

УДК 665.238  
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.65478

*Представлені результати вивчення впливу попередньої високоенергетичної дискретної обробки вовняного волокна на швидкість екстракції вовняного жиру. Визначено фізико-хімічні властивості отриманого вовняного жиру: кислотне число, пероксидне число, температури плавлення і застигання, рН водної витяжки. На підставі отриманих результатів представлений ймовірний механізм інтенсифікуючої дії високоенергетичної дискретної обробки в процесі попередньої обробки вовняного волокна*

*Ключові слова: вовняний жир, ланолін, вовняне волокно, швидкість екстракції, високоенергетична дискретна обробка*

*Представлены результаты изучения влияния предварительной высокоэнергетической дискретной обработки шерстяного волокна на скорость экстракции шерстяного жира. Определены физико-химические свойства полученного шерстяного жира: кислотное число, пероксидное число, температуры плавления и застывания, рН водной вытяжки. На основании полученных результатов представлен вероятный механизм интенсифицирующего воздействия высокоэнергетической дискретной обработки в процессе предварительной обработки шерстяного волокна*

*Ключевые слова: шерстный жир, ланолин, шерстяное волокно, скорость экстракции, высокоэнергетическая дискретная обработка*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАБОТКИ НА КИНЕТИКУ ЭКСТРАКЦИИ И СВОЙСТВА ШЕРСТНОГО ЖИРА

**О. Я. Семешко**

Кандидат технических наук, научный сотрудник\*

E-mail: solgaya@gmail.com

**А. Н. Куник**

Кандидат технических наук, младший научный сотрудник\*

E-mail: culish.aleksa@yandex.ua

**Т. С. Асаулюк**

Младший научный сотрудник\*

E-mail: tatisevna@gmail.com

**Ю. Г. Сарибекова**

Доктор технических наук, главный научный сотрудник\*

E-mail: ysaribekova@gmail.com

**С. А. Мясников**

Кандидат технических наук\*\*

E-mail: 0504943835serg@gmail.com

\*Научно-исследовательский сектор\*\*\*

\*\*Кафедра химических технологий, экспертизы и

безопасности пищевой продукции\*\*\*

\*\*\*Херсонский национальный технический университет

Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, Украина, 73008

### 1. Введение

В процессе первичной очистки шерсти шерстный жир является побочным продуктом, который получают путем экстракции органическими растворителями из промывных вод или из самой шерсти.

Технический шерстный жир используется главным образом как эффективное антикоррозионное средство при хранении и транспортировке машинных изделий. Шерстный жир широко используется для приготовления смазочных веществ с высокой температурой точки плавления. Такое смазочное вещество особенно важно для смазки подшипников. Смеси на основе шерстного жира применяются для смазки букс железнодорожных вагонов или получения некоторых технических эмульсий.

Еще более ценным продуктом, получаемым из очищенного шерстного жира, является ланолин, который вырабатывают из технического шерстного жира путем выделения свободных жирных кислот и минеральных загрязнений.

Ланолин широко используется в косметической промышленности как один из лучших и наиболее дешевых веществ для ухода за кожей. Он необходим для изготовления фармацевтических и медицинских препаратов. Ланолин обладает бактерицидными свойствами, что очень важно для приготовления антидерматитовых кремов. При облучении его или его спиртов ультрафиолетовыми лучами можно приготовить антирахитические витамины. Ланолин широко используется также в текстильной, полиграфической, кожевенной промышленности и в других отраслях [1, 2].

На сегодня в Украине шерстный жир не добывается, поэтому постоянная потребность украинских предприятий пищевой, парфюмерно-косметической и фармацевтической промышленности в качественном ланолине удовлетворяется за счет экспорта. Добычу шерстного жира в Украине останавливает отсутствие эффективных способов интенсификации данного процесса и их теоретическое обоснование.

