

Научная статья

УДК 664.8.037.7:634.952:678.067

<https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.2.9>



Исследование теплофизических параметров и физической плотности ломтиков плодов дуриана и их полимерного покрытия

Во Чунг Куанг¹, Альберт Хамед-Харисович Нугманов^{2*}, Игорь Юрьевич Алексанян³,
Павел Дмитриевич Осмоловский⁴, Аюб Абдулаевич Эльмурзаев⁵,
Ноха Джабраилович Айсунгуров⁶

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала Ф.М. Апраксина (филиал) (6, ул. Никольская, Астрахань, 414000, Россия)

^{2,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (49, ул. Тимирязевская, Москва, 127434, Россия)

³ Астраханский государственный технический университет (16, ул. Татищева, Астрахань, 414025, Россия)

^{5,6} Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова (100, пр. Х. Исаева, Грозный, 364061, Россия)

¹ votrunquang@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0176-2755>

² nugmanov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

³ 16081960igor@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

⁴ pavel.osmolovsku@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>

⁵ ayub_777@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6003-1971>

⁶ aysungurov91@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8496-6803>

*Автор, ответственный за переписку

Аннотация. Социалистическая республика Вьетнам – ключевая сельскохозяйственная страна, где выращивается множество ценных экспортных сельскохозяйственных культур. Однако их коммерческая ценность ограничена из-за недостаточного внимания к условиям хранения сырья и его переработки, поэтому применение и инвестирование в передовые методы его сохранности и его обработки, является весьма актуальным направлением современных научных исследований. Имеющиеся недавние исследования вьетнамских учёных, проведённые совместно с международным научным сообществом, показали, что, применяя различные инновационные технологии к сельскохозяйственному сырью, в сочетании с использованием биоразлагаемых полимерных упаковочных материалов при его хранении, приводит к существенному сокращению потерь при его транспортировке, а также выработке конечной продукции, удовлетворив спрос на продовольствие в масштабах всей страны и повысив их экспортные объёмы. Однако, для рационального проведения технологий выработки тех или иных конечных продуктов из сельскохозяйственного сырья или его длительного хранения необходима информация о его физико-химических свойствах, а если учесть, что большинство технологий связано с термическим воздействием на сырьё, незнание теплофизических характеристик становится важной отраслевой проблемой, что и послужило постановке цели данного исследования, заключающейся в определении теплофизических характеристик одного из самых неоднозначных фруктов, выращиваемого во Вьетнаме – дуриана и перспективному упаковочному материалу на основе

© Куанг В.Ч., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Осмоловский П.Д., Эльмурзаев А.А., Айсунгуров Н.Д., 2025

альгината. В рамках проводимых исследований определяли удельную теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности объектов исследования с учетом их влажностей, используя известные и адаптированные к ним методики. В данном исследовании все полученные результаты определения теплофизических характеристик для изучаемых объектов также представлены в виде соответствующих графических и математических зависимостей.

Ключевые слова: ломтики дуриана, биоразлагаемое покрытие, физическая плотность, теплофизические характеристики, математическая аппроксимация, теплотехнические расчеты

Для цитирования: Куанг В. Ч., Нугманов А. Х.-Х., Алексанян И. Ю., Осмоловский П. Д., Эльмурзаев А. А., Айсунгуров Н. Д. Исследование теплофизических параметров и физической плотности ломтиков плодов дуриана и их полимерного покрытия // Современная наука и инновации. 2025. № 2. С. 94–107. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.2.9>

Research article

Study of thermophysical parameters and physical density of durian fruit slices and their polymer coating

Wo Ch. Kuang¹, Albert H.-H. Nugmanov^{2*}, Igor Yu. Aleksanyan³, Pavel D. Osmolovskiy⁴,
Ayub A. Elmurzaev⁵, Nokha D. Aisungurov⁶

¹ Volga State University of Water Transport, Caspian Institute of Marine and River Transport named after General Admiral F.M. Apraksin (branch) (6, Nikolskaya St., Astrakhan, 414000, Russia)

^{2,4} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia)

³ Astrakhan State Technical University (16, Tatishchev St., Astrakhan, 414025, Russia)

^{5,6} Grozny State Oil Technological University named after M.D. Millionshchikov (100, Kh. Isaev Ave., Grozny, 364061, Russia)

¹ votrungquang@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0176-2755>

² nugmanov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

³ 16081960igor@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

⁴ pavel.osmolovsku@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>

⁵ ayub_777@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6003-1971>

⁶ aysungurov91@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8496-6803>

*Corresponding author

Abstract. *The Socialist Republic of Vietnam is a key agricultural country where many valuable export crops are grown. However, their commercial value is limited due to insufficient attention to the conditions of storage of raw materials and their processing, therefore, the application and investment in advanced methods of its preservation and processing is a very relevant area of modern scientific research. Recent research conducted by Vietnamese scientists in collaboration with the international scientific community has shown that applying various innovative technologies to agricultural raw materials, combined with the use of biodegradable polymer packaging materials during storage, leads to a significant reduction in losses during transportation, as well as the development of final products, meeting the demand for food throughout the country. and by increasing their export volumes. However, for the rational implementation of technologies for the production of certain end products from agricultural raw materials or its long-term storage, information on its physico-chemical properties is necessary, and if we consider that most technologies are associated with thermal effects on raw materials, ignorance of thermophysical characteristics becomes an important industry problem, which served to set the goal of this study, which is to determining the thermophysical characteristics of one of the most controversial fruits grown in Vietnam – durian and promising alginate-based packaging material. Within the framework of the conducted research, the specific heat capacity, thermal conductivity coefficients and thermal conductivity of the objects of study were determined, taking into account their humidity, using well-known and adapted techniques. In this study, all the obtained results of determining the thermophysical characteristics for the studied objects are also presented in the form of corresponding graphical and mathematical dependencies.*

