

**05.20.02 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

05.20.02

УДК 621.365.46

DOI: 10.24412/2227-9407-2021-5-31-41

**Ранжирование целевых компонентов сельскохозяйственного сырья с целью разработки алгоритмов управления температурными режимами их обработки***В. М. Попов\*, В. А. Афонькина, В. Н. Левинский, Е. И. Кривошеева**Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия**\* ntc-es@mail.ru***Аннотация**

**Введение.** Рассмотрена возможность применения ранжирования как инструмента когнитивного управления процессами переработки сельскохозяйственного сырья. Раскрываются понятия и принципы построения систем управления технологическими процессами, в основе которых лежит упорядоченная иерархия целевых компонентов сырья, с их количественной, биохимической и весомостной оценкой.

**Материалы и методы.** Предложено в технологиях переработки сельскохозяйственного сырья рассматривать его как объект управления (ОУ), в котором не общая масса свойств играет ключевую роль, а то, как индивидуальные массы целевых компонентов распределены в данном ОУ. Приведен алгоритм комплексного ранжированного подхода к построению иерархии для переработки с.-х. сырья.

**Результаты.** Приведен пример работы предложенного алгоритма на томатах, в которых выбран перечень целевых компонентов (вода, глюкоза, аскорбиновая и лимонная кислоты), и свойства его термостабильности. Предложено использование нагревателя электрического пленочного в качестве генератора инфракрасного излучения. Получены спектральные характеристики выбранных целевых компонентов по методике оценки оптической восприимчивости сырья в ИК-диапазоне с использованием построения логарифмических амплитудно-частотных характеристик. Полученные спектральные характеристики генерализованы в единую, с выделенным диапазоном рабочих длин волн выбранного ИК-генератора.

**Обсуждение.** Приведен анализ генерализованной спектральной характеристики целевых компонентов томата, из которой выделен точный температурный режим нагревателя электрического пленочного. При соблюдении выбранного режима максимумы поглощения излучения водой в единицу времени будут соответствовать максимальному значению коэффициентов пропускания глюкозы, аскорбиновой и лимонной кислот.

**Заключение.** Применение алгоритма комплексного ранжирования как инструмента когнитивного управления процессами переработки сельскохозяйственного сырья позволит получить продукт высокого качества с минимальными затратами электроэнергии. Это показано на примере ранжирования целевых компонентов томата, в котором при выбранном температурном режиме его обработки воздействие на воду будет «точечным», при сведенном к минимуму воздействии на другие целевые компоненты, что поспособствует их концентрированию в конечном сухопродукте.

**Ключевые слова:** генерализация, инфракрасный, нагреватель электрический пленочный, ранжирование, спектральные характеристики, томат, целевые компоненты,

**Для цитирования:** Попов В. М., Афонькина В. А., Левинский В. Н., Кривошеева Е. И. Ранжирование целевых компонентов сельскохозяйственного сырья с целью разработки алгоритмов управления температурными режимами их обработки // Вестник НГИЭИ. 2021. № 5 (120). С. 31–41. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-5-31-41

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Челябинской области в рамках научного проекта № 20-416-740001.

© Попов В. М., Афонькина В. А., Левинский В. Н., Кривошеева Е. И., 2021



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## Ranking of target components of agricultural raw materials in order to develop algorithms for controlling the temperature conditions of their processing

V. M. Popov\*, V. A. Afonkina, V. N. Levinsky, E. I. Krivosheeva

South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

\* ntc-es@mail.ru

### Abstract

**Introduction.** The possibility of using ranking as a tool for cognitive management of agricultural raw materials processing processes is considered. The concepts and principles of building process control systems are revealed, which are based on an ordered hierarchy of the target components of raw materials, with their quantitative, biochemical and weighty assessment.

**Materials and Methods.** It is proposed in the technologies of processing agricultural raw materials to consider it as an object of management in which not the total mass of properties plays a key role, but how the individual masses of the target components are distributed in this object of management. The algorithm of a complex ranked approach to the construction of a hierarchy for the processing of agricultural raw materials is presented.

**Results.** An example of how the proposed algorithm works on tomatoes, in which a list of target components (water, glucose, ascorbic and citric acids) is selected.) and the properties of its thermal stability. The use of an electric film heater as an infrared radiation generator is proposed. The spectral characteristics of the selected target components are obtained by the method of estimating the optical susceptibility of raw materials in the infrared range using the construction of logarithmic amplitude-frequency characteristics. The obtained spectral characteristics are generalized into a single one, with a dedicated range of operating wavelengths of the selected infrared radiation generator.

