

Елена Викторовна Андреева

Астраханский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, Россия, Астрахань, e-mail: elpetrovicheva1970@gmail.com

София Сергеевна Евсеева

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, старший преподаватель кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Россия, Астрахань, e-mail: albert909@yandex.ru

Игорь Юрьевич Алексанян

Астраханский государственный технический университет, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, профессор, Россия, Астрахань, e-mail: 16081960igor@gmail.com

Альберт Хамед-Харисович Нугманов

Астраханский государственный технический университет, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, доцент, Россия, Астрахань, e-mail: albert909@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ТЕХНОЛОГИИ ПИГМЕНТНЫХ ЭКСТРАКТОВ

Цель исследования – определение характеристик плодов черного тута (шелковицы) и частиц их выжимок для обеспечения рациональных режимов комплексной технологии красящих экстрактивных компонентов. Особенностью сырьевых ресурсов Астраханской области является то, что они включают широкий спектр дикорастущих сырьевых материалов, среди которых встречаются просто кладези биологически активных компонентов, способных к существенному к позитивному физиологическому воздействию на жизнедеятельность человека и вполне пригодных для производства натуральных красителей. К таким ресурсам относятся и плоды черного тута (шелковицы). Проведены анализ дисперсного состава частиц выжимок ягоды, полученной после отжима, и экспериментальное определение их теплофизических характеристик посредством экспресс-методики комплексного нахождения теплофизических параметров, опирающейся на термоинерционные параметры термодатчика. Такой подход дает возможность достаточно оперативно найти коэффициенты тепло- и температуропроводности, а также массовой теплоемкости см образца в течение его термообработки. Представлены микрофотографии фрагментов частиц ягоды тutowника после воздействия на нее прессующего оборудования вместе с частицами мякоти после операции фильтрования, методы их схематизации и математической обработки для дисперсного анализа. В итоге исследования выжимок тута черного цвета при влажности 83 % найдены величины их теплофизических параметров. Таким образом, проведенный дисперсный анализ показал, что средний размер у исследуемого растительного сырья $d_{\text{экв,ср}} = 2,27$ мм попадает в требуемый диапазон, поэтому можно считать полученный результат вполне удовлетворительным. Полученные дисперсные и теплофизические параметры можно применять при проектировании оборудования для экстракции, а также моделировании этого процесса.

Ключевые слова: натуральные красители, плоды черного тута (шелковицы), пигментные экстракты, дисперсный анализ, теплофизические характеристики, выжимки, экстракция.

Elena V. Andreeva

Astrakhan State Technical University, senior lecturer of the chair of health and safety and engineering ecology, Russia, Astrakhan, e-mail: elpetrovicheva1970@gmail.com

Sofia S. Evseeva

Astrakhan State Architectural and Construction University, senior lecturer of the chair of examination, operation and management of real estate, Russia, Astrakhan, e-mail: albert909@yandex.ru

Igor Yu. Aleksanyan

Astrakhan State Technical University, professor of the chair of technological machines and equipment, doctor of technical sciences, professor, Russia, Astrakhan, e-mail: 16081960igor@gmail.com

Albert H-H. Nugmanov

Astrakhan State Technical University, professor of the chair of technological machines and equipment, doctor of technical sciences, associate professor, Russia, Astrakhan, e-mail: albert909@yandex.ru