Keywords: durian slices, biodegradable coating, physical density, thermophysical characteristics, mathematical approximation, thermal engineering calculations

For citation: Kuang VCh, Nugmanov AHH, Aleksanyan IYu, Osmolovskiy PD, Elmurzaev AA, Aisungurov ND. Study of thermophysical parameters and physical density of durian fruit slices and their polymer coating. *Modern Science and Innovations*. 2025;(2):94-107. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.2.9>

Введение. Последние данные свидетельствуют, что во Вьетнаме индустрия производства продуктов растительной природы ориентирована в первую очередь на плодоовощную продукцию в консервированном, охлажденном и замороженном виде, в частности, концентрированную соковую, что предопределяет значительные площади для ее хранения [1, 2, 3]. Наиболее часто используемыми методами консервирования при этом служат «шоковое» замораживание и сублимационное обезвоживание, которые при высоких качественных показателях конечных материалов требуют совершенствования по причине высокой удельной энергоемкости по отношению к обычной заморозке и обезвоживанию при конвективном энергоподводе [4, 5, 6].

В настоящее время особую востребованность в мировом товарообороте приобрели плоды дуриана (*Durio zibethinus*), преимущественно в Китае. По данным HSBC, глобальный спрос на экзотический фрукт вырос на 400% по сравнению с прошлым годом [7]. Плоды дуриана, высокодоходный фрукт семейства Мальвовые, произрастает в тропическом климате Юго-Восточной Азии, и его выращивание распространяется по всему миру. Его особый вкус, аромат, питательная ценность и разнообразное промышленное применение в последнее время вызывают значительный интерес [8]. О плодах дуриана, вероятно, впервые узнали на Западе в 16 веке благодаря голландскому путешественнику Джону Хьюзу Вану Линшотен, который писал, что «дуриан обладает таким превосходным вкусом, что превосходит все другие фрукты в мире». Английский естествоиспытатель Альфред Рассел Уоллес сделал знаменитое заявление о том, что стоит отправиться на Восток только ради того, чтобы попробовать дуриан [8, 9].

Как внутренний, так и экспортный рынки стимулируют выращивание плодов дуриана. В 2022 году рынок оценивался в 23,23 миллиарда долларов США, а к 2032 году, по прогнозам, достигнет 46,35 миллиарда долларов США. Однако, несмотря на растущий спрос на рынке, индустрия производства плодов дуриана сталкивается с рядом проблем, связанных с потерей урожая и нестабильным спросом [10, 11]. Реализация плодов дуриана в промышленных масштабах в мировой рыночной сфере ограничена, кроме того, их значительными габаритами, что обуславливает целесообразность их диспергирования без разрушения долей и обезвоживания. При этом для снижения массы отводимой воды при повышении качественных показателей готовых изделий и падения энергоемкости способа производства резонно использовать защитные биоразлагаемые покрытия на поверхности долей до сушки [12, 13].

Следует отметить, что биоразлагаемые покрытия на базе альгината натрия (препарат Е 401), глицерина пищевого назначения, кислоты лимонной, пищевых пигментных веществ и водной среды интересен с точки зрения экологической безопасности растительных материалов, в частности, частично подсушенных долей плодов дуриана, так как альгинат натрия и итоговое биоразлагаемое покрытие разлагаются в атмосферных условиях [14].

Любая промышленная технология, в том числе и связанная с сохранением нативных свойств плодов дуриана в высушенном виде, опирается на теплофизическую оценку энергоемкости реализуемых процессов на основе соотношений материального и теплового балансов [15]. Теплотехническая оценка требует знания теплофизических (ТФХ) и структурно-механических (СМХ) характеристик объектов изучения, зависящих от их структурной организации, химического состава, температуры (T) и влажности (W), которые определяют рациональные режимы обезвоживания [16, 17]. К ТФХ относят

коэффициенты температуропроводности (a) и теплопроводности (λ), а также удельную массовую теплоемкость c_M . Одним из основных СМХ является в нашем случае плотность материалов (ρ) [18].

Цель исследования. Определение, систематизация и математическая аппроксимация теплофизических характеристик и физической плотности ломтиков дуриана, а также биополимерной защитной пленки из альгината натрия.

Материалы и методы исследований. В данном исследовании объектами являлись ломтики мякоти тропического плода дуриана (рис. 1 (а)) и биоразлагаемая пленка (рис. 1 (б)), полученная на базе альгината натрия.



Рисунок 1. Объекты исследования: а – ломтики плодов дуриана; б – биоразлагаемая пленка /
Figure 1. Objects of study: a – slices of durian fruit; b – biodegradable film

Дуриан был доставлен из Вьетнама и разделён на ломтики следующим образом. Вначале отрезался стебель на верхушке фрукта и плод ставился на плоский срезанный край. Далее определялись места стыков (мякоть внутри дуриана растёт стручками, и внешняя оболочка образует дольки, которые охватывают эти стручки, при этом, между дольками расположены места стыков, или «швы», по которым и разрезается фрукт) и делались в них глубокие надрезы, т.е. для начала наносились лёгкие надрезы, затем они углублялись, пока фрукт не начал распадаться на дольки. Затем расщеплялась оболочка на части, т.е. выбирался один из надрезов и используя его раздвигались соседние дольки для раскрытия твёрдой оболочки и высвобождения из-под неё стручка со съедобной мякотью. Если плод дуриана спелый, мякоть легко отделяется от оболочки, в противном случае разрезаются острым ножом волокна, которыми стручки крепятся к оболочке, и достается мякоть. Далее нарезалась мякоть на ломтики.

Биоразлагаемая пленка изготавливалась согласно формулы изобретения на «водорастворимую биodeградируемую съедобную упаковочную пленку [19].