Поэтому поиск и изучение путей повышения продуктивности процесса жиродобычи является актуальным.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для извлечения шерстного жира был выбран наиболее распространенный метод извлечения животных жиров – метод исчерпывающей экстракции, поскольку единого, стандартного метода определения количества шерстного жира в невыттой шерсти не существует.

Проблема разделения смесей и выделения в чистом виде индивидуальных химических соединений имеет огромное практическое значение [3]. В последние десятилетия интерес к этой проблеме усилился в связи с развитием металлургии цветных и редких металлов, полупроводниковой техники [4, 5]. Усовершенствование методов разделения и концентрирования стимулируется также развитием других областей производства, таких как нефтяная, фармацевтическая, пищевая промышленности [3, 6–8].

Основными преимуществами экстракционного метода являются высокие избирательность и чистота разделения по отношению к экстрагируемым веществам, возможность работы, как с большими, так и самыми малыми концентрациями, отсутствие загрязненных продуктов, легкость технологического и аппаратного оформления, возможность осуществления непрерывного процесса, автоматизации и, наконец, высокая производительность. Эти особенности делают экстракционный метод перспективным для применения в различных отраслях промышленности [9].

Полнота и скорость экстракции зависит от следующих факторов: размер частиц сырья, температура и продолжительность процесса, соотношение между количеством сырья и экстрагента. Одним из основных способов интенсификации процесса экстракции является уменьшение размера частиц растительного сырья [10]. Однако применение данного способа недопустимо в случае экстрагирования шерстного жира, так как шерстяное волокно также является ценным сырьем.

К современным способам ускорения экстракции относят различные физические и физико-химические методы воздействия. Известно использование электромагнитного поля сверхвысокой частоты [11], ультразвуковых пульсаций [12], вихревой экстракции с высокой частотой вращения мешалки [13], микроволнового электромагнитного излучения [14–16], сверхкритического диоксида углерода [17, 18], электрического поля постоянного тока [19, 20].

Однако, несмотря на большое количество различных способов повышения продуктивности процесса экстракции, их широкое внедрение в современных условиях весьма затруднительно по следующим причинам: сложность аппаратного оформления, невысокий ресурс работы оборудования, его высокая стоимость, высокая энергоёмкость процесса.

Таким образом, все существующие на сегодняшний день физические способы интенсификации процесса экстрагирования не нашли широкого промышленного применения, а потому в настоящее время все еще актуальным является поиск и разработка новых способов интенсификации, которые могут обеспечить повышение качества полученного сырья при снижении материалоёмкости и повышении экологической чистоты технологии.

Для ускорения экстракции шерстного жира авторами предложено применение высокоэнергетической дискретной обработки (ВДО). Сущность этого способа заключается в том, что при осуществлении внутри объема жидкости специально сформированного импульсного электрического разряда вокруг зоны его образования возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу. Уникальные возможности физико-химического воздействия ВДО на обрабатываемые материалы обеспечивают ее широкое применение в самых различных химико-технологических процессах, в частности для обработки волокнистых материалов.

В ранее проведенных исследованиях авторами установлено, что под действием ВДО происходят химические и структурные преобразования шерстистой воды, что способствует интенсификации процесса коагуляции шерстного жира при очистке промывной воды [21], а также изменяется целостность жировой пленки на поверхности волокна, что способствует повышению эффективности извлечения шерстного жира в процессе очистки волокна [22].

## 3. Цель исследования

Цель работы состояла в исследовании влияния предварительной ВДО шерстяного волокна на скорость экстракции шерстного жира и его физико-химические свойства.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- изучить кинетику экстракции шерстного жира под влиянием предварительной ВДО шерстяного волокна;
- определить порядок и рассчитать константу скорости реакции экстрагирования шерстного жира при ВДО шерстяного волокна;
- установить влияние ВДО на физико-химические свойства полученного шерстного жира: кислотное число, пероксидное число, температуры плавления и застывания, рН водной вытяжки;
- предложить механизм воздействия ВДО на шерстный жир во время предварительной обработки невыттого шерстяного волокна.

