

София Сергеевна Евсева

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, старший преподаватель кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Россия, Астрахань

E-mail: albert909@yandex.ru

Елена Викторовна Андреева

Астраханский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, Россия, Астрахань

E-mail: elpetrovicheva1970@gmail.com

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

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВАРЬИРОВАНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ

*Цель исследования – изучение эволюции температурного поля при ультразвуковом воздействии на частицы кожуры баклажан, являющиеся отходами при производстве овощной икры, для соблюдения температурных ограничений при проведении технологических операций по извлечению из них водорастворимых веществ, среди которых присутствуют антоцианы. При промышленной переработке баклажан возникают отходы, и значительную их долю составляет поверхностный слой, в основном кожура, которая является исходным сырьем для производства натурального пищевого красителя, а также после извлечения из нее водорастворимых веществ и последующей сушки – востребованным продуктом для фармакотерапии. При ультразвуковом облучении вещества происходит рост температуры, значения которой могут выходить за пределы технологических ограничений. По причине того, что экспериментальное определение температурного варьирования в объеме взвешенной в водной суспензии частички практически невозможно, резонно использовать модельный подход к решению данной задачи путем адаптации математической модели переноса тепловой энергии и вещества к объекту изучения и ее решения при определенных краевых условиях. С целью оценки адекватности решения данной модели, которая построена для усредненной частички баклажановой кожуры, осуществлена серия опытов для нахождения варьирования температуры при влиянии ультразвукового излучения на суспензию. Эмпирические исследования осуществлялись на оригинальном лабораторном стенде, связанном с компьютером, снабженным программным продуктом *Thermo Chart*. Уравнение переноса тепловой энергии решено посредством численной методики конечных разностей. Найденное распределение температуры по объему частицы показывает, что проведение операции по ультразвуковому воздействию на нее не должно превышать 10 мин, иначе гарантировать сохранность качества антоцианов при их экстрагировании из частиц кожуры баклажанов не представляется возможным. Построенную и адаптированную к объекту исследования модель переноса тепловой энергии можно признать адекватной и пригодной для оперативного применения в инженерной практике.*

Ключевые слова: натуральные красители, кожура баклажанов, моделирование, численные методы, теплоперенос, ультразвуковое воздействие, температурное варьирование.

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

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

Igor Yu. Aleksanyan

Astrakhan State Architectural and Construction 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 Architectural and Construction University, professor of the chair of technological machines and equipment, doctor of technical sciences, professor, associate professor, Russia, Astrakhan

E-mail: albert909@yandex.ru

STUDYING THE TEMPERATURE VARIATION DURING ULTRASONIC IRRADIATION OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

The research objective was studying the evolution of the temperature field at ultrasonic impact on eggplant peel particles, being the waste by production of vegetable caviar, for the observance of the temperature restrictions when carrying out technological operations on the extraction from them water-soluble substances among which anthocyanins were present. At industrial processing of the eggplant there was waste, and their considerable share was made by the blanket, generally the peel which was initial raw materials for the production of natural food dye, and also after the extraction of it water-soluble substances and the subsequent drying – demanded product for pharmacotherapy. At ultrasonic radiation of the substance there was the growth of the temperature which values could go beyond technological restrictions. For the reason that experimental definition of the temperature variation in the volume of the part weighed in the water suspension was almost impossible, it was reasonable to use model approach to the solution of the given task by the adaptation of mathematical model of the transfer of thermal energy and the substance to the object of studying and its decision under certain regional conditions. For the purpose of the assessment of the adequacy of the solution of this model which was constructed for the average part of eggplant peel, a series of the experiments for finding of the variation of the temperature at the influence of ultrasonic radiation on suspension was carried out. Empirical researches were carried out at the original laboratory stand connected with the computer supplied with the Thermo Chart software product. The equation of thermal energy transfer was solved by means of numerical technique of final differences. The found distribution of the temperature on the volume of the particle shows that carrying out the operation on ultrasonic impact on it should not exceed 10 minutes; differently it was not possible to guarantee the safety of the quality of anthocyanins at their extraction from the particles of the peel of eggplants. It was possible to recognize the model of transfer of thermal energy constructed and adapted for the object of the research adequate and suitable for operational use in engineering practice.