В данном исследовании использовались традиционные методики, адаптированные к объектам исследования, а именно:

- влажность объектов исследования определялась посредством анализатора влажности МХ-50, в котором реализован термогравиметрический принцип анализа, т.е. образец высушивается с помощью галогеновой лампы, а содержание влаги вычисляется на основе разности масс между удаленной влажностью и сухим остатком [20];

- физическая плотность объектов исследования определялась пикнометрическим способом [21, 22];

- теплофизические характеристики объектов исследования определялись посредством зондовой экспресс-методики, базирующейся на свойстве тепловой инерционности используемого термодатчика [22, 23], при этом, преимуществом данного метода по отношению к другим служит оперативность выявления, одновременно;

- экспериментальные исследования проводились при их пятикратной повторности, результаты которых подвергались статистической обработке по классической схеме [24,

25], в которой помимо всего прочего производится расчёт среднего арифметического квадратов отклонений значений переменной от их усредненного значения, т.е. дисперсии, позволяющей оценить степень вариации данных в опытной выборке.

Следует отметить, что анализ ТФХ и ρ биоразлагаемой пленки в варьируемых режимах влагоудаления описан в [26]. Поэтому в приведенном исследовании показаны итоговые данные, применяемые при моделировании операции влагоудаления из долей плодов дуриана с биоразлагаемой пленкой.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты определения W объектов исследования, осуществляемая посредством анализатора влажности, в исходном состоянии сырья и биополимера представлена в таблице 1.

Таблица 1. Исходная влажность объектов исследования /
Table 1. Initial humidity of the study objects

Объект исследования	W , %
Ломтики мякоти тропического плода дуриана	73±0,5
Биоразлагаемая пленка	95±0,6

Определение ТФХ и ρ объектов исследования необходимо проводить для различных технологических условий ведения тепловых процедур, при этом общеизвестно, что ТФХ и ρ пищевых материалов можно считать стабильными в интервале их T от 5 до 80 °С и нестабильными при изменении W [16, 22, 29], поэтому авторами принято решение проводить опытную серию экспериментов при комнатной температуре, но различной влажности, диапазон которой варьируется от исходной (табл. 1) до рекомендуемой – 20 % для ЛД и 10% для БРП. За конечную W ломтиков дуриана целесообразно взять величину 20 %, т.к. согласно различным исследованиям, в частности [27, 28] именно данная величина способствует достижению необходимых потребительских свойств для сухофрукта. Что касается биополимерной композиции, то согласно исследованию [26], наиболее приемлемые упаковочные свойства для нее наступают при W , равной 10 %.

Для изучаемого тропического фрукта интерес представляет нахождение не только физической ρ_f (кг/м³), но и истинной плотности ρ_i (кг/м³), что связано с последующим расчетом λ по соответствующему уравнению, представленному в соответствующем абзаце. Результаты определения ρ_i ломтиков дуриана, осуществляемая посредством пикнометра, при различной влажности, достигаемая дробным удалением влаги из фруктового сырья, представлена в таблице 2.

Таблица 2. Средние величины ρ_i для ломтиков дуриана, полученные при температуре сырья 25°С /
Table 2. Average values of ρ_i for durian slices obtained at a raw material temperature of 25°С

W , кг/кг	ρ_i , кг/м ³
0,2	1240±5
0,3	1208±5
0,4	1172±6
0,5	1141±6
0,6	1105±4
0,7	1081±4
0,73	1069±5

Анализ данных (табл. 2) указывает на рост показателя ρ_i ломтиков дуриана при понижении W , что вполне объяснимо, т.к. клетчатка во фруктах, состоящая из нерастворимых волокон и не разрушаемая слабыми кислотами и щелочами, делает структуру ломтиков дуриана плотнее, чем у воды, содержащей растворимые вещества.

Физическая ρ_f ломтиков дуриана обусловлена не только W , но и наличием газовой среды, которая при сушке проникает в обезвоженные поры, что существенно, так как при

уменьшении объемной доли газовой среды в межклеточном пространстве ломтиков дуриана снижается интенсивность окислительных преобразований в процессе его хранения, которые обуславливают потерю питательных составляющих и снижение его сроков.

Количество воздушной среды определяет объемную усадку ломтиков дуриана при уменьшении ρ_{ϕ} по причине ее малой ρ . При выявлении ρ_{ϕ} ломтиков дуриана надо учесть влияние на нее доли газовой среды и, допуская, что при исходной W численные значения ρ_{ϕ} и $\rho_{и}$ равны.

Результаты определения ρ_{ϕ} ломтиков дуриана для конечной и промежуточной W , осуществляемая посредством пикнометра, достигаемая заданным удалением влаги из фруктового сырья, представлена в таблице 3.

Таблица 3. Средние величины ρ для ломтиков дуриана, полученные при температуре сырья 25°C /
Table 3. Average values of ρ for durian slices obtained at a raw material temperature of 25°C

W , кг/кг	ρ_{ϕ} , кг/м ³
0,2	895±3
0,4	988±3
0,73	1069±5

Графическая интерпретация полученных данных (табл. 2 и 3) по изменению ρ_{ϕ} и $\rho_{и}$ от W приведена на рисунке 2, а математическая аппроксимация выражена уравнениями (1) и (2).