THE DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS AND INTERMEDIATE PRODUCTS OF PIGMENT EXTRACTS TECHNOLOGY

The aim of the study was to determine the characteristics of the fruits of black mulberry (Morus L.) and the particles of their pomace to ensure rational modes of integrated technology of coloring extractive components. The peculiarity of the raw materials of Astrakhan Region is that they include a wide range of wild-growing raw materials, among them there are simple stores of biologically active components capable of significant positive physiological effect on human life and quite suitable for the production of natural dyes. These resources include the fruits of black mulberry (Morus L.). The analysis of variance of the composition of the particles of the pomace of the berry obtained after pressing and experimental evaluation of their thermophysical characteristics by means of express method for the complex finding of thermophysical parameters based on the thermal inertial parameters of the thermal sensor was carried out. This approach makes it possible to find the coefficients of warmth and heat diffusivities, and also mass thermal capacity c_m of the sample during its heat treatment. The microphotos of the fragments of the particles of berry of mulberry after the impact on it of the pressing equipment together with pulp particles after filtering operation, the methods their schematization and mathematical processing for the disperse analysis were presented. As a result of the study of black mulberry pomace, at moisture content of 83 %, the values of their thermophysical parameters were found. Thus, the analysis of variance carried out showed that average size of the studied plant raw material, $d_{equ_{mid}} = 2.27$ mm, had been within the required range; therefore, the result obtained can be considered quite satisfactory. The obtained dispersed and thermophysical parameters can be used in the design of the equipment for the extraction, as well as in modeling this process.

Keywords: natural dyes, fruits of black mulberry (Morus L.), pigment extracts, analysis of variance, thermophysical characteristics, pomace, extraction.

Введение. Перспективным направлением совершенствования технологий натуральных антоцианиновых красителей является изыскание возможностей использования при их производстве растительного сырья, имеющего не только высокую урожайность, но и низкую себестоимость, причем такие красители в большинстве случаев будут являться премиксами, обладающими пищевой ценностью и заданными функциональными свойствами. Особенностью сырьевых ресурсов Астраханской области является то, что они включают широкий спектр

дикорастущих сырьевых материалов, среди которых встречаются просто кладези биологически активных компонентов, способных к позитивному физиологическому воздействию на жизнедеятельность человека и вполне пригодных для производства натуральных красителей. К таким ресурсам относятся и плоды черного тута (шелковицы), природные запасы которых дают возможность их заготовки не только для локальных потребностей региона, но и в масштабе всей страны. Очевидно, что формирование рационального технологического потока

выработки пищевых красителей (ПК) из ягод шелковицы черной при утилизации отходов данной технологии опирается, в том числе, на создание рациональных условий хранения с учетом механизма поведения антоцианов и расширяет перспективу выработки экологически безопасных и позитивно влияющих на здоровье человека природных ПК и побочных продуктов. Рациональные постановка задач и их решение обеспечат формирование заданной структуры и свойств частиц сырья, позволят в итоге повысить эффективность экстракции, что невозможно без комплексного изучения морфометрических и теплофизических характеристик исходных характеристик для каждого процесса технологии данных продуктов.

Цель исследования. Определение характеристик плодов черного тута (шелковицы) и частиц их выжимок для обеспечения рациональных режимов комплексной технологии красящих экстрактивных компонентов.

Задачи:

- провести анализ дисперсного состава частиц выжимок тутовой ягоды, полученных после отжима сока;
- эмпирически найти теплофизические характеристики полученных после отжима сока данных выжимок;
- определить плотность объекта исследования по его химическому составу;
- провести анализ комплекса полученных характеристик в аспекте возможного обеспечения рациональными режимами комплексной технологии красящих экстрактивных компонентов.

Объект, методы и результаты исследования. Шелковица, или тутовое дерево (тутовник), является листопадным растением семейства Тутовые. В мире существует всего около 17 разновидностей дерева, которые произрастают в Украине, Румынии, Болгарии, центральной и южной частей России, Закавказье, а также в теплых умеренных и субтропических зонах Северной Америки, Азии и Африки. Родиной тутового дерева считаются страны Южной и Западной Азии (Афганистан и Иран), а белая шелковица берет начало из восточных регионов Китая [1].

Проведен анализ дисперсного состава частиц выжимок ягоды, полученных после отжима сока. По ISO9276-1: 1998 габаритный размер

частиц находится как сферический диаметр с идентичными для измеряемого объекта физическими параметрами. С целью выявления размерного распределения частиц резонно применять методики, дающие возможность обобщать размерные или массовые параметры множества частиц, обычно не >200 ил фракций при статистической обработке данных. К подобным методикам можно причислить оптический или электронный микроскопический, ситовый и седиментационный анализ в поле центробежных и гравитационных сил. В качестве эквивалентного диаметра частицы ягоды тутовника $d_{\text{экв}}$ целесообразно выбрать диаметр сферы с такой же площадью поверхности. Данный выбор обоснован тем, что габариты экстрактивных частиц и их общая поверхностная площадь служат определяющими параметрами процедуры экстрагирования по причине того, что при уменьшении габаритов частиц возрастает площадь поверхности контакта между экстрагентом и сырьем, следовательно, интенсифицируется сам процесс.