## 4. Материалы и методы исследования ВДО, кинетики экстракции шерстного жира и его физико-химических свойств

ВДО шерстяного волокна проводилась на лабораторной установке «Вега-6» в течение 2 мин. при модуле обрабатываемой ванны  $M=100$  [21]. Для определения влияния ВДО на изменение свойств шерстного жира, он был извлечен из необработанного волокна, которое тоже было заранее промыто в холодной воде. Перед экстрагированием образцы обработанной и необработанной шерсти сушились при температуре  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В качестве экстрагента в работе использовался петролейный эфир, как наиболее доступный, эффективный и безопасный. Извлечение шерстного жира проводили путем обработки отобранной пробы шер-

сти петролевым эфиром в аппарате Сокслета [23, 24]. По окончании экстрагирования чистый растворитель отгоняли, полученный экстракт высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы в течение 3–4 ч. при температуре 60 °С.

Порядок реакции определяли графическим методом. С этой целью были построены зависимости различных функций концентрации от времени и определено, для какой из них наблюдается прямолинейная зависимость. Линейные зависимости для реакций различных порядков получаются в следующих координатах: нулевого порядка  $C=f(t)$ , первого порядка  $\ln C=f(t)$ , второго порядка  $1/C=f(t)$  [25].

Для реакции первого порядка константы скорости процесса экстракции рассчитывались по уравнению Стирлинга:

$$K_1 = \frac{1}{\tau_1} \cdot \ln \frac{C_0}{C_1}$$

где  $C_0$  – концентрация шерстного жира в начальный период времени;  $C_1$  – концентрация шерстного жира в период времени  $\tau_1$  [26].

Поскольку в Украине не существует нормативных стандартов для контроля качества технического шерстного жира, физико-химические константы шерстного жира (кислотное число, пероксидное число, температура плавления, застывания, рН водной вытяжки) определялись согласно методам, указанным в ДСТУ 4463:2005. «Маргарини, жири кондитерські та для молочної промисловості». Число омыления технического шерстного жира определяли согласно ДСТУ ISO 3657:2004. «Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення числа омилення». Эфирное число было рассчитано по разнице между числом омыления и кислотным числом шерстного жира.

## 5. Результаты исследования влияния предварительной ВДО шерстяного волокна на скорость экстракции шерстного жира

Скорость экстракции является одним из главных параметров в процессе извлечения шерстного жира. Для того чтобы иметь представление о влиянии ВДО на скорость прохождения процесса экстракции, была исследована кинетика экстракции шерстного жира в определенные интервалы времени. Кинетику экстракции оценивали по содержанию шерстного жира (в % от массы волокна) в экстракте после его отгонки. По полученным данным после соответствующих расчетов построены кривые зависимости экстракции шерстного жира от времени (рис. 1).

Анализ кинетических кривых, представленных на рис. 1, свидетельствует о явном преимуществе получения шерстного жира из шерсти, которая была подвергнута предварительной ВДО. Так, полное экстрагирование жира из обработанной шерсти достигается уже при длительности процесса 5 ч. За это время из необработанной шерсти экстрагируется лишь 35 % всего жира, а полное его извлечение наступает после 12 ч. процесса экстракции.

Скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих

веществ, взятых в некоторых степенях. То есть для реакции  $aA+bB+dD+\dots \rightarrow eE+\dots$  можно записать:

$$V = K \cdot C_A^a \cdot C_B^b \cdot C_D^d \dots \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $K$  – это константа скорости химической реакции, чрезвычайно важная при сопоставлении кинетики различных реакций величина. Она численно равна скорости реакции при концентрациях всех реагирующих веществ, равных единице. Величина константы скорости реакции зависит от природы реагирующих веществ, температуры и присутствия катализатора [26, 27].