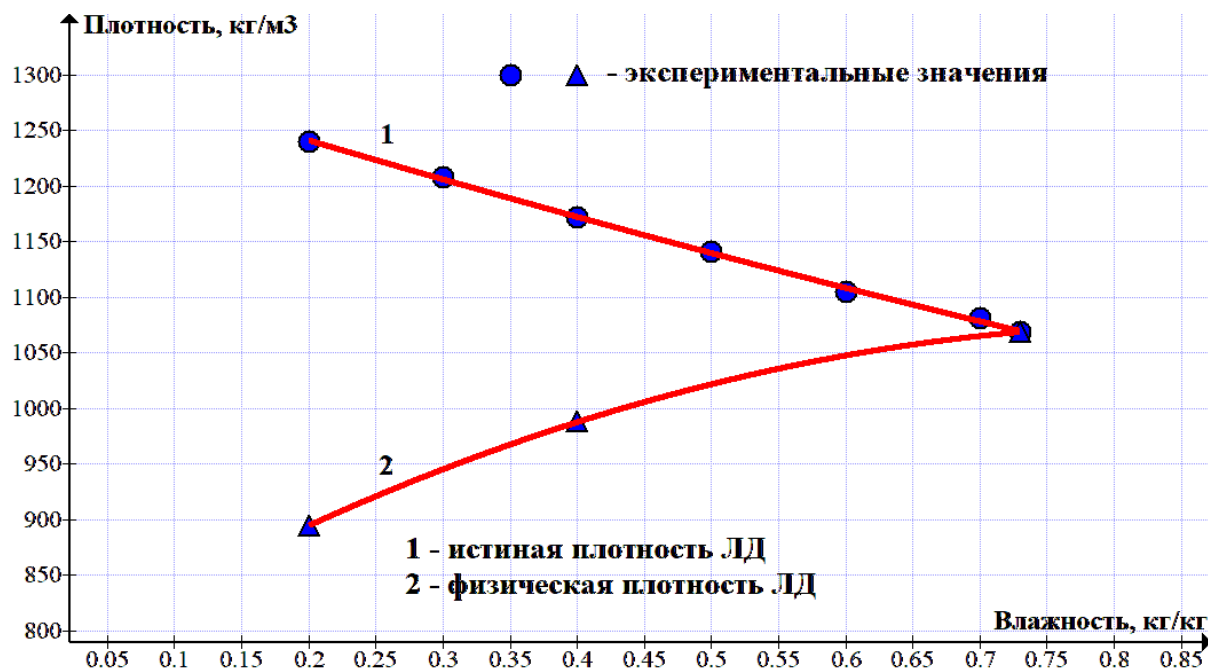


Рисунок 2. Зависимость истинной и физической плотностей ломтиков дуриана от его влажности /
Figure 2. Dependence of the true and physical densities of durian slices on its moisture content

$$\rho_{и} = 62,39W^2 - 381,54W + 1314,95. \quad (1)$$

$$\rho_{\phi} = 713,54W - 414,23W^2 + 768,86. \quad (2)$$

где W – влажность ломтиков дуриана, кг/кг.

Результаты определения ТФХ ломтиков дуриана при исходной W , осуществляемая посредством зондовой экспресс-методики, базирующейся на свойстве тепловой инерционности используемого термодатчика [22, 23], представлена в таблице 4.

**Таблица 4. Средние величины ТФХ ломтиков дуриана, полученные при температуре сырья 25°C/
Table 4. Average values of the TFX of durian slices obtained at a raw material temperature of 25°C**

W, %	c_M , Дж/(кг·К)	$a \cdot 10^8$, м ² /с	λ , Вт/(м·К)
73±0,5	3935±12	8,93±0,3	0,371±0,007

Принимая во внимание то, что в данном варианте термозонд очень сложно быстро внедрить в твердый ломтик дуриана, по этой причине целесообразно изыскать пути определения ТФХ посредством расчетов по апробированным известным уравнениям [30, 31].

Так c_M можно определить по принципу аддитивности. При этом зная $c_{\text{воды}}$ и смеси c_M при конкретной W можно найти $c_{c.o}$ для сухого остатка, как:

$$c_{c.o} = \frac{c_M - c_{\text{воды}} \cdot W}{C}, \quad (3)$$

где C – доля сухого остатка в образце, $C = 1 - W$.

При этом:

$$c_{c.o} = \frac{c_M - c_{\text{воды}} \cdot W}{C} = \frac{3935 - 4183 \cdot 0.73}{0.27} = 3264.$$

В итоге математическая аппроксимация изменения c_M ломтиков дуриана от W выражается уравнением (4).

$$c_M = 919,2W + 3264, \quad (4)$$

где W – влажность ЛД, кг/кг.

λ не подчиняется принципу аддитивности и для его выявления резонно воспользоваться эмпирическим соотношением (5) [30, 31]:

$$\lambda = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{и}} (A - B(100 - W)) + C \left(1 - \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{и}}\right), \quad (5)$$

где $A = 0,47$, B и $C = 0,25$ – эмпирические коэффициенты.

Здесь обобщенный для овощного сырья B целесообразно скорректировать по отношению к плодovому и, к примеру, для ЛД ввести поправочный параметр $B_{\text{ноп}}$, выявляемый для корреляции эмпирического значения по (5) при идентичной W .

Так как для начальной W ломтиков дуриана λ уже известна (табл. 4), можно найти $B_{\text{ноп}}$ из уравнения (5) при равенстве ρ_{ϕ} и $\rho_{и}$.

$$B_{\text{ноп}} = \frac{A - \lambda}{100 - W} = \frac{0.47 - 0.371}{100 - 73} = 0.0037.$$

Результаты расчета λ ломтиков дуриана, осуществляемая посредством уравнения (5), при различной влажности, представлена в таблице 5.

**Таблица 5. Расчетные величины λ для ломтиков дуриана /
Table 5. Calculated values of λ for durian slices**

W, кг/кг	λ , Вт/(м·К)
0,2	0,214
0,3	0,238
0,4	0,261
0,5	0,297
0,6	0,324
0,7	0,368
0,73	0,371 (табл. 4)

Графическая интерпретация полученных данных (табл. 5) по изменению λ от W приведена на рисунке 3, а математическая аппроксимация выражена уравнением (6).