Keywords: natural dyes, eggplant peel, modeling, numerical methods, heat transfer, ultrasonic action, temperature variation.

Введение. Поиск новых путей по совершенствованию существующих технологий натуральных антоциановых красителей может идти по разным направлениям, самым перспективным из которых является изыскание возможностей

использования при их получении отходов промышленной переработки сельскохозяйственного сырья. Важным аргументом здесь является то, что отходы, имея низкую себестоимость и различные полезные вещества в своем составе,

могут обогатить дополнительными функциональными свойствами конечный продукт, превратив его в пищевой премикс-краситель.

Особенностью сырьевых ресурсов Астраханской области является то, что на территории области существуют предприятия, специализирующиеся на переработке овощного сырья, в частности баклажанов, при производстве популярной в нашей стране пищевой продукции – «икры из баклажанов». При этом, реализуя ту или иную технологию получения данного вида продукта, на предприятиях скапливается порядка 10–15 % отходов от общего количества исходного сырья, в частности в виде измельченной кожуры баклажана, которая может являться исходным сырьем для производства натурального пищевого красителя [1–3].

Очевидно, что построение технологического потока выработки натуральных красителей из кожуры баклажана при использовании рациональных режимных параметров базируется в том числе на создании выгодных для потребителя условий хранения, полученных с учетом понимания механизма химического поведения антоцианов в конечном продукте. Все это расширяет перспективу выработки экологически безопасных и позитивно влияющих на здоровье человека природных красителей и побочных продуктов.

При ультразвуковом облучении (УО) различных веществ, как известно, происходит рост температуры (Т) [4]. По причине технологических ограничений с учетом того, что суспензия, состоящая из водной среды и дисперсных частиц кожуры баклажана, является термолабильной, возникают пределы варьирования температур. Так, при выходе величины Т за пороговые значения появляется вероятность деструкции антоцианов и утрата необходимых потребительских показателей. Из литературных источников следует, что данный порог соответствует 75 °С [5, 6].

По причине того, что экспериментальное определение варьирования Т в объеме взвешенной в водной суспензии частички практически невозможно, резонно использовать модельный подход к решению данной задачи путем адаптации математической модели переноса тепловой энергии и вещества к объекту изучения и ее решения при определенных краевых условиях.

Данное исследование необходимо из-за возможного превышения температуры дисперсных частиц над температурой дисперсионной среды при появлении внутреннего источника энергии в них вследствие ультразвукового воздействия [5, 6].

Цель исследования: изучение эволюции температурного поля при ультразвуковом воздействии на частицы кожуры баклажана для соблюдения температурных ограничений во время проведения технологических операций, в частности при интенсификации процесса экстракции антоциановых комплексов из них.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить технологические ограничения значений влияющих параметров при УО для обеспечения качества объекта исследования при интенсификации процесса экстракции антоциановых комплексов из кожуры баклажана;
- с целью оценки адекватности решения модели переноса тепловой энергии, которая построена для усредненной частички кожуры баклажана, осуществить серию опытов для нахождения варьирования Т при влиянии УО на изучаемую суспензию;
- адаптировать к объекту исследования и решить математическую модель переноса тепловой энергии при ультразвуковом воздействии на него;
- определить адекватность реализации модели переноса тепловой энергии и найти ошибку решения, что оправданно и оперативно позволит применять ее при проектировании экстракционных аппаратов с УО.

Объект и методы исследования. Объектом исследования выбрана кожура баклажанов с выраженной темно-фиолетовой цветовой гаммой по причине наличия в ней антоцианов [3, 5]. В отходах производства баклажанной икры значительную долю имеет поверхностный слой баклажана, в основном его кожура с необходимыми признаками, которые позволяют использовать их в качестве исходного сырья для производства натурального пищевого красителя. Кроме того, после извлечения из отходов колоранта и их последующей сушки можно получить востребованный продукт для фармакотерапии.