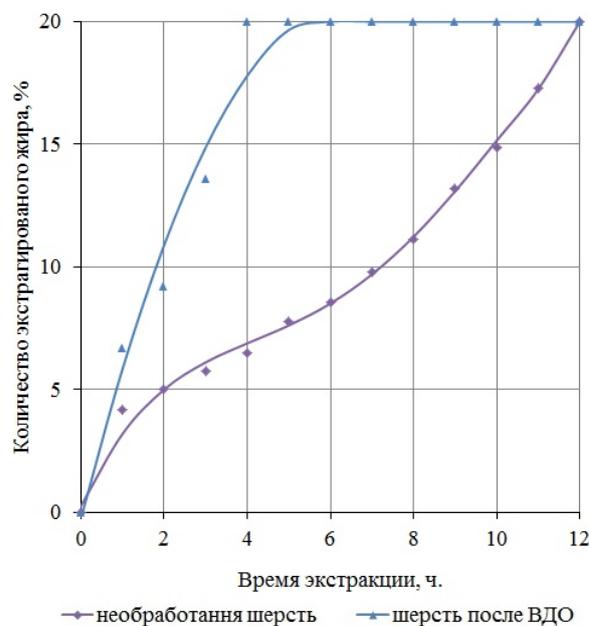


Рис. 1. Кинетические кривые экстракции шерстяного жира из шерстяного волокна

Таким образом, сопоставляя константы скорости различных реакций при одинаковых условиях (температуре, одних и тех же реагентах), можно установить влияние того или иного катализатора на скорость реакции в целом. В нашем случае определение констант скорости экстрагирования шерстного жира из обработанной и необработанной шерсти позволит выяснить степень влияния ВДО на скорость процесса экстракции.

Уравнение (1) – это кинетическое уравнение химической реакции, характеризующее зависимость скорости реакции от концентраций реагирующих веществ, определяется экспериментально. Показатель степени при концентрации каждого из реагирующих веществ в кинетическом уравнении химической реакции (соответственно  $a$ ,  $b$  и  $d$ ) есть частный порядок реакции по данному компоненту. Сумма показателей степени в кинетическом уравнении химической реакции ( $a+b+d$ ) представляет собой общий порядок реакции. Следует подчеркнуть, что порядок реакции определяется только из экспериментальных данных и не связан со стехиометрическими коэффициентами при реагентах в уравнении реакции.

Наиболее простым методом определения порядка реакции является графический метод. Графические

зависимости для определения порядка реакции в процессе экстрагирования приведены на рис. 2.

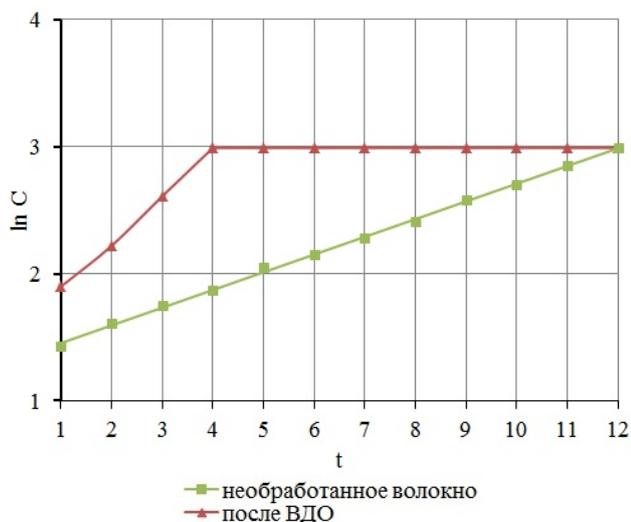


Рис. 2. Изменение логарифма концентрации шерстного жира в процессе экстракции.

Прямолинейный характер зависимости  $\ln C=f(t)$  свидетельствует о кинетике реакции первого порядка, поэтому константы скорости экстракции были рассчитаны по уравнению Стирлинга (табл. 1).