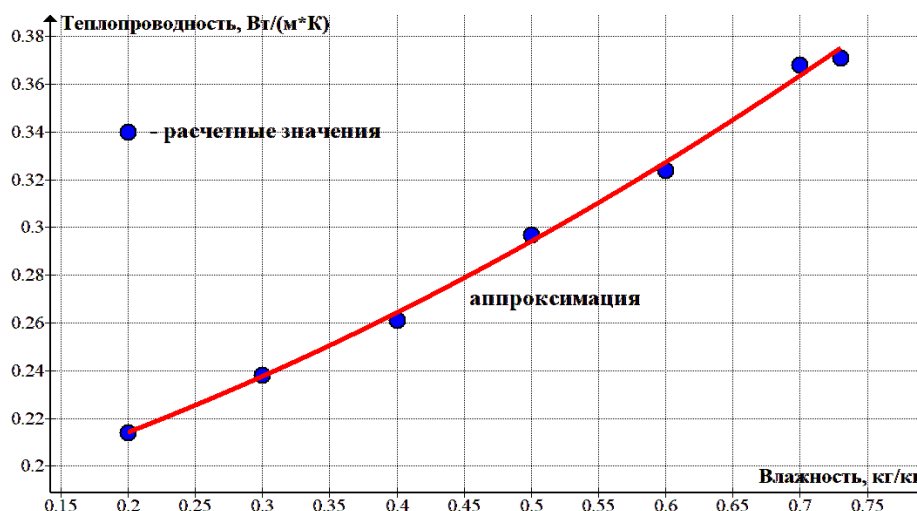


Рисунок 3. Зависимость теплопроводности ломтиков дуриана от его влажности /
Figure 3. Dependence of thermal conductivity of durian slices on its humidity

$$\lambda = 0,161W^2 + 0,154W + 0,177, \quad (6)$$

где W – влажность ЛД, кг/кг.

Значения коэффициента, вычисляемые по известному соотношению $a = \frac{\lambda}{c\rho}$, сведены в таблице 6.

Таблица 6. Расчетные величины a для ломтиков дуриана /
Table 6. Calculated values of a for durian slices

W , кг/кг	$a \cdot 10^8$, (м ² /с)
0,2	6,79
0,3	7,06
0,4	7,29
0,5	7,77
0,6	8,26
0,7	8,82
0,73	8,93±0,3 (табл. 4)

Графическая интерпретация полученных данных (табл. 6) по изменению a от W приведена на рисунке 4, а математическая аппроксимация выражена уравнением (7).

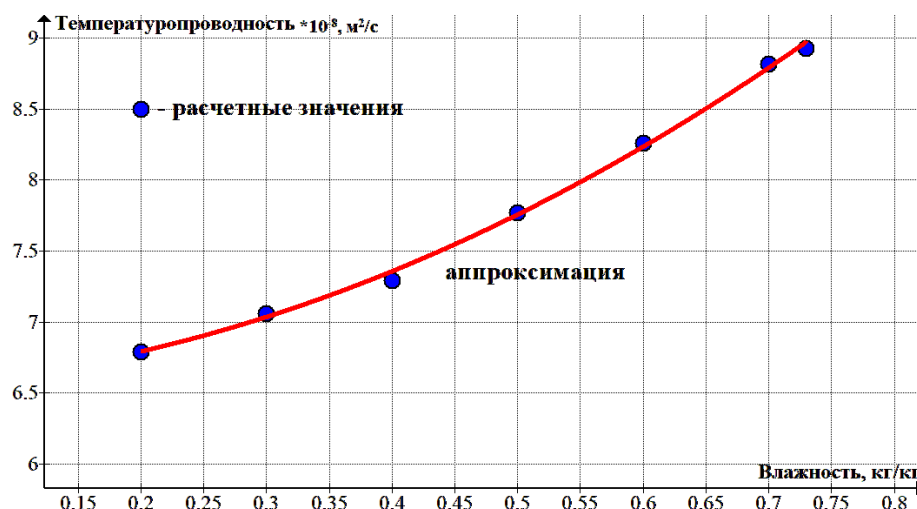


Рисунок 4. Зависимость теплопроводности ломтиков плодов от его влажности /
Figure 4. Dependence of the thermal conductivity of fruit slices on its moisture content

$$a = (3,91W^2 + 0,48W + 6,54) \cdot 10^{-8}, \quad (7)$$

где W – влажность ЛД, кг/кг.

Для определения рациональных условий сушки ломтиков дуриана, которые проводятся в присутствии биополимерного покрытия, необходимо знать его плотностные свойства и теплофизические характеристики. Это важно потому, что применение биополимерного покрытия увеличивает устойчивость нежных фруктов к внешним факторам, таким как влажность внешней среды, температура и микроорганизмы, и, следовательно, продлевает срок их хранения. Иными словами, характеристики покрытия напрямую влияют на эффективность процесса сушки и на конечный результат – срок годности высушенных ломтиков дуриана. Без знания этих характеристик невозможно рационализировать процесс сушки и гарантировать желаемый результат по увеличению срока хранения.

Эмпирическая зависимость ρ_{ϕ} от W биоразлагаемой пленки [26] в рамках варьирования W от 0,1 до 0,95 кг/кг представляется, как:

$$\rho_{\phi} = 244W + 924, \quad (8)$$

c_m , как эмпирическая функция от W биоразлагаемой пленки [26] в рамках варьирования W от 0,1 до 0,95 кг/кг представляется, как:

$$c_m = 2540W + 1647, \quad (9)$$

Приведем общую зависимость λ гелевого материала, предложенную в исследовании [26], адекватную влажности в пределах $0,1 \leq W \leq 0,95$ кг/кг:

$$\lambda = (aT + b)W^2 + (cT + d)W + (eT + f), \quad (10)$$

где W – влажность полимера, кг/кг; a, b, c, d, e, f – опытные коэффициенты пропорциональности.

Величины a, b, c, d, e, f сведены в таблице 7.

Таблица 7. Значения величин a, b, c, d, e, f
Table 7. Values of a, b, c, d, e, f

a	b	c	d	e	f
0.000480	-0.04340	0,00240	-0.7530	-0.00180	1.0240

Нахождение коэффициента температуропроводности биополимера, являющейся величиной прямо пропорциональной коэффициенту теплопроводности и обратно пропорциональной удельной объемной теплоемкости, значение которых приведены выше не представляет каких-либо трудностей.