Следует отметить, что размерные параметры частиц без учета их внутренней структурной организации подчас не являются оценочным критерием рациональной формы и габаритов экстрактивного продукта. Вследствие того, что ширина и длина значительно превышают толщину частицы, ее можно уподобить бесконечной пластине, где торцевую площадь можно не учитывать при моделировании внутреннего и внешнего тепло- и массообмена, однако в реальности, при определенном увеличении степени измельчения, толщина частиц становится сопоставима с другими размерами и по сути приводит к увеличению площади контакта фаз. Ввиду неправильной геометрической формы поверхности исследуемых частиц в качестве характерного размера $d_{\text{хар}}$ можно принять диаметр круга с площадью, равной ее площади. Таким образом, площадь при контакте фаз в процессе массообмена возможно найти сложением равнозначных поверхностей частиц за исключением торцевой, а при схематичной иллюстрации фотографии представить частицы в виде окружностей. В итоге эквивалентный диаметр исследуемой частицы ягоды тутовника можно при массообмене рассчитать из следующего выражения:

$$d_{\text{экв}} = \frac{d_{\text{хар}}}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Проведено экспериментальное определение теплофизических характеристик (ТФХ), полученных после отжима сока выжимок ягоды.

В работах [2, 3] приведен методический подход к комплексному нахождению теплофизических параметров вязких, жидко- и пастообразных, а также тонкодисперсных образцов, опирающийся на термоинерционные параметры термодатчика. Такой подход дает возможность достаточно оперативно найти коэффициенты тепло- (λ) и температуропроводности (α), а также и массовой теплоемкости c_M образца в течение его термообработки. Множество известных зондовых методик не дают возможности найти ТФХ в течение технологической операции [4]. Опытные данные приводят к заключению, что интенсивность нагрева (охлаждения) термодатчика, оперативно введенного в образец, обусловлена его параметрами, на чем и базируется экспресс-методика нахождения ТФХ

образца [2, 3]. Скорость нагревания термодатчика находится из соотношения [2]

$$\theta_{(\tau)} = \frac{T_c - T_{2(\tau)}}{T_c - T_0} = \frac{2K}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp(-u^2 Fo) u^2 du}{(u^2 - K)^2 + u^2 K^2}, \quad (2)$$

где $\theta_{(\tau)} = \frac{T_c - T_{2(\tau)}}{T_c - T_0}$ – температурный безразмерный критерий; критерий -Фурье; $K = mc_1\rho_1$ – обусловленный объемными долями образца и термопары; $m = \left(\frac{c_2\rho_2}{3}\right)^{-1}$ – ее константа ((м³·К)/Дж); $c_1\rho_1$ и $c_2\rho_2$ – объемные теплоемкости образца и термопары (Дж/(м³·К)).

Анализ исследований, проведенных авторами [2], приводит к заключению, что по скорости нагревания термодатчика можно определить не только λ [4], но и α , а также объемную c исследуемого материала. Для этого, воспользовавшись известным разложением функции $\theta_{(\tau)}$ в ряд при больших значениях аргумента Fo , получим [2]

$$\theta_{(\tau)} = \frac{1}{2K \sqrt{\pi} \sqrt{Fo^3}} \left\{ 1 + \frac{3(2-K)}{2K} \cdot \frac{1}{Fo} + \frac{15[(K-2)^2 - 1]}{4K^2} \cdot \frac{1}{Fo^2} + \dots + \frac{105(K-2)[(K-2)^2 - 2]}{8K^3} \cdot \frac{1}{Fo^3} + \dots + R_n(Fo) \right\}. \quad (3)$$

Для последнего остаточного слагаемого $R_n(Fo)$ погрешность, возможная при замене ряда фиксированной суммой, по модулю менее, чем последнее, еще не откинутого слагаемого ряда.