Для реализации модели целесообразно плотность потока УО $E_{\text{п}}$, Вт/м², падающего на дисперсную частицу, ввести в условия на гра-

нице фазового раздела. При УО величину дополнительной тепловой энергии a , Дж/м², в качестве внутреннего источника тепла можно в первом приближении принять равной энергии, падающей на поверхность всех обрабатываемых частиц. С целью оценки адекватности решения модели переноса тепловой энергии, ко-

торая построена для усредненной частицы объекта исследования, целесообразно осуществить серию опытов для нахождения варьирования T при влиянии УО на суспензию.

Эмпирические исследования осуществлялись на лабораторном стенде, показанном на рисунке 1.

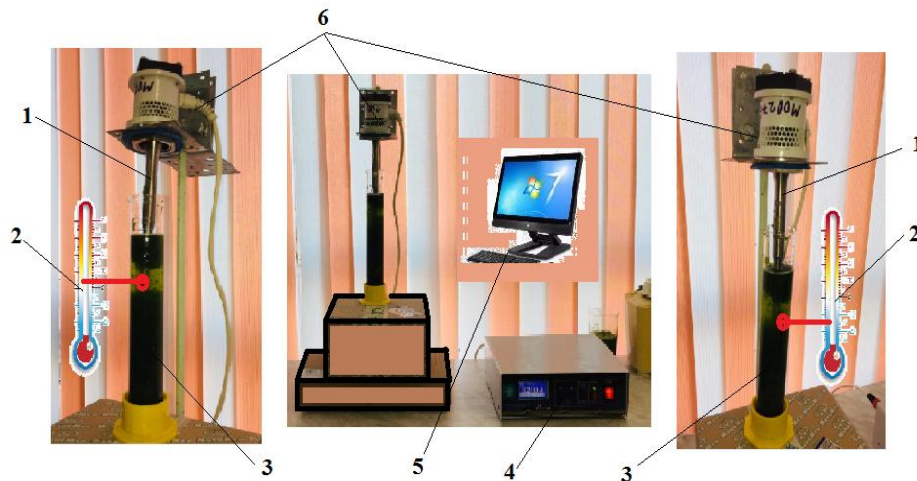


Рис. 1. Установка для экспериментального определения степени возрастания температуры при ультразвуковом воздействии на суспензию: 1 – ультразвуковой зондовый элемент; 2 – ЛТ-300; 3 – цилиндрическая емкость с образцом; 4 – ультразвуковая установка «ВОЛНА» УЗ-ТА-0,4/22-ОМ; 5 – компьютер с программным продуктом Thermo Chart; 6 – ультразвуковой излучатель

Порядок проведения эксперимента следующий. Подготавливается суспензия, в которой объемный процент твердой фазы должен составлять 19 %, что соответствует массе 0,0337 кг сырьевого материала при 0,00025 м³ суспензии. Данные величины параметров определены в постановочных авторских экспериментах с учетом литературных данных. Необходимо, чтобы температура полученной суспензии не выходила из интервала $20 \pm 0,5$ °С. Далее активизируется программный продукт Thermo Chart, установленный на компьютере, который с помощью термометра электронного «ЛТ-300» фиксирует T и отражает ее варьирование на экране при подключении термодатчика к ЭВМ. Зондовый элемент УО вводится в суспензию в цилиндрической емкости, активизируется установка для УО на заданный временной интервал при определенной мощности звукового потока. В течение опыта Thermo Chart отражает варьирование температуры. Опыт проводится при 5–6-кратном дублировании.

Уравнение переноса тепловой энергии решалось численным методом конечных разностей, когда функционал, определенный на континууме, заменяется сеточным векторным ареалом, а операторы дифференцирования подвергаются аппроксимации в сеточном ареале их разностными аналогами.