Таблица 1

Влияние предварительной ВДО шерстяного волокна на константы скорости экстракции шерстного жира

Параметр	Условия экстрагирования	
	необработанное волокно	волокно после ВДО
Константа скорости реакции, $K$ , $\text{мин}^{-1}$	0,043	0,825

Полученные данные свидетельствуют о том, что предварительная ВДО шерстяного волокна значительно увеличивает скорость экстрагирования шерстного жира, что позволит сократить продолжительность процесса экстракции и положительно скажется на себестоимости выпускаемой продукции.

## 6. Результаты исследования влияния предварительной ВДО шерстяного волокна на физико-химические свойства шерстного жира и установление механизма воздействия ВДО на шерстный жир

Далее в работе были определены физико-химические свойства полученного шерстного жира (табл. 2).

Кислотное число показывает меру содержания свободных кислот (средний молекулярный вес этих кислот) и выражается в миллиграммах едкого калия, необходимого для нейтрализации свободных кислот, входящих в состав 1 г исследуемого вещества. Согласно результатам, представленным в табл. 5, при ВДО шерстяного волокна кислотное число шерстного жира снижается на 20 % и составляет 4,48 мг КОН. Следует отметить, что согласно требованиям, указанным в [28], технический шерстный жир, получа-

емый из украинской шерсти, должен иметь значение кислотного числа не более 5, а из импортной – не более 7. Таким образом, предварительная ВДО шерстяного волокна снижает показатель кислотного числа жира, делая его пригодным для производства ланолина высокого качества.

Таблица 2

Физико-химические свойства шерстного жира

Показатель	Условия экстрагирования	
	волокно после ВДО	волокно после ВДО
Кислотное число, мг КОН	5,60	4,48
Число омыления, мг КОН	100,98	78,54
Эфирное число, мг КОН	95,38	74,06
Перекисное число, мл $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0,42	0,85
Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	$40-41 \pm 0,5$	$34-35 \pm 0,5$
Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$	$35-36 \pm 0,5$	$30-31 \pm 0,5$
pH водной вытяжки	6	7

Число омыления выражается количеством миллиграммов едкого калия, которое необходимо для нейтрализации кислот, как свободных, так и связанных, содержащихся в 1 г жира. Согласно данным, приведенным в табл. 5, число омыления шерстного жира, полученного из шерсти после ВДО, значительно ниже числа омыления контрольного образца жира, что свидетельствует об уменьшении общего количества кислот после ВДО.

Эфирное число – это количество связанных жирных кислот, содержащихся в жире. Определяется как разница между количеством всех жирных кислот (число омыления) и свободных (кислотное число). При ВДО шерсти эфирное число жира снижается на 22 %.

Перекисное число – отношение количества веществ в пробе, в пересчете на активный кислород, которые при стандартных условиях окисляют йодид калия, к массе опытной пробы. Характеризует количество первичных продуктов окисления жиров – пероксидных соединений (гидроперекисей, перекисей, диалкилперекисей), которые способны выделять из водного раствора йодистого калия йод. В данном случае при ВДО наблюдается увеличение перекисного числа, что, однако, является нормой для данного показателя. Подобные изменения можно объяснить следующим. Во время ВДО в воде происходят химические преобразования, в результате которых возникают свободные радикалы (до 4,2 ммоль/л при ВДО 2 мин.) и пероксид водорода (до 0,1 ммоль/л при ВДО 2 мин.). Данные превращения в воде в свою очередь, существенно влияют на значение перекисного числа [29].

Температура плавления характеризует переход жира из твердого состояния в жидкое. Согласно полученным данным, при ВДО шерстяного волокна температура плавления снижается с  $40-41$  до  $34-35$   $^{\circ}\text{C}$ . Подобные изменения характеризуются улучшением фармакологических свойств, в частности повышением способности к впитыванию жира или продукта, который его содержит, кожей человека. Температура застывания шерстного жира на  $4-5$   $^{\circ}\text{C}$  ниже температуры плавления, что согласуется с данными, приведенными в [30].