Ввиду чего, ограничившись первыми тремя слагаемыми, найдем соотношение для расчета Fo и K

$$\theta_{2(\tau)} \approx \frac{1}{2K \sqrt{\pi} \sqrt{Fo^3}} \left\{ 1 + \frac{3(2-K)}{2K} \cdot \frac{1}{Fo} + \frac{15[(K-2)^2 - 1]}{4K^2} \cdot \frac{1}{Fo^2} \right\} \quad (4)$$

при ошибке

$$\delta_{\max} \leq \left| \frac{15[(K-2)^2 - 1]}{4K^2} \cdot \frac{1}{Fo^2} \right|. \quad (5)$$

Соотношение (5) обуславливает наиболее вероятную ошибку.

Соотношение (4) для $1 < K < 2$ при ординате $y = \theta_{2(\tau)}(Fo)\sqrt{Fo^3}$ и абсциссе $x = 1/Fo$ имеет параболический вид с пиком при $Fo_{\max}$. Опытное подтверждение такого заклю-

чения для ряда продуктов приведено в публикации [2]. Опираясь на необходимое требование функционального пика, найдем:

$$\frac{1}{Fo} = -\frac{1}{5} \cdot \frac{(2-K)K}{[(K-2)^2 - 1]}, \quad (6)$$

$$\theta_{2(\tau)} \sqrt{Fo^3} = -\frac{1}{2K \sqrt{\pi}} \left[\frac{0.15(2-K)^2}{(K-2)^2 - 1} - 1 \right]. \quad (7)$$

Впоследствии, осуществив опытные исследования и построив график $\theta \sqrt{\tau^3} = f\left(\frac{1}{\tau}\right)$, можно из соотношений (6) и (7) определить θ_{max}

$$\theta_{max} \sqrt{\left\{ -\frac{(2-K)K}{5 \cdot [(K-2)^2 - 1]} \right\}^{-3}} = \frac{1}{2K \sqrt{\pi}} \left[\frac{0.15(2-K)^2}{(K-2)^2 - 1} - 1 \right], \quad (8)$$

из которого можно определить величину K и далее вычислить Fo_{max} , соответствующий критерию K . Таким образом, предложенный метод [2] дает возможность определить весь необходимый комплекс ТФХ для исследуемых частиц выжимок ягоды черного тута, предварительно превратив их в гомогенную пищевую массу, по значениям Fo_{max} и K в момент τ_{max} при достижении θ_{max} . Окончательные расчетные формулы примут вид:

$$a = \frac{Fo_{max} R^2}{\tau_{max}}; \quad c_M \rho_M = \frac{K}{m}; \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{Fo_{max} R^2}{\tau_{max}} \cdot \frac{K}{m}; \quad (10)$$

где R – эквивалентный радиус зонда, м.

Для проведения экспериментальных исследований по вычислению теплофизических параметров ягод тутовника использовался термометр электронный «ЛТ-300», где чувствительным элементом служит пленочная термоопленка сопротивления из платины, нанесенная на керамическую поверхность. Такой элемент обуславливает достаточную воспроизводимость температурной характеристики и длительную стабильность. Ниже на рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки.

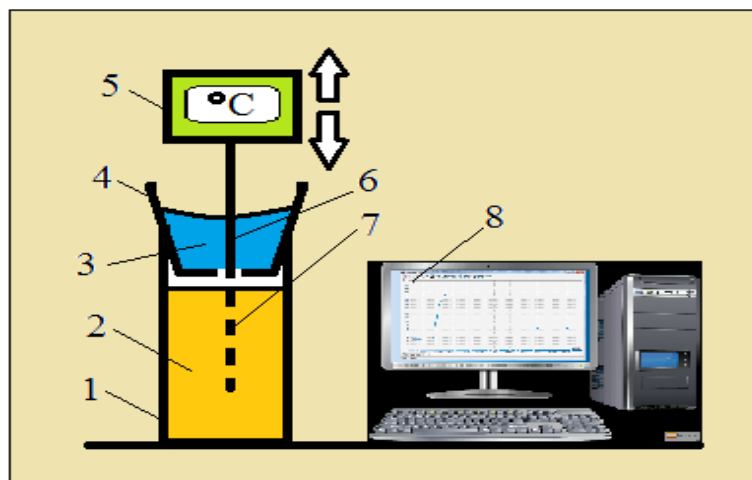


Рис 1. Лабораторный стенд:

