation, declared 2002101403/14, 04.01.2002; publ. 20.11.2002. (In Russ.)
10. Method for obtaining betulin: patent. No. 2184120 Russian Federation, declared 2001103062/04, 02.02.2001; publ. 27.06.2002. (In Russ.)
11. Method for obtaining betulin (options): patent No. 2523545 Russian Federation, declared 2013104064/04, 30.01.2013; publ. 20.07.2014. (In Russ.)
12. Timerbaev N. F., Safina A. V., Arslanova G.R., Ziatdinova D.F. [Increasing the energy efficiency of the extraction process] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki* [Izvestia of higher educational institutions. Energy problems]. 2017. V.19. No. 5-6. pp. 35 - 40. (In Russ.)
13. Safina A. V., Arslanova G. R., Ziatdinova D. F., Ahmetova D. A., Safin R. G., Halitov R. A. [Determination of the mass conductivity coefficient taking into account the complex structure of plant cells in

the extraction process] Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. [Woodworking industry]. 2020. No. 1. pp. 33-43. (In Russ.)

14. Kasenov R.Z., Demec O.V., Kartbaeva G.T., Zhumadilov S.S., Bakibaev A.A., Ahmedzhanov R.R. [Study of the quantitative yield of betulin from the Kyrgyz birch and the synthesis of its phosphorylated derivative] Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Medicina. Geografiya [Bulletin of the Karaganda University. Series: Biology. The medicine. Geography]. 2019. V. 95. No. 3. pp. 13-19. (In Russ.)

15. Ligostaeva Yu.V., Hanina M.A., Grek O.R., Rodin A.P. [Influence of birch bark grinding methods on the yield of biologically active substances] Journal of Siberian Medical Sciences. 2021. No. 3. pp. 14-24. (In Russ.)

16. Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V. [Energy- and resource-saving technology for extracting betulin from birch bark waste] Lesnoj vestnik [Forestry Bulletin]. 2021 V. 25 No. 4. pp. 99-106. (In Russ.).

©**Safina A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: alb_saf@mail.ru; **Abdullina D.R.** – Master's student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: dilya.panda@yandex.ru; **Ziatdinova D.F.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: ziatdinova2804@gmail.com; **Safin R. G.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: safin@kstu.ru; **Timerbaev N.F.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: cpekgeu@gmail.com; **Valeev K.V.** – postgraduate student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: kirval116@mail.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «**Введение**», «**Методы и материалы**», «**Результаты**», «**Заключение**», «**Литература**».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «**Введение**», «**Обзор исследований в области...**», «**Заключение**», «**Литература**».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Одноколоночный макет журнала.

Параметры страницы:

- верх — 3 см;
- низ — 2,5 см;
- левое поле — 1,8 см;
- правое поле — 1,8 см;

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см.

Размер рисунков:

- ширина — не более 17,5 см;
- высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1. Название рисунка**). Цвет рисунка - черно-белый. Рисунки должны быть качественными, сканированные картинки не принимаются!

Размер таблицы не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).

Образец оформления статьи указан в конце журнала.