Результаты определения pH водной вытяжки образцов шерстного жира показали, что после ВДО

показатель незначительно изменяется в щелочную сторону.

Также следует отметить, что шерстный жир, полученный из необработанной шерсти, коричневого цвета, тогда как жир, полученный из шерсти после ВДО, стал более светлым, кремовым.

Принимая во внимание полученные результаты при исследовании применения ВДО для интенсификации технологических процессов обработки шерсти, считаем, что ВДО выполняет комплексное действие при предварительной обработке шерстяного волокна в процессе извлечения шерстного жира.

Во-первых, действие ВДО заключается в разрушении сплошной жировой пленки на поверхности волокна (рис. 3), что приводит к росту скорости извлечения жира.

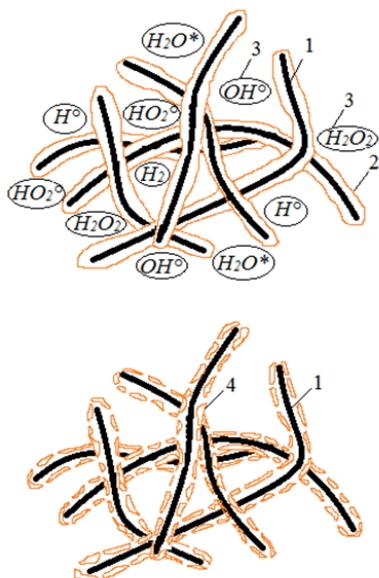


Рис. 3. Механизм разрушения жировой пленки на поверхности шерстяного волокна под воздействием ВДО: 1 – шерстяное волокно; 2 – жировая пленка; 3 – вода под действием ВДО; 4 – частицы измельченного жира

Полученные данные [21] свидетельствуют о том, что влияние ВДО на воду и шерсть, помещенную в нее, нельзя объяснить только кавитационным перемешиванием воды.

Независимо от природы растворенных веществ, электрический разряд действует на одно вещество – воду, в результате чего происходит реструктуризация и активация ее молекул. Кроме того изменяются ее

физико-химические свойства: образуются свободные радикалы и продукты их рекомбинации и, как следствие, увеличивается значение pH (с 7,12 до 7,49) и электропроводности воды (с 1612 до 1922 мкСм/см) при ВДО 2 мин. [21].

По мнению авторов, действие ВДО подобно действию щелочной рафинации, в результате которой происходит выделение из жира свободных жирных кислот и других гидратированных (белковых) веществ в виде мыл. Данным утверждением можно объяснить уменьшение кислотного числа жира после ВДО. Кроме того, мыла, выпадая в осадок, поглощают красящие вещества, что объясняет изменение цвета шерстного жира с коричневого на кремовый под действием ВДО.

## 6. Выводы

В результате исследования кинетики экстракции шерстного жира установлено, что после предварительной ВДО шерстяного волокна длительность процесса экстракции жира сокращается с 12 до 4 часов. С помощью графического метода найдено, что процесс экстракции шерстного жира относится к реакции первого порядка. Под влиянием ВДО константа скорости реакции увеличивается 0,043 до 0,825 мин<sup>-1</sup>.

Определено, что предварительная ВДО шерстяного волокна приводит к повышению качества шерстного жира, а именно:

- снижению кислотного числа – уменьшение количества свободных карбоновых кислот в жире;
- снижению числа омыления – увеличение количества высокомолекулярных кислот или неомыляемых веществ;
- снижению эфирного числа – снижение количества связанных жирных кислот;
- снижению показателей температуры плавления и застывания – повышения способности к впитыванию жира кожей человека;
- повышению значения pH водной вытяжки шерстяного жира;
- изменению цвета жира из коричневого на кремовый.