Расчетные модельные процедуры при теплотеносе с УО на частичку кожуры баклажана как сферического объекта осуществлялись в ареале программного продукта Mathcad Professional при предварительно определенных рациональных режимных параметрах.

Результаты исследования и их обсуждение. Полученные экспериментальные результаты аппроксимированы параболической зависимостью для интервала времени от 0 до 480 с.

$$T = 0.328\tau - 0.00035\tau^2 + 295, \quad (1)$$

где T – температура суспензионной среды, К; τ – длительность УО, с.

Аппроксимирующее соотношение по отношению к результатам моделирования позволит определить адекватность реализации модели переноса тепловой энергии и найти ошибку решения для оперативного его применения при проектировании экстракционных аппаратов с УО.

При решении уравнения переноса тепловой энергии допускаем, что плотность и теплофизические параметры образца являются константами, образец имеет однородную и изотропную структуру. При таких допущениях можно полагать, что вся энергия тратится на варьирование внутренней энергии элементарного объема. В итоге получаем соотношение Фурье:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

где $\frac{\lambda}{\rho \cdot c} = a$ – параметрический коэффициент температуропроводности, м²/с.

При термических операциях в нестационарных условиях, как и в нашем случае, величина a обуславливает интенсивность варьирования T , т. е. a является мера термоинерционных параметров баклажанной кожуры, равная $11,04 \cdot 10^{-8}$ м²/с. В случае ультразвукового воздействия на твердую фазу суспензии не учитывать внутренний источник тепловой энергии при трансфере лучистой энергии в тепловую не обоснованно, так как его воздействие на рост T исследуемых частиц является существенным. Поэтому соотношение 2 представляется в следующей форме:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\omega_V}{\rho c}, \quad (3)$$

где ω_V – величина выделенного тепла в единичном объеме образца в единицу времени, Вт/м³; ρ – плотность кожуры баклажана, кг/м³; c – их массовая теплоемкость, Дж/(кг·К).

В процессе решения соотношения 3 энергию, падающую на частицу, при УО можно ввести в условия на границе фазового раздела E_{Π} , Вт/м², но также и учесть в качестве внутреннего источника тепловой энергии при звуковом ударе ω_V , Вт/м³ допуская, что граничные и внутренние энергетические воздействия можно считать равнозначными. Данное допущение недостаточно оправдано с теоретической точки зрения, что обуславливает необходимость опытной

оценки адекватности модельных данных путем нахождения средней температуры суспензии, состоящей из водной среды и частиц кожуры баклажана, при УО (рис. 2). Данные исследования, представленные выше, позволили рассчитать относительную погрешность аппроксимации, которая составила ≈ 2 %. Энергию, падающую на частицу, можно рассчитать следующим образом:

$$E_{\Pi} = K_{\text{ЭП}} \varphi \frac{a}{\tau}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ЭП}}$ – относительная величина поглощенной энергии поверхностным слоем частицы; φ – доля частичек баклажанной кожуры в смеси; a – энергия ультразвука, поглощенная частичкой кожуры, Дж/м²; τ – длительность УО, с.

Величину выделенного тепла в единичном объеме образца в единицу времени при УО частицы можно рассчитать следующим образом:

$$\omega_V = K_{\text{ЭВ}} \frac{E_{\Pi} S_{\text{ч}}}{V_k}, \quad (5)$$

где $K_{\text{ЭВ}}$ – относительная величина поглощенной энергии в объеме частицы; $S_{\text{ч}}$ – поверхностная площадь отдельной частицы, м²; V_k – ее объем, м³.

Величина дополнительной удельной тепловой энергии от ультразвука при его ударе о частичку a , Дж/м², определяется опытным путем, при использовании экспериментальной установки, представленной на рисунке 1, к которой подключен счетчик расхода электрической энергии. Экспериментальные исследования показали, что при установлении максимальной мощности устройства (УЗТА-0,4/22-ОМ) на ультразвуковое воздействие 0,0337 кг измельченной кожуры и 0,202 кг воды в течение 480 с было затрачено 125 200 Дж энергии. Данная масса кожуры при ее плотности, равной 710 кг/м³, занимает объем $4,75 \cdot 10^{-5}$ м³, который в процессе экспериментального исследования остается постоянным.