1 – емкость для образца; 2 – пробирка с комнатной T ; 3 – водолеяная смесь для обеспечения T , приближенной к 0°C ; 4 – емкость из бумаги; 5 – ЛТ-300; 6 – зонд в исходном состоянии; 7 – он же в итоговом состоянии; 8 – компьютер с программным продуктом ThermoChart

Порядок проведения эксперимента следующий. Доводится температура водолеяной смеси в емкости из бумаги до интервала $1 \pm 4^\circ\text{C}$, затем активизируется программный продукт ThermoChar при приемке сигналов от «ЛТ-300»

и иллюстрации их на компьютерном мониторе. Готовится образец из ягод тутовника, который для возможности оперативного введения в него зонда диспергируется до формирования однородной биомассы. Далее образец с комнатной

температурой погружается в емкость, над которой устанавливается емкость из бумаги с термомощупом, заполненная водолеяной композицией. После готовности стенда с образцом термомощуп подключается к компьютеру, на мониторе которого иллюстрируется T , оперативно проводят зондом по дну емкости из бумаги, который вводится в образец. Программный продукт отражает варьирование T . Опыт проводит-

ся при 5-кратном дублировании, данные сводятся в таблицу и, согласно методике [2], осуществляются расчетные процедуры для нахождения ТФХ образца.

На рисунке 2 представлены фотографии фрагментов частиц ягоды тутовника после воздействия на нее прессующего оборудования вместе с частицами мякоти после операции фильтрования.



Рис. 2. Фотографии фрагментов поверхности у частичек плодов тутовника

На рисунке 3 представлены схематичные иллюстрации фрагментов частиц ягоды с учетом вышеуказанных допущений. Визуальный анализ фотографий показывает присутствие в исследуемом материале ориентировочно трех фракций, где характерные диаметры частиц в них сравнительно мало отличаются друг от друга, поэтому на схематичной иллюстрации фрагментов (рис. 3) частицы представлены окружностями с их средними диаметрами в каждой фракции, что упрощает математическое описание гранулометрического состава исследуемых

материалов. Результаты проведенных исследований по вышеприведенной методике представлены в таблице 1. Полученные значения эквивалентных диаметров исследуемых частиц ягод тутовника для трех фракций показывают, что подавляющее их большинство имеет величину $d_{\text{экв}}$ от 2,01 до 2,51 мм, поэтому с достаточной для инженерных расчетов точностью за размер, характеризующий дисперсную систему, можно выбрать некое усредненное значение между ними.