Предложен вероятный механизм воздействия ВДО на шерстный жир во время предварительной обработки невымытого шерстяного волокна, который заключается в одновременном разрушении сплошной жировой пленки на поверхности волокна под действием кавитации и воздействии на жир и волокно образованных в ходе ВДО свободных радикалов и пероксида водорода.

## Литература

1. Евилевич, А. З. Утилизация осадков сточных вод [Текст] / А. З. Евилевич, М. А. Евилевич. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
2. Sengupta, A. Comprehensive view on chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pretreatment [Text] / A. Sengupta, J. Behera // American Journal of Engineering Research. – 2014. – Vol. 3, Issue 7. – P. 33–43.
3. Seader, J. D. Separation process principles. Chemical and Biochemical Operations [Text] / J. D. Seader, E. J. Henley, D. K. Roper. – John Wiley & Sons, Inc, 2010. – 849 p.
4. Visser, A. E. Task-specific ionic liquids for the extraction of metal ions from aqueous solutions [Text] / A. E. Visser, R. P. Swatloski, W. M. Reichert, R. Mayton et. al. // Chemical Communications. – 2001. – Issue 1. – P. 135–136. doi: 10.1039/b008041l
5. Wei, G. Room temperature ionic liquid as a novel medium for liquid/liquid extraction of metal ions [Text] / G. Wei, Z. Yang, C. Chen // Analytica Chimica Acta. – 2003. – Vol. 488, Issue 2. – P. 183–192. doi: 10.1016/s0003-2670(03)00660-3