Заключение. Опираясь на результаты опытных серий математически и графически описаны ТФХ и ρ_{ϕ} ломтиков дуриана и биоразлагаемой пленки с учетом влияющих на тепломассоперенос факторов, таких как W и T , что дает возможность оценить энергоемкость технологических операций, опираясь на материальный и тепловой балансы, а также их кинетические закономерности и определить механизм физических явлений. Полученные данные можно, кроме того, использовать при построении, адаптации к ломтикам плодов и решении математической модели операции обезвоживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bui T. D., Tseng J. W., Tran Th. Ph. Th., Ha H. M., Lim M. K., Tseng M. L. Circular supply chain strategy in Industry 4.0: The canned food industry in Vietnam // Business Strategy and the Environment. 2023. Vol. 32 (8). P. 6047–6073. <https://doi.org/10.1002/bse.3472>
2. Thuy N. M., Hao H. V., Giau T. N., Minh V. Q., Tai N. V. Effectively exploit specialties of the central highlands region of Vietnam and potential utilize by-products to create value-added products // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. 2025. Vol. 14 (4). P. e11244–e11244. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11244>
3. Ngoc N. P., Dang L. V., Ly L. M., Thao Ph. Th. Ph., Hung N. N. Use of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for determining the nutritional balance of durian cultivated in the Vietnamese Mekong Delta // Horticulturae. 2024. Vol. 10 (6). P. 561. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060561>

4. Пискунова Н. А., Корнев А. В., Осмоловский П. Д., Игнатъева С. Л. Морковь столовая с разнообразной окраской корнеплодов для изготовления снековой продукции // Картофель и овощи. 2018. № 6. С. 38–40.
5. Алексеенко Е. В., Каримова Н. Ю., Цветкова А. А. Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники: обзор предметного поля // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 1. С. 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>
6. Гусейнова Б. М., Асабутаев И. Х., Даудова Т. И. Оценка пригодности абрикосов к шоковой заморозке по физико-технологическим показателям качества // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 74–83. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83>
7. Dharanikumar K., Lavanya M. S., Mahendran K., Pfahadeeswaran M., Kumar A. G. A study on the import of exotic fruits and factors influencing its consumption // International Journal of Statistics and Applied Mathematics. 2023. Vol. 8 (5). P. 330–335. <https://doi.org/10.22271/math.2023.v8.i5Se.1214>
8. Somsri S. Durian: Southeast Asia's king of fruits // Chronica Horticulturae. 2008. Vol. 48 (4). P. 19–22.
9. Ketsa S., Wisutiamonkul A., Palapol Y., Paull R. E. The durian: Botany, horticulture, and utilization // Horticultural reviews. 2020. Vol. 47. P. 125–211.
10. Ali N. A. W. A., Wong G. R., Tan B. Ch., Lum W. S., Mazumbar P. Unleashing the Potential of Durian: Challenges, Opportunities, and the Way Forward // Applied Fruit Science. 2025. Vol. 67 (1). P. 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781119625407.ch4>
11. Noodaeng S. Export competitiveness of Thai durian in China market // European Journal of Business and Management. 2017. Vol. 9 (36). P. 48–55.
12. Поплавская Я. К., Андреева С. В. Применение биоразлагаемых покрытий в пищевой промышленности // Технологии и продукты здорового питания: Сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2021. С. 558–562.
13. Белоглазова К. Е., Рысмухамбетова Г. Е., Карпунина Л. В., Коник Н. В. Использование полисахаридных биоразлагаемых материалов для первичной упаковки пищевых продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 1 (367). С. 61–64. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.15>
14. Зинина О. В., Вишнякова Е. А., Неверова О. П. Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6 (235). С. 76–86. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86>
15. Мещерякова Г. С. Совершенствование процессов в технологии пектиносодержащего полимерного покрытия из арбузного сырья: дисс... канд. техн. наук. Астрахань, 2022. 179 с.
16. Максименко Ю. А., Нгуен Т. С., Арабова З. М., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Теплофизические и структурно-механические характеристики ломтиков джекфрута // Индустрия питания. 2019. Т. 4. № 4. С. 53–63. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-4-7>
17. Нугманов А. Х.-Х., Мещерякова Г. С., Лебедев В. А., Бородулин Д. М., Алексанян И. Ю., Соколова Е. В. Теплофизические параметры арбузного полуфабриката как объекта влагоудаления // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 930–942. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-930-942>
18. Андреева Е. В., Евсеева С. С., Алексанян И. Ю., Нугманов Определение характеристик плодово-ягодного сырья и промежуточных продуктов технологии пигментных экстрактов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (163). С. 181–189. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-181-189>
19. Никулина М.А., Нугманов А.Х.-Х., Титова Л.М., Алексанян И.Ю., Пленкин А.В. Патент № 2525926 С1 Российская Федерация, МПК С08J 5/18, А61К 47/36. Водорастворимая биодegradуемая съедобная упаковочная пленка: № 2013100494/13: заявл. 09.01.2013: опубл. 20.08.2014.
20. Фатъянов Е. В., Авылов Ч. К., Алейников А. К., Евтеев А. В., Мокрецов И. В. Исследование изменений физико-химических показателей при производстве мясных снеков // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 116–120. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp116-120>
21. Панкина И.А., Борисова Л.М., Белокурова Е.С. Исследование физических и технологических свойств семян зернобобовых культур // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2. С. 34–37.