**Discussion.** The analysis of the generalized spectral characteristics of the target components of tomato is given, from which the exact temperature regime of the electric film heater is isolated. If the selected mode is observed, the maxima of radiation absorption by water per unit time will correspond to the maximum value of the transmittance coefficients of glucose, ascorbic and citric acids.

**Conclusion.** The use of the integrated ranking algorithm as a tool for cognitive management of agricultural raw materials processing processes will allow you to get a high-quality product with minimal energy costs. This is shown by the example of ranking the target components of tomato, in which, under the selected temperature regime of its processing, the impact on water will be «point-like», while minimizing the impact on other target components, which will contribute to their concentration in the final dry product.

**Keyword:** ranking, tomato, target components, infrared, spectral characteristics, generalization, electric film heater.

**For citation:** Popov V. M., Afonkina V. A., Levinsky V. N., Krivosheeva E. I. Ranking of target components of agricultural raw materials in order to develop algorithms for controlling the temperature conditions of their processing // Bulletin NGIEI. 2021. № 5 (120). P. 31–41. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-5-31-41

**Funding:** The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and the Chelyabinsk Region in the framework of scientific project No. 20-416-740001.

### Введение

На сегодняшний день современный мир всё больше и больше отдаёт предпочтение системному подходу в различных отраслях народного хозяйства. Такой подход обоснован новыми тенденциями в подходах к организации производств, в том числе и перерабатывающей пищевой промышленности. Сейчас мало получить продукт переработки сельскохозяйственного сырья, необходимо, чтобы он отвечал требованиям экологии, продовольственной безопасности и обладал потенциалом для экспорта, как сегмент рынка с повышенной надбавленной

стоимостью. Таким образом, новые методы разработки алгоритмов управления воздействиями на биологические объекты, базирующиеся на целостном видении объектов, явлений и процессов, являются актуальными, инновационными и адресными.

Процессы получения и переработки сельскохозяйственной продукции – это всегда динамические системы с множеством вариантов развития, появляющихся как следствие влияния возмущающих воздействий или одного из специально организованных управленческих решений. Сложность оценки данных процессов заключается в противо-

речивости отдельных показателей и слабоструктурированности задач управления. Ярким примером конкурирующих факторов при производстве продуктов питания, кормов для животных, семенного материала является качество и стоимость конечного продукта.

Основы когнитивного управления могут быть полезны не только в сфере моделирования поведения человека, но и в процессах получения продуктов питания и сырьевой базы для них с заданными качественными и количественными показателями. Для этого областью изучения или объектом науки должна стать иерархическая система знаний о целевых компонентах сельскохозяйственного сырья, при этом данные знания должны позволить удобно, быстро, и исключая формализм, использовать их в управлении процессами воздействия на сырье [1].

### Материалы и методы

За основу метода построения данной иерархии предлагается взять принцип ранжирования, который позволит определить, какие свойства и какого из целевых компонентов необходимо учитывать при построении функции согласования при многофакторном анализе технологии переработки того или иного сельскохозяйственного сырья [2].

Задача ранжирования – это задача по присвоению рангов целевым компонентам в технологии их переработки или получения новых свойств по их признакам.

О качестве продуктов с.-х. производства судят, как правило, по их биохимическому и физическому составу, а также по технологическим свойствам. Свойства эти могут влиять друг на друга в процессе переработки и хранения как сырья, так и готовой продукции, к тому же влияние это имеет переменный знак в зависимости от возможных дополнительных условий внутренних и внешних воздействий, которые, в свою очередь, могут быть аддитивными и мультипликативными.

Мы считаем, что в технологиях переработки сельскохозяйственного сырья, особенно если они связаны с глубокими биохимическими изменениями, необходимо рассматривать сырье как объект управления (ОУ), в котором не общая масса свойств играет ключевую роль, а то, как индивидуальные массы целевых компонентов распределены в данном ОУ.

Приведем алгоритм комплексного ранжированного подхода к построению иерархии:

1. Определяется количество целевых компонентов.
2. Определяется количество уровней иерархии.
3. Определяются критерии каждого уровня.