6. Kharisov, B. I. Nanotechnology-based remediation of petroleum impurities from water [Text] / B. I. Kharisov, H. V. Rasika Dias, O. V. Kharissova // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2014. – Vol. 122. – P. 705–718. doi: 10.1016/j.petrol.2014.09.013
7. Eow, J. S. Electro-hydrodynamic separation of aqueous drops from flowing viscous oil [Text] / J. S. Eow, M. Ghadiri, A. O. Sharif // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2007. – Vol. 55, Issue 1-2. – P. 146–155. doi: 10.1016/j.petrol.2006.04.005
8. Singh, A. Green extraction methods and environmental applications of carotenoids-a review [Text] / A. Singh, S. Ahmad, A. Ahmad // *RSC Advances*. – 2015. – Vol. 5, Issue 77. – P. 62358–62393. doi: 10.1039/c5ra10243j
9. Грабов, Л. Н. Интенсификация тепломасообменных процессов получения галеновых препаратов [Текст] / Л. Н. Грабов, Д. В. Посунько // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. – 2014. – № 45, Т. 3. – С. 66–69.
10. Хантургаев, А. Г. Исследование состава липидов семян сосны сибирской [Текст] / А. Г. Хантургаев, В. Г. Ширеторова, Л. Д. Раднаева, Г. И. Хантургаева, Е. С. Аверина, Н. В. Бодоев // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2003. – Т. 11, № 4. – С. 667–671.
11. Корчинский, А. А. Экстракция сырья растительного происхождения [Текст] / А. А. Корчинский, М. В. Матюшкин // *Промышленная теплотехника*. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 137–139.
12. Васильев, А. Д. Интенсификация процесса экстракции биологически-активных веществ из растительного сырья и создание термодиффузионного оборудования [Текст] / А. Д. Васильев // *Промышленная теплотехника*. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 15–19
13. Гусейнова, Б. М. Интенсификация процесса экстракции нутриентов из плодов и ягод действием микроволн [Текст] / Б. М. Гусейнова, Э. Ш. Исмаилов, Т. И. Даудова // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2011. – № 4. – С. 50–52.
14. López-Mesas, M. Microwave enhanced extraction of wool wax from solid wool scour wastes [Text] / M. López-Mesas, F. Carrillo, M. Crespi // *Analytica Chimica Acta*. – 2003. – Vol. 494, Issue 1-2. – P. 255–260. doi: 10.1016/s0003-2670(03)00884-5
15. Журавская-Скалова, Д. В. Активные методы интенсификации экстрагирования биологического сырья [Текст] / Д. В. Журавская-Скалова, О. И. Квасенков // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2009. – № 12. – С. 23–24.
16. Грачева, Н. В. Интенсификация процесса экстракции березового гриба чага в электрическом поле постоянного тока [Текст] / Н. В. Грачева, А. Б. Голованчиков // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2011. – Т. 1, № 4. – С. 82–86.
17. López-Mesas, M. Supercritical fluid extraction with cosolvents of wool wax from wool scour wastes [Text] / M. López-Mesas, J. Christoe, F. Carrillo, M. Crespi // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2005. – Vol. 35, Issue 3. – P. 235–239. doi: 10.1016/j.supflu.2005.01.008
18. López-Mesas, M. Alternative methods for the wool wax extraction from wool scouring wastes [Text] / M. López-Mesas, F. Carrillo, M. C. Gutiérrez, M. Crespi // *Grasas y Aceites*. – 2007. – Vol. 58, Issue 4. – P. 402–407. doi: 10.3989/gya.2007.v58.i4.453
19. Козуб, В. Т. Интенсификация процессов экстрагирования импульсным электрическим полем высокой напряженности [Текст] / В. Т. Козуб, А. Г. Кошкарлова // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2014. – Т. 20, № 3. – С. 496–501.
20. Улахович, Н. А. Экстракция как метод разделения и концентрирования [Текст] / Н. А. Улахович // *Соросовский образовательный журнал*. – 1999. – № 6. – С. 39–46.
21. Semeshko, O. The influence of electrical discharge nonlinear bulk cavitation on the structural and chemical changes in water during the wool fiber bleaching [Text] / O. Semeshko, J. Saribekova, T. Asulyuk, S. Myasnikov // *Chemistry & chemical technology (Ch&ChT)*. – 2014. – Vol. 8, Issue 4. – P. 410–415.
22. Сарибекова, Ю. Г. Инновационная технология обработки шерстяного волокна [Текст] / Ю. Г. Сарибекова, О. Я. Семешко, А. В. Ермолаева // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2013. – № 3. – С. 79–83.
23. Мирошниченко, С. И. Достоверность методик определения количества жира в невыточенной шерсти [Текст] / С. И. Мирошниченко // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2005. – № 2. – С. 30–33.
24. Dominguez, C. Effect of the carbon dioxide modifier on the lipid composition of wool wax extracted from raw wool [Text] / C. Dominguez, E. Jover, J. M. Bayona, P. Erra // *Analytica Chimica Acta*. – 2003. – Vol. 477, Issue 2. – P. 233–242. doi: 10.1016/s0003-2670(02)01418-6
25. Красовский, И. В. Физическая и коллоидная химия [Текст] / И. В. Красовский, Е. И. Вайль, В. Д. Безуглый. – К.: Вища школа, 1983. – 352 с.
26. Панченков, Г. М. Химическая кинетика и катализ [Текст] / Г. М. Панченков, В. П. Лебедь. – М.: Химия, 1985. – 590 с.
27. Письменко, В. Т. Кинетика химических реакций. Определение константы скорости и энергии активации реакций [Текст] / В. Т. Письменко, Е. Н. Калюкова. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 20 с.
28. Горбунова, Л. С. Первичная обработка шерсти [Текст] / Л. С. Горбунова, Н. В. Рогачев, Л. Г. Васильева, В. М. Колдаев. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 352 с.
29. Семешко, О. Я. Электророзрядная обработка в технологиях промивки вовни та одержання вовняного жиру [Текст] / О. Я. Семешко, Ю. Г. Сарибекова, А. В. Ермолаева, М. Л. Кулігін // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. – 2014. – № 5 (79). – С. 215–218.
30. Паронян, В. К. Технология жиров и жирозаменителей [Текст] / В. К. Паронян. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 2004. – 352 с.