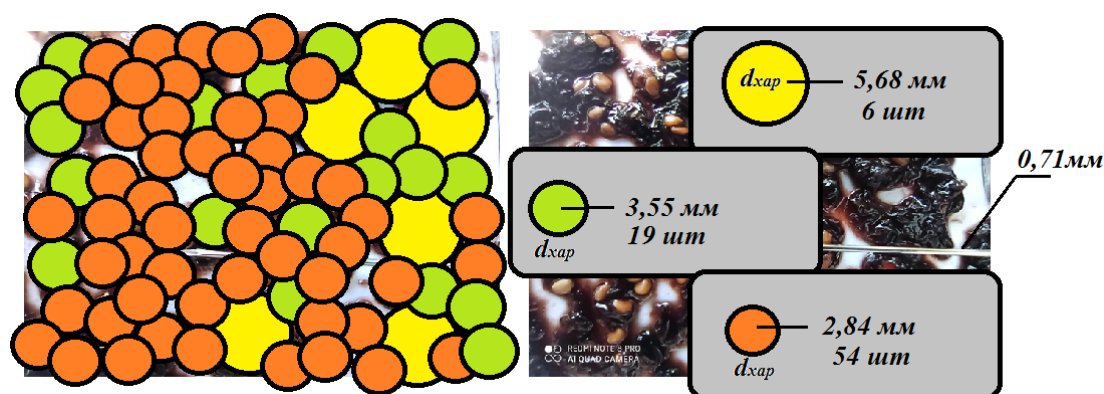


Рис. 3. Схематичные иллюстрации фрагментов поверхности частиц

Параметры, характеризующие дисперсный состав объектов исследования

Цвет окружности	$d_{\text{хар}}$, мм	$d_{\text{экв}}$, мм	Фракционное соотношение числа частиц, %
Желтый	5,68	4,02	7,6
Зеленый	3,55	2,51	24,1
Коричневый	2,84	2,01	68,3

Следует обратить внимание на то, что можно усреднять габариты частичек разными путями. В нашем варианте целесообразно сравнивать сферические объекты по их поверхностной площади по причине того, что она обуславливает скорость операции экстрагирования. Поверхностная сферическая площадь составляет πd^2

и потому для сравнительного анализа образцов величины $d_{\text{экв}}$ для 2 фракций возведем во вторую степень, складываем, относим к числу частичек и извлекаем корень квадратный, в итоге получим искомый средний эквивалентный диаметр $d_{\text{экв ср}}$, мм

$$d_{\text{экв ср}} = \sqrt{\frac{d_{1\text{хар}}^2 + d_{2\text{хар}}^2}{2}} = \sqrt{\frac{2,01^2 + 2,51^2}{2}} = 2,27 \text{ мм.} \quad (11)$$

Для различных видов растительного сырья, подвергаемого экстрагированию, существует определенный диапазон рационального размера частиц. Согласно официально опубликованным статьям Государственной фармакопеи Российской Федерации [5], растительное сырье должно быть измельчено до требуемых рациональных размеров. Данные статьи являются нормативным документом, включающим стандарты и положения, определяющие показатели качества выпускаемых в России лекарственных субстанций и изготовленных из них препаратов.

Рекомендуемым размерным диапазоном для растительного сырья считается интервал частиц в пределах 0,5÷3 мм [5]. Таким образом, проведенный дисперсный анализ показал, что средний размер у исследуемого растительного сырья $d_{\text{экв ср}} = 2,27$ мм попадает в требуемый диапазон, поэтому можно считать полученный результат вполне удовлетворительным.

В итоге изучения ТФХ выжимок тутта черного цвета, при влажности 83 %, найдены величины ТФХ, сведенные в таблице 2.

Таблица 2

ТФХ объекта изучения

W, %	c_M , Дж/(кг·К)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	λ , Вт/(м·К)
≈83	≈3323	≈15,51	≈0,55

По причине того, что при операции экстракции при ультразвуковом воздействии содержание влаги в частичках ягоды практически остается постоянным и пределы варьирования T при соблюдении температурных ограничений не приводят к структурным изменениям влаги (20÷65 °C), теплофизические и структурно-механические характеристики объекта исследования можно принять постоянными. Учитывая,

что в процессе экстракции отсутствуют химические превращения, плотность ягод может быть определена с использованием правила аддитивности и опубликованных данных по химическому составу исследуемого материала [6, 7] и плотностей его составляющих [8]. Ориентировочная плотность отдельных компонентов, содержащихся в изучаемом продукте, представлена в таблице 3.