Для расчета a необходимо знать суммарную поверхность частиц $S_{\text{общ}}$, которую можно определить следующим образом:

$$S_{\text{общ}} = k_{\text{ч}} S_{\text{ч}},$$

где $S_{\text{ч}}$ – поверхность частицы, м²; $k_{\text{ч}}$ – количество частиц в исследуемом объеме, шт.

$$k_{\text{ч}} = \frac{6V_{\text{общ}}}{\pi d_{\text{экв ср}}^3} = \frac{6 \cdot 4,75 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,00462^3} = 920 \text{ (шт.)},$$

$$S_{\text{общ}} = k_{\text{ч}} S_{\text{ч}} = 920 \cdot \pi d_{\text{экв ср}}^2 = 920 \cdot 3,14 \cdot 0,00462^2 = 0,062 \text{ (м}^2\text{)},$$

$$a = \frac{W}{S_{\text{общ}}} = \frac{125200}{0,062} \approx 2019 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2} \right),$$

$$E_{\text{п}} = 0,5 \cdot 0,19 \frac{2019355}{480} = 399,7 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right),$$

$$\omega_{\text{V}} = 0,5 \frac{399,7 \cdot 6 \cdot \pi d_{\text{экв ср}}^2}{\pi d_{\text{экв ср}}^3} = 0,5 \frac{2398,2}{0,00462} = 260 \left(\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3} \right).$$

Итак, уравнение переноса тепловой энергии в образце при УО в одномерной форме выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\omega_{\text{V}}}{\rho c}, \quad (6)$$

где x – координата глубины образца, м; $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ – интенсивность термообработки, К/с; ρ –

плотность образца, кг/м³; c – его массовая теплоемкость, Дж/(кг·К).

При решении модели выявлена скорость трансфера температуры по объему образца при УО и его рациональная продолжительность, а также распределение T по его объему. На рисунке 2 показан график варьирования T в течение термообработки усредненной частицы кожуры с диаметром 0,00462 м.

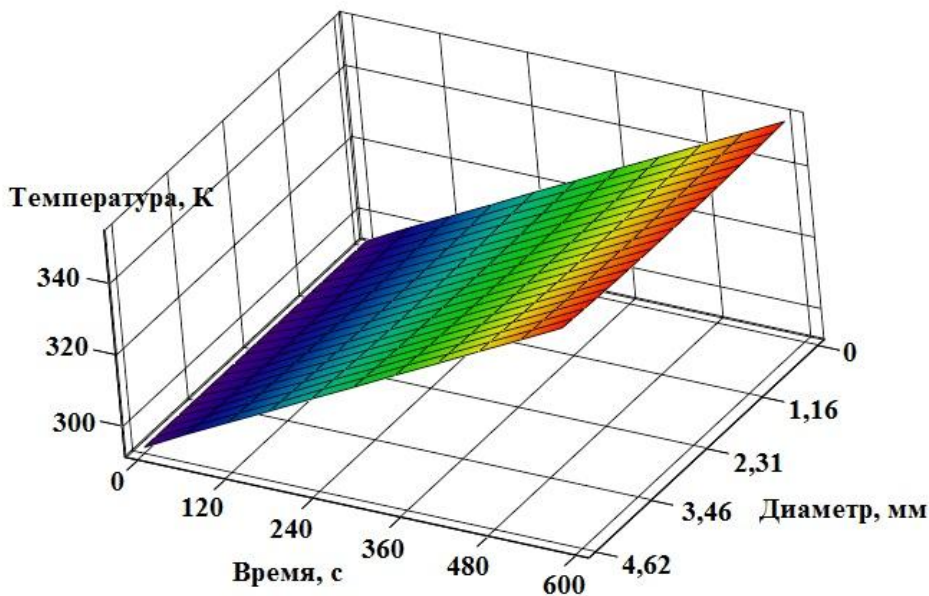


Рис. 2. Трансформация полей температур в частице кожуры баклажана

Для наглядности на рисунке 3 проиллюстрирована эволюция поля T по диаметру частицы в

виде таблицы, полученная также посредством разработанной математической модели.