4. Определяются начальные состояния компонентов ОУ и входные значения параметров, определяющие алгоритм событий.

5. Строятся структурно-функциональные модели.

6. Определяется комплексный критерий всей системы и проверяется условие выполнимости задания на определенном уровне иерархии.

### Результаты

В качестве примера рассмотрим томат. На состав томатов и их разновидность влияет степень зрелости, ареол произрастания и условия выращивания. На рисунке 1 представлена диаграмма состава свежих томатов [3; 4; 5; 6; 7; 8; 20].

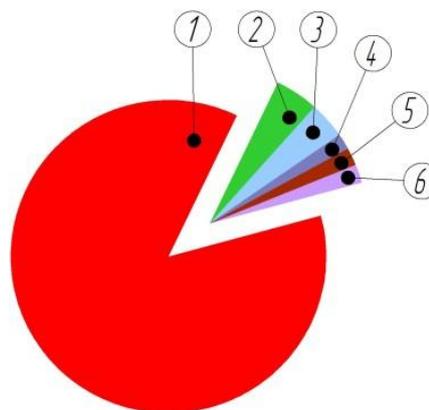


Рис. 1. Состав свежих томатов: 1 – вода 93–94 %; 2 – сахара 3,5–4,5 % (глюкоза, фруктоза и др.); 3 – аскорбиновая кислота 20–40 мг/100 г; 4 – полисахариды 1–1,3 % (крахмал, пектин и др.); 5 – органические кислоты 0,7–0,8 % (лимонная, яблочная и др.); 6 – компоненты, входящие в остальную часть состава: аминокислоты (глутаминовая, аминокислотная и др.), ферменты (целлюлоза, амилаза, пектиновые ферменты и др.), пигменты (ликопин и β-каротин), летучие вещества (3-гексенол, 2-изобутилтиозол)

Fig. 1. Composition of fresh tomatoes:

1 – water 93–94 %; 2 – sugar 3,5–4,5 % (glucose, fructose and others); 3 – ascorbic acid 20–40 mg/100 g; 4 – polysaccharides 1–1,3 % (starch, pectin and others); 5 – organic acids 0,7–0,8 % (citric, malic and others); 6 – components that make up the rest of the composition: amino acids (glutamic, aminobutyric and others), enzymes (cellulose, amylase, pectin enzymes and others), pigments (lycopene and β-carotene), volatile substances (3-hexenol, 2-isobutylthiozole)

Источник: разработано авторами по [7]

Наибольшим содержанием в свежем томате выделяются следующие компоненты: вода, глюкоза, аскорбиновая и лимонная кислоты [3; 7]. Содержа-

ние оставшихся компонентов, согласно физико-химическому анализу, не превышает одного процента, таким образом, диапазон длин волн излучения процесса сушки необходимо выбирать с учетом спектральных характеристик вышеуказанных компонентов путем их генерализации [14; 15].

При генерализации важно учитывать, что максимум коэффициента поглощения воды в единицу излучения должен соответствовать максимуму коэффициента пропускания основных целевых компонентов (глюкоза, аскорбиновая и лимонная кислоты) без потери их количественного содержания в сушеном томате [7; 8].

Стоит отметить, что такое свойство томатов, как термолабильность, нередко проявляется в различных режимах сушки появлением непривлекательного цвета и несвойственного запаха, что приводит к риску снижения фактора спроса и товарной ценности сушёных томатов. Сокращается срок годности и возможность использования данного продукта как сырья для последующей переработки. Нередко это вызвано реакцией Майяра, основным признаком которой является деградация цвета от красного до коричневого, как первого признака нарушения технологии и температурного воздействия [3; 6; 7; 8; 9]. Ученые в своих трудах отмечают, что при соблюдении температурного диапазона от 40–60 °С реакция Майера отсутствует [10; 11].

Получить спектральные характеристики целевых компонентов томата можно несколькими способами: 1) исследовать сырье в специализированных лабораториях с оборудованием ИК-спектроскопии; 2) использовать существующие спектральные характеристики отдельных компонентов; 3) использовать методику оценки оптической восприимчивости сырья в ИК-диапазоне с использованием построения логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) теории автоматического управления, предложенной В. А. Афонькиной [14; 15; 16].