Плотность отдельных компонентов, кг/м³

Вода	Белки	Жиры	Углеводы	Минеральные элементы
1000	1330	930	1580	2160

С учетом данных таблицы 3 (по химическому составу [6, 7]) плотность ягод шелковицы рассчитывается по формуле аддитивности $\rho_{\text{тут}} = 1068 \text{ кг/м}^3$

Выводы. Таким образом, проведенный дисперсный анализ показал, что средний размер у исследуемого растительного сырья $d_{\text{экв ср}} = 2,27 \text{ мм}$ попадает в требуемый диапазон, поэтому можно считать полученный результат вполне удовлетворительным. Определены ТФХ объекта исследования, а именно: $c_M = 3323 \text{ Дж/(кг·К)}$, $\alpha = 15,51 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda = 0,55 \text{ Вт/(м·К)}$. Сравнительный анализ эмпирически полученных характеристик показал, что их значения вполне коррелируются с известными литературными данными для этих параметров у подобных продуктов.

Таким образом, представленные в работе дисперсные и теплофизические параметры для объекта исследования можно применять при проектировании оборудования для экстракции, а также моделировании этого процесса.

Литература

1. Шелковица. URL: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/shelkovitsa/> (дата обращения: 17.05.2020).
2. Красников В.В., Панин А.С., Скверчак В.Д. Метод комплексного определения теплофизических характеристик вязких, жидких, пастообразных и мелкодисперсных материалов // Известия вузов СССР. Пищевая технология. 1976. № 2. С. 138.
3. Панин А.С. Скверчак В.Д. Экспресс-метод определения коэффициента теплопроводности пастообразных и мелкодисперсных материалов // Известия вузов СССР. Пищевая технология. 1974. №1. С. 140–143.
4. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1980. 288 с.

5. ОФС.1.5.3.0004.15. Определение подлинности, измельченности и содержания примесей в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. URL: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0004-15-opredelenie-podlinnosti-izmelchennosti-i-soderzhaniya-primesej-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (дата обращения: 28.07.2020).
6. Химический состав пищевых продуктов: справ. таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина и М.Н. Волгарева. М.: Агропромиздат, 1987. Кн. I. 224 с.
7. Калорийность шелковицы, ее химический состав и пищевая ценность. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sosta/441.php / (дата обращения: 02.07.2020).
8. Определение плотности тела неправильной формы. URL: <https://www.intel.ru/content/dam/www/program/education/apac/ru/ru/documents/project-design/physics/plotnost.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

Literatura

1. Shelkovica. URL: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/shelkovitsa/> (data obrashheniya: 17.05.2020).
2. Krasnikov V.V., Panin A.S., Skverchak V.D. Metod kompleksnogo opredeleniya teplofizicheskikh harakteristik vjazkih, zhidkih, pastoobraznyh i melkodispersnyh materialov // Izvestija vuzov SSSR. Pishhevaja tehnologija. 1976. № 2. S. 138.
3. Panin A.S. Skverchak V.D. Jekspress-metod opredelenija kojefficienta teploprovodnosti pastoobraznyh i melkodispersnyh materialov // Izvestija vuzov SSSR. Pishhevaja tehnologija. 1974. №1. S. 140–143.
4. Ginzburg A.S., Gromov M.A., Krasovskaja G.I. Teplofizicheskie harakteristiki pishhevyh

- produktov. M.: Pishhevaja promyshlennost', 1980. 288 s.
5. OFS.1.5.3.0004.15. Opredelenie podlinnosti, izmel'chennosti i sodержaniya primesej v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennyh rastitel'nyh preparatah. URL: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0004-15-opredelenie-podlinnosti-izmelchennosti-i-soderzhaniya-primesej-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (data obrashhenija: 28.07.2020).
6. Himicheskij sostav pishhevyh produktov: sprav. tablicy sodержaniya osnovnyh pishhevyh veshhestv i jenergeticheskoj cennosti pishhevyh produktov / pod red. I.M. Skurihina i M.N. Volgareva. M.: Agropromizdat, 1987. Kn. I. 224 s.
7. Kalorijnost' shelkovicy, ee himicheskij sostav i pishhevaja cennost'. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/441.php / (data obrashhenija: 02.07.2020).
8. Opredelenie plotnosti tela nepravil'noj formy. URL: <https://www.intel.ru/content/dam/www/program/education/apac/ru/ru/documents/project-design/physics/plotnost.pdf> (data obrashhenija: 10.01.2020).