		Продолжительность ультразвукового воздействия на частицу, с										
		0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Температура, К	d _{ЭКВ}	293	299.305	305.262	311.184	317.277	323.169	329.251	335.167	341.222	347.163	353.198
		293	299.035	305.124	310.98	317.108	322.98	329.073	334.983	341.043	346.98	353.017
		293	298.804	304.987	310.811	316.943	322.823	328.905	334.827	340.874	346.823	352.849
		293	298.609	304.857	310.672	316.79	322.691	328.75	334.693	340.722	346.688	352.699
		293	298.445	304.736	310.557	316.652	322.581	328.614	334.58	340.589	346.571	352.569
		293	298.311	304.629	310.465	316.532	322.489	328.497	334.484	340.476	346.471	352.459
		293	298.203	304.539	310.392	316.432	322.416	328.4	334.406	340.384	346.39	352.37
		293	298.122	304.466	310.336	316.353	322.359	328.325	334.345	340.313	346.326	352.301
		293	298.065	304.413	310.298	316.296	322.319	328.272	334.301	340.262	346.279	352.253
		293	298.031	304.381	310.275	316.262	322.295	328.24	334.275	340.232	346.252	352.224
		293	298.019	304.371	310.267	316.251	322.287	328.229	334.266	340.222	346.242	352.214
		293	298.031	304.381	310.275	316.262	322.295	328.24	334.275	340.232	346.252	352.224
		293	298.065	304.413	310.298	316.296	322.319	328.272	334.301	340.262	346.279	352.253
		293	298.122	304.466	310.336	316.353	322.359	328.325	334.345	340.313	346.326	352.301
		293	298.203	304.539	310.392	316.432	322.416	328.4	334.406	340.384	346.39	352.37
		293	298.311	304.629	310.465	316.532	322.489	328.497	334.484	340.476	346.471	352.459
		293	298.445	304.736	310.557	316.652	322.581	328.614	334.58	340.589	346.571	352.569
		293	298.609	304.857	310.672	316.79	322.691	328.75	334.693	340.722	346.688	352.699
		293	298.804	304.987	310.811	316.943	322.823	328.905	334.827	340.874	346.823	352.849
		293	299.035	305.124	310.98	317.108	322.98	329.073	334.983	341.043	346.98	353.017
293	299.305	305.262	311.184	317.277	323.169	329.251	335.167	341.222	347.163	353.198		

Рис. 3. Результат решения уравнения переноса тепла в частичке сырья при УО

Вывод. Найденное распределение температуры по объему частицы показывает, что проведение операции по УО на нее не должно превышать 10 мин, иначе гарантировать сохранность качества антоцианов при их экстрагировании из частичек кожуры баклажана не представляется возможным. При нахождении частичек кожуры в жидкости при температурах от 75 до 95 °С визуально наблюдалось снижение яркости их окраски, т. е. обесцвечивание поверхностного слоя, что можно объяснить ферментативным разрушением антоцианов, находящихся в опасном для них температурном интервале. Это подтверждается и литературными данными [3, 7, 8, 9], из которых известно, что в случае превышения порогового температурного значения, равного 75 ± 3 °С, в зависимости от структуры антоцианового комплекса наблюдается деструкция колорантов растительного сырья.

Следует отметить, что УО используется для увеличения выхода красящих веществ и интенсификации процесса их извлечения (эффект увеличения скорости экстракции и выхода готовой продукции подтвержден в других исследованиях авторов), однако под воздействием ультразвука повышается температура продукта, в результате чего наблюдается потеря его цветовой гаммы. Данный факт свидетельствует о том, что независимо от количественной оценки разрушения красящих веществ данная температурная точка является критической.

Таким образом, представленный в статье подход позволяет определить лимит длительности операции экстракции при исключении превышения порогового значения температуры, а построенную и адаптированную к объекту исследования модель переноса тепловой энергии можно признать адекватной и пригодной для оперативного применения в инженерной практике.

Литература

1. Пышная О.Н. Баклажаны и перцы. М.: Мир новостей, 2004. 32 с.
2. Голубев И.Г. Рециклинг отходов в АПК: справочник / Рос. НИИ информационных и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса. М.: Изд-во Росинформагротех, 2011. 296 с.
3. Чулков А.Н., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Баклажаны как источник антоцианов – водорастворимых природных антиоксидантов // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. 2012. № 21 (140). С. 126–129.
4. Петров А.Н., Арабова З.М., Алексанян И.Ю. и др. Исследование повышения температуры частичек, образующихся при ультразвуковом измельчении листьев шпината // Индустрия питания. 2020. Т. 5, № 2. С. 88–99.
5. Макаревич А.М. Функции и свойства антоцианов растительного сырья // Труды БГУ. 2009. Т. 4. С. 147–157.

6. Болотов В.М., Нечаев А.П., Сарафанова Л.А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. СПб.: ГИОРД, 2008. 240 с.
7. Степанов Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей. М.: Химия, 1984. 590 с.
8. Фрумкин М.Л. О превращении антоцианов плодов и ягод при стерилизации теплом и гамма-лучами // Консерв. и овощесуш. пром. 1961. № 5. С. 8–12.
9. Нахмедов Ф.Г., Фрумкин М.Л., Пушкарев А.М. Зависимость стабильных натуральных пищевых красителей от способов консервирования // Тр. ВНИИ консервной промышленности и специальной пищевой технологии. 1978. № 25. С. 106–115.
3. Chulkov A.N., Dejneka V.I., Dejneka L.A. Baklazhany kak istochnik antocianov – vodorastvorimyh prirodnyh antioksidantov // Nauchnye vedomosti. Ser. Estestvennyye nauki. 2012. № 21 (140). S. 126–129.
4. Petrov A.N., Arabova Z.M., Aleksanjan I.Ju. I dr. Issledovanie povysheniya temperatury chastichek, obrazujushhihsja pri ul'trazvukovom izmel'chenii list'ev shpinata // Industrija pitaniya. 2020. T. 5, № 2. S. 88–99.
5. Makarevich A.M. Funkcii i svojstva antocianov rastitel'nogo syr'ja // Trudy BGU. 2009. T. 4. S. 147–157.
6. Bolotov V.M., Nechaev A.P., Sarafanova L.A. Pishhevye krasiteli: klassifikacija, svojstva, analiz, primenenie. SPb.: GIORД, 2008. 240 s.
7. Stepanov B.I. Vvedenie v himiju i tehnologiju organicheskikh krasitelej. M.: Himija, 1984. 590 s.
8. Frumkin M.L. O prevrashhenii antocianov plodov i jagod pri sterilizacii teplom i gamma-luchami // Konserv. i ovoshhesush. prom. 1961. № 5. S. 8–12.
9. Nahmedov F.G., Frumkin M.L., Pushkarev A.M. Zavisimost' stabil'nyh natural'nyh pishhevyh krasitelej ot sposobov konservirovanija // Tr. VNII konservnoj promyshlennosti i special'noj pishhevoj tehnologii. 1978. № 25. S. 106–115.

Literatura

1. Pyshnaja O.N. Baklazhany i Percy. M.: Mir novostej, 2004. 32 s.
2. Golubev I.G. Recikling othodov v APK: spravochnik / Ros. NII informacionnyh i tehniko-jekonomicheskikh issledovanij po inzhenerno-tehnicheskomu obespecheniju agropromyshlennogo kompleksa. M.: Izd-vo Rosinformagroteh, 2011. 296 s.