Наиболее точным является первый способ, но самый главный его недостаток заключается в дороговизне проведения исследований. Литературный поиск существующих спектральных характеристик отдельных компонентов показал, что они есть, но, как правило, для коротких длин волн инфракрасного излучения, для средних длинных волн излучения данных нет. Поэтому было принято решение использовать методику, предложенную в диссертационной работе В. А. Афонькиной, где была подтверждена высокая сходимость спектральных характеристик сырья, теоретически рассчитанного по предложенной методике с полученными результатами в

специализированной лаборатории, то есть вариант первого способа [14].

Выбранная методика основана на рассмотрении технологического процесса сушки, как объекта управления (ОУ) с комплексом внутренних и внешних связей, обладающего собственной спектральной чувствительностью  $\varepsilon_\lambda$ , управление которым должно осуществляться по сигналам на входе и выходе по системе обратной связи (рис. 2).

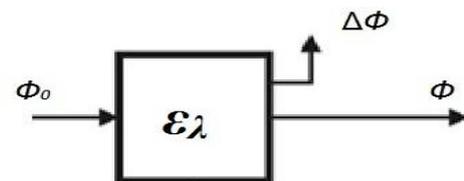


Рис. 2. Схема связи входных и выходных воздействий с ОУ

Fig. 2. Diagram of the connection of input and output actions with the control object

Источник: разработано авторами по [14]

Для математического описания связи входных управляющих сигналов и выходных управляемых сигналов выбрана передаточная функция.

Передаточная функция в процессе воздействия на ОУ – это не что иное как дифференциальное уравнение, описывающее процесс сушки. Она выражает амплитуду затухания излучения в сырье по мощности:

$$L_d = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

где  $L_d$  – коэффициент затухания излучения, дБ;  $I$  – поток излучения, не воспринятый сырьем, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_0$  – поток излучения, упавший на сырье, Вт/м<sup>2</sup>.

Лучистый поток, упавший на сырье, определяется как:

$$I_0 = \varepsilon A \int_0^\infty m(\lambda T) d\lambda, \quad (2)$$

где  $A$  – площадь тела излучения, м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – длина волны излучения, мкм;  $\varepsilon$  – степень черноты тела излучения;  $m(\lambda T)$  – спектральная энергетическая светимость, Вт/м<sup>2</sup>·мкм.

Численное значение спектральной энергетической светимости определяется по формуле Планка:

$$m(\lambda T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)}, \quad (3)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – первая и вторая постоянные уравнения Планка;  $T$  – температура поверхности тела излучения, К.

Количество излучения, не воспринятое продуктом, можно определить:

$$I = I_0 - I_3, \quad (4)$$

где  $I_3$  – эффективно воспринятый поток, Вт/м<sup>2</sup>.

Величину эффективно воспринятого потока излучения, поглощенного продуктом, рассчитывают по формуле:

$$I_э = \varepsilon F \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} m(\lambda T) \cdot \varepsilon(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

где  $F$  – площадь приемника ИК-излучения, м<sup>2</sup>;  $\varepsilon(\lambda)$  – спектральная чувствительность приемника;  $\lambda_1$ ;  $\lambda_2$  –

верхняя и нижняя границы длин волн потока излучения, воспринимаемого приемником, мкм.

На рисунках 3, 4, 5, 6 представлены спектральные характеристики выбранных целевых компонентов в составе томата, полученных согласно методике оценки оптической восприимчивости сырья в ИК-диапазоне [14; 15].

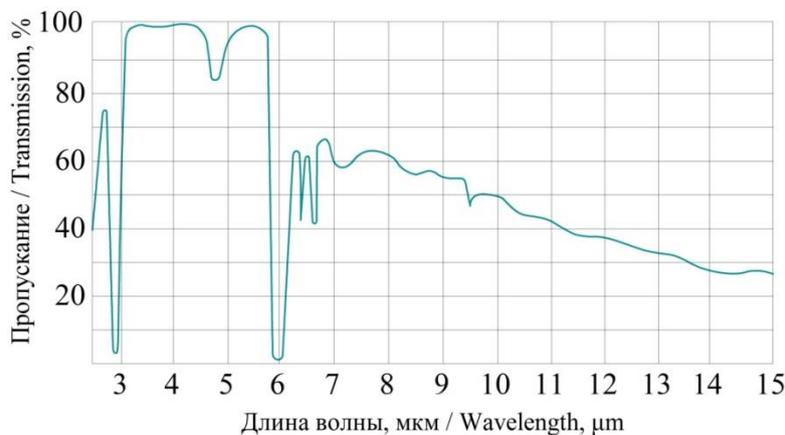


Рис. 3. Спектральная характеристика воды

Fig. 3. Spectral characteristics of water

Источник: разработано авторами

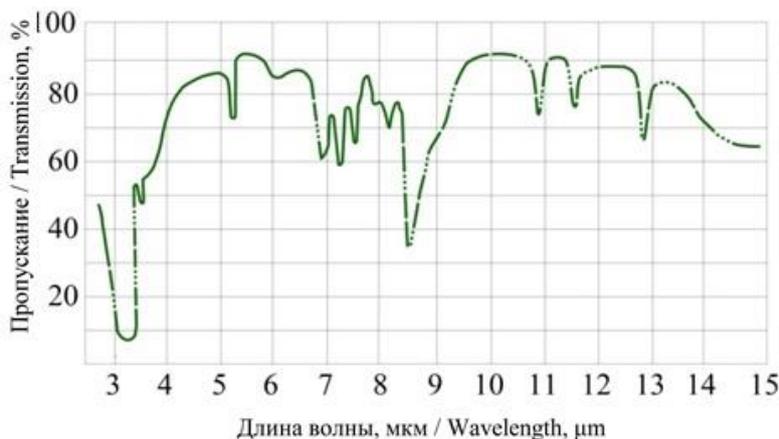


Рис. 4. Спектральная характеристика глюкозы

Fig. 4. Spectral characteristics of glucose

Источник: разработано авторами

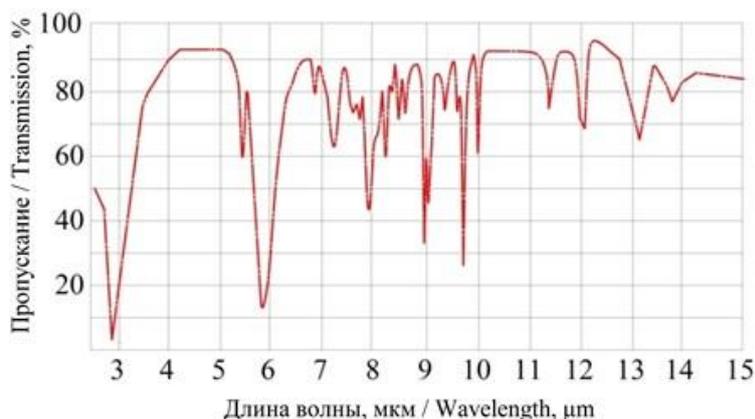


Рис. 5. Спектральная характеристика аскорбиновой кислоты

Fig. 5. Spectral characteristics of ascorbic acid

Источник: разработано авторами

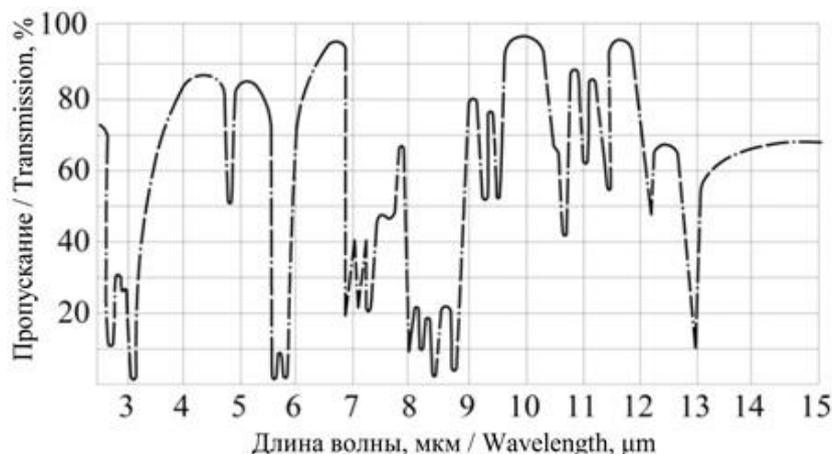


Рис. 6. Спектральная характеристика лимонной кислоты

Fig. 6. Spectral characteristics of citric acid

Источник: разработано авторами

В качестве генератора инфракрасного излучения был выбран нагреватель электрический пленочный (НЭП) с проволочным резистивным элементом (рис. 7), так как его рабочие температур-

ные диапазоны соответствуют условиям термолабильности томата. Это следует из основных технических показателей (НЭП), представленных в таблице [17; 18; 19].



Рис. 7. Внешний вид НЭП

Fig. 7. Appearance of the electric film heater

Источник: разработано авторами по [18]

Таблица 1. Технические характеристики НЭП

Table 1. Technical characteristics of NEP

Технические характеристики / Specifications	Значения / The values
Номинальное напряжение, $U_n$ / Rated voltage $U_n$	12–220 В, 380 В, 50 Гц / 12–220 V, 380 V, 50 Hz
Удельная мощность / Specific power	до 500 Вт/м <sup>2</sup> / to 500 W/m <sup>2</sup>
Номинальный ток нагрузки, $I_n$ / Rated load current $I_n$	от 0,5 до 2,3 А/м <sup>2</sup> / from 0,5 to 2,3 A/m <sup>2</sup>
Диапазон длины волны излучения, $\lambda$ / Radiation wavelength range, $\lambda$	8,5–9,5 мкм / 8.5–9.5 microns
Долговечность / Durability	50 лет / 50 years
Ширина полотна / Web width	0,35; 0,51 м / 0.35; 0.51 m
Размерный ряд по длине / Size range in length	от 0,5 до 7 м / from 0.5 to 7 m
Наличие передающего элемента / The presence of a transmitting element	Алюминиевая фольга / Aluminium foil

Источник: составлено авторами на основании данных [17; 18], а также<sup>1,2</sup>

Путем наложения спектральных характеристик целевых компонентов томата (вода, глюкоза, аскорбиновая и лимонная кислоты) и выделения диапазона рабочих длин волн излучения пленочных электронагревателей (8,50–9,50 мкм) получим генерализованную обобщенную спектральную ха-

рактеристику целевых компонентов томата (рис. 8). Максимумы поглощения излучения водой в единицу времени должны соответствовать максимальному значению коэффициентов пропускания глюкозы, аскорбиновой и лимонной кислот [12; 13; 14; 15; 16].

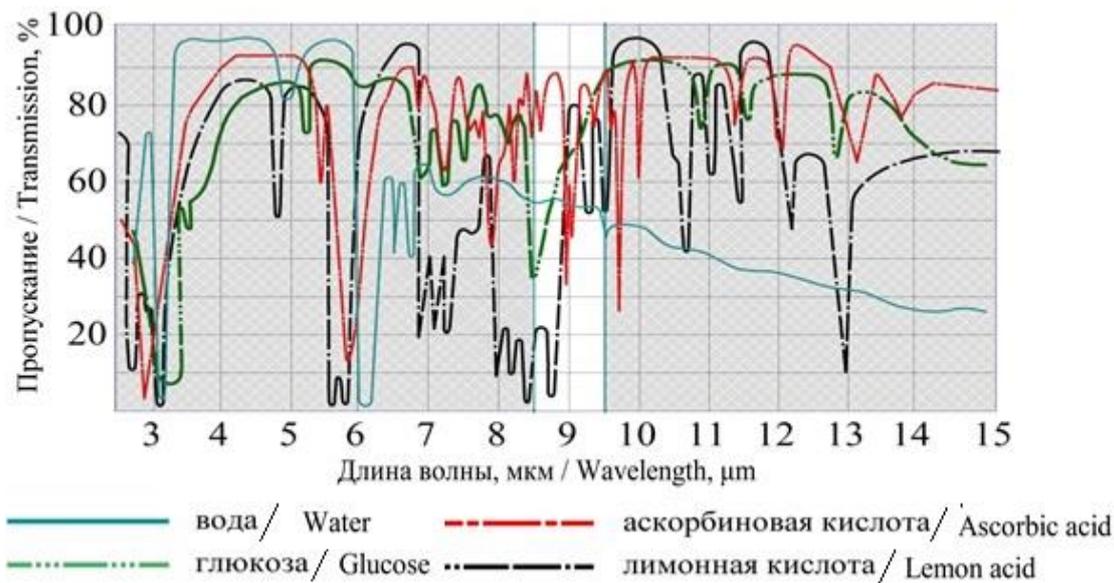


Рис. 8. Генерализованная спектральная характеристика целевых компонентов томата  
Fig. 8. Generalized spectral characteristic of the target components of tomato

Источник: разработано авторами

### Обсуждение

Анализ полученного результата наложения спектральных характеристик показывает следующее: 1) вода поглощает излучение в рассматриваемом диапазоне от 8,50 до 9,50 на 48–58 %; 2) для глюкозы рост максимальной пропускной способности до 80 % наблюдается в диапазоне от 8,80 до 9,50 мкм; 3) для аскорбиновой кислоты максимумы пропускной способности просматриваются в диапазоне излучения от 8,00 до 8,90 мкм и от 9,00 до 9,50 мкм, а в точке, равной значению 8,95 мкм, заметен момент поглощения до 70 % излучения; 4) для лимонной кислоты, несмотря на несколько пиковых значений в моменты максимального пропускания, приемлем диапазон от 8,80 до 9,50 мкм, для выбранного диапазона излучения пропускание составит более 50 %.

Таким образом, для сушки томатов с применением инфракрасного пленочного электронагрева-

теля необходимо, чтобы длина волны излучения составляла от 8,80 до 8,94 мкм, что согласно закону прямого смещения Вина соответствует температуре поверхности излучателя от 51 до 56 °С.

Данный температурный диапазон будет полностью соответствовать условиям термолабильности томатов и энергетически эффективной работе выбранного генератора инфракрасного излучения.

### Заключение

На наш взгляд, метод ранжирования при построении когнитивных систем управления в различных сферах АПК весьма перспективен, так как упорядоченное и верифицированное знание об объекте управления позволит получать продукты питания, корма, семена и др. с заданными свойствами и параметрами, повысит точность управления процессами переработки живых сред и позволит выявить отдельное влияние внешних и внутренних факторов на конечный продукт.

<sup>1</sup> ПЛЭН [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://estechology.ru/>

<sup>2</sup> Пленочные электронагреватели [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tmelekt.ru/ukls.html>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болбаков Р. Г. Основы когнитивного управления // Государственный советник. Воронеж. 2015. № 1 (9). С. 45–49.
2. Горелов В. И., Ледащев Т. Н. Ранжирование альтернативных вариантов развития системы и построения функции полезности в многофакторном анализе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. Москва. 2003. № 9. С. 20–26.
3. Кожевников Н. А. Обоснование использования ИК-сушки томатов // Актуальные проблемы управления в различных сферах жизни общества. Челябинск. 2017. С. 47–52.
4. Алтухов И. В., Очиров В. Д. Оптические свойства сельскохозяйственных продуктов растительного и животного происхождения // Вестник ИРГСХА. 2009. № 37. С. 43–49.
5. Алтухов И. В., Быкова С. М. Выбор определяющих параметров технологической обработки и сушки томатов импульсным инфракрасным облучением // Байкальский вестник DAAD. Иркутск. 2019. № 1. С. 52–57.
6. Алтухов И. В., Быкова С. М. Влияние режимов импульсной инфракрасной обработки и сушки томатов на биохимические условия нагрева // Вестник КраСГАУ. 2019. № 10 (151). С. 132–138.
7. Алтухов И. В., Быкова С. М. Влияние режимов инфракрасного излучения на содержание витамина С в томатах // Чтения И. П. Терских. Иркутск. 2019. С. 140–146.
8. Чернышев С. В. Разработка и научное обоснование технологии сушёных томатов : Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. Кишинёв, 2011. 29 с.
9. Ochirov V. D., Altukhov I. V., Bykova S. M., Tsuglenok N. V. Investigation of infrared drying of carrot chips // IOP Conference series: Earth and Environmental science, 2021. P.012037
10. Chou S. K., Chua K. J. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs // Trends in Food Science and Technology. 2001. V. 12. P. 359–369.
11. Kaymak-Ertekin F., Gedik A. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage // Journal of Food Engineering. 2005. V. 68. P. 443–453.
12. Зиганишин Б. Г., Булатов С. Ю., Миронов К. Е., Рукавишников В. Н., Шкилев Н. П. Определение рабочей площади торцевых решет дробилки зерна с увеличенной сепарирующей поверхностью // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 87–91.
13. Тертычная Т. Н., Шевцов А. А., Куликов С. С. Экспериментально-статистическое исследование процесса сушки зерна тритикале при противоточно