22. Панин А. С., Скверчат В. Д. Экспресс-метод определения коэффициента теплопроводности пастообразных и мелкодисперсных материалов // Известия вузов СССР. Пищевая технология. 1974. № 1. С. 140–143.
23. Польшакова Н. В., Александрова Е. В., Волобуева Т. А. Автоматизация обработки экспериментальных данных в агрономических исследованиях // Вестник аграрной науки. 2022. № 4 (97). С. 129–137. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.4.129>
24. Хайруллин Р. З. Расчетно-экспериментальный метод статистической обработки малых выборок // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. № 4 (46). С. 131–136.
25. Никулина М. А. Совершенствование процесса инфракрасной сушки пищевой съедобной пленки: дисс... канд. техн. наук. СПб.: ИТМО, 2018. 228 с.
26. Каухчешвили Н. Э., Ниценко Т. П., Машкова Н. Н. Аспекты и перспективы развития технологии продуктов пониженной влажности // Холодильная техника. 2019. №. 6. С. 40–45.
27. Дрофичева Н. В., Причко Т. Г. Закономерности изменения показателей качества фруктов после лиофильной сушки: DVVLHI // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 161–167. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020>
28. Евсеева С. С., Андреева Е. В., Нугманов А. Х.-Х. Определение параметров плодоовощных сырьевых материалов для рациональной организации экстракции природных красителей // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. 2020. № 3. С. 150–159.
29. Гинзбург А. С., Громов М. А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов. М.: Агропромиздат, 1987. 272 с.
30. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник. М.: Пищевая промышленность, 1980. 288 с.

REFERENCES

1. Bui TD, Tseng JW, Tran ThPhTh, Ha HM, Lim MK, Tseng ML. Circular supply chain strategy in Industry 4.0: The canned food industry in Vietnam. Business Strategy and the Environment. 2023;32(8):6047-6073. <https://doi.org/10.1002/bse.3472>
2. Thuy NM, Hao HV, Giau TN, Minh VQ, Tai NV. Effectively exploit specialties of the central highlands region of Vietnam and potential utilize by-products to create value-added products. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. 2025;14(4):e11244-e11244. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11244>
3. Ngoc NP, Dang LV, Ly LM, Thao PhThPh, Hung NN. Use of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for determining the nutritional balance of durian cultivated in the Vietnamese Mekong Delta. Horticulturae. 2024;10(6):561. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060561>
4. Piskunova NA, Kornev AV, Osmolovskii PD, Ignat'eva SL. Carrots with various colouring of root crops for making of snack products. Potato and vegetables. 2018;6:38-40. (In Russ.).
5. Alekseenko EV, Karimova NYu, Tsvetkova AA. The Current State and Prospects for the Development of Methods for Processing Bilberries: Scoping Review. Storage and Processing of Farm Products. 2023;1:22-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>
6. Guseinova BM, Asabutaev IKh, Daudova TI. Otsenka prigodnosti abrikosov k shokovoi zamorozke po fiziko-tekhnologicheskim pokazatelyam kachestva. Journal of International Academy of Refrigeration. 2021;1:74-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83>
7. Dharanikumar K, Lavanya MS, Mahendran K, Pfahadeeswaran M, Kumar GA. A study on the import of exotic fruits and factors influencing its consumption // International Journal of Statistics and Applied Mathematics. 2023;8(5):330-35. <https://doi.org/10.22271/math.2023.v8.i5Se.1214>
8. Somsri S. Durian: Southeast Asia's king of fruits. Chronica Horticulturae. 2008;48(4):19-22.
9. Ketsa S, Wisutiamonkul A, Palapol Y, Paull RE. The durian: Botany, horticulture, and utilization. Horticultural reviews. 2020;47:125-211.
10. Ali NAWA, Wong GR, Tan BCh, Lum WS, Mazumbar P. Unleashing the Potential of Durian: Challenges, Opportunities, and the Way Forward. Applied Fruit Science. 2025;67(1):1-15. <https://doi.org/10.1002/9781119625407.ch4>
11. Noodaeng S. Export competitiveness of Thai durian in China market. European Journal of Business and Management. 2017;9(36):48-55.
12. Poplavskaya YaK, Andreeva SV. Primenenie biorazlagaemykh pokrytii v pishchevoi promyshlennosti. Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya: Sbornik statei XII Natsional'noi

- nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Saratov, 2021. P. 558-562. (In Russ.).
13. Beloglazova KE, Rysmukhambetova GE, Karpunina LV, Konik NV. Use of polysaccharide-based biodegradable materials for primary food packaging. *Izvestiya vuzov. Food technology.* 2019;1(367):61-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.15>
 14. Zinina OV, Vishnyakova EA, Neverova OP. Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component. *Agrarian bulletin of the Urals.* 2023;6(235):76-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86>
 15. Meshcheryakova GS. Improving processes in the technology of pectin-containing polymer coating from watermelon raw materials: dissertation of Cand. Tekhn. Sciences. Astrakhan, 2022. 179 p. (In Russ.).
 16. Maksimenko YuA, Nguen TS, Arabova ZM, Aleksanyan IYu, Nugmanov AKhKh. Thermophysical, Structural and Mechanical Characteristics of Jackfruit Slices. *Food Industry.* 2019;4(4):53-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-4-7>
 17. Nugmanov AKhKh, Meshcheryakova GS, Lebedev VA, Borodulin DM, Aleksanyan IYu, Sokolova EV. Thermophysical Parameters of a Semi-Finished Watermelon Product as an Object of Dehumidification. *Food Processing: Techniques and Technology.* 2021;51(4):930-942. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-930-942>
 18. Andreeva EV, Evseeva SS, Aleksanyan IYu, Nugmanov AKhKh The determination of the characteristics of fruit and berry raw materials and intermediate products of pigment extracts technology. *Bulletin of KSAU.* 2020;10(163):181-189. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-181-189>
 19. Nikulina MA, Nugmanov AKhKh, Titova LM, Aleksanyan IYu, Plenkin AV. Patent No. 2525926 C1 Russian Federation, MPK C08J 5/18, A61K 47/36. Water-soluble biodegradable edible packaging film: No. 2013100494/13: declared 09.01.2013: published 20.08.2014. (In Russ.).
 20. Fatyanov EV, Avylov ChK, Aleinikov AK, Evteev AV, Mokretsov IV. Study of changes in physical and chemical parameters in the production of meat snacks. *The Agrarian Scientific Journal.* 2022;10:116-120. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp116-120>
 21. Pankina IA, Borisova LM, Belokurova ES. Study of physical and technological traits of seeds of leguminous crops. *Grain economy of Russia.* 2015;2:34-37. (In Russ.).
 22. Panin AS, Skverchat VD. Ekspress-metod opredeleniya koeffitsienta teploprovodnosti pastoobraznykh i melkodispersnykh materialov. *Izvestiya vuzov SSSR. Pishchevaya tekhnologiya.* 1974;1:140-143. (In Russ.).
 23. Polshakova NV, Alexandrova EV, Volobueva TA. Automation of experimental data processing in agronomic research. *Bulletin of agrarian science.* 2022;4(97):129-137. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.4.129>
 24. Khayrullin RZ. Computational and experimental method for statistical processing of small samples. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region.* 2023;4(46):131-136. (In Russ.).
 25. Nikulina MA. Improving the process of infrared drying of edible food film: dissertation of Cand. Tech. Sciences. St. Petersburg: ITMO, 2018. 228 p. (In Russ.).
 26. Kaukhcheshvili NE, Nitsenko TP, Mashkova NN. Aspects and prospects of development of production of low humidity products. *Kholodilnaya tekhnika.* 2019;6:40-45. (In Russ.).
 27. Droficheva NV, Prichko TG. Regularities of changes in the quality indicators of fruits after freeze drying // *Polzunovskiy vestnik.* 2025;1:161-167. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020>
 28. Evseeva SS, Andreeva EV, Nugmanov AKhKh. Determination of the parameters of fruit and vegetable raw materials for the rational organization of the extraction of natural dyes. *Technologies of Food and Processing Industries of Agro-industrial Complex - Healthy Food.* 2020;3:150-159. (In Russ.).
 29. Ginzburg AS, Gromov MA. Thermophysical characteristics of potatoes, vegetables and fruits. Moscow: Agropromizdat, 1987. 272 p. (In Russ.).
 30. Ginzburg AS, Gromov MA, Krasovskaya GI. Thermophysical characteristics of food products. Moscow: Food industry, 1980. 288 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Во Чунг Куанг – кандидат технических наук, доцент кафедры Судомеханических дисциплин, Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала Федора

Матвеевича Апраксина - филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», <https://orcid.org/0000-0003-0176-2755>, votrungquang@gmail.com

Альберт Хамед-Харисович Нугманов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции», ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, nugmanov@rgau-msha.ru

Игорь Юрьевич Алексанян – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологических машин и оборудования», ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, 16081960igor@gmail.com

Павел Дмитриевич Осмоловский – канд. с.-х. наук, доцент кафедры «технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции», ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>, pavel.osmolovsku@mail.ru

Аюб Абдулаевич Эльмурзаев – кандидат технических наук, доцент кафедры технологические машины и оборудование, ФГБОУ ВО ГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, <https://orcid.org/0000-0002-6003-1971>, ayub_777@mail.ru

Ноха Джабраилович Айсунгуров – кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии машиностроения и транспортных процессов, ФГБОУ ВО ГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, <https://orcid.org/0000-0001-8496-6803>, aysungurov91@mail.ru

Вклад авторов:

Куанг В. Ч. – проведение эксперимента, обработка данных эксперимента, полученных в ходе исследования;

Нугманов А. Х.-Х. – научное руководство, разработка концепции научного исследования, контроль над проведением научного исследования;

Алексанян И. Ю. – обоснование концепции исследования, контроль над проведением научного исследования;

Осмоловский П. Д. – обработка данных эксперимента, полученных в ходе исследования, подготовка научной статьи под требования журнала;

Эльмурзаев А. А. – практическая апробация обработанных экспериментальных данных;

Айсунгуров Н. Д. – обзор литературных источников, их анализ.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 01.04.2025;

одобрена после рецензирования: 12.05.2025;

принята к публикации: 01.06.2025.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vo Ch. Kuang – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ship-Mechanical Disciplines, Caspian Institute of Marine and River Transport named after Admiral Fyodor Matveyevich Apraksin - branch of Volga State University of Water Transport, <https://orcid.org/0000-0003-0176-2755>, votrungquang@gmail.com

Albert H.-H. Nugmanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Technologies of Storage and Processing of fruit and vegetable and Crop Products", K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, nugmanov@rgau-msha.ru

Igor Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Technological Machines and Equipment", Astrakhan State Technical University, <http://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, 16081960igor@gmail.com

Pavel D. Osmolovskiy – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of "Technologies of Storage and Processing of fruit and vegetable and crop Products", K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>, pavel.osmolovsku@mail.ru

Ayub A. Elmurzaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Academician M.D. Millionshchikov State Technical University, <https://orcid.org/0000-0002-6003-1971>, ayub_777@mail.ru

Nokha D. Aisungurov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology and Transport Processes, Academician M.D. Millionshchikov State Technical University, <https://orcid.org/0000-0001-8496-6803>, Aysungurov91@mail.ru

Contribution of the authors:

Kuang VCh – conducting an experiment, processing experimental data obtained during the study;

Nugmanov AH-H – scientific guidance, development of the concept of scientific research, control over the conduct of scientific research;

Aleksanyan IY – substantiation of the research concept, control over the conduct of scientific research;

Osmolovskiy PD – processing of experimental data obtained during the research, preparation of a scientific article for the requirements of the journal;

Elmurzaev AA – practical approbation of the processed experimental data;

Aisungurov ND – review of literary sources, their analysis.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted: 01.04.2025;

approved after reviewing: 12.05.2025;

accepted for publication: 01.06.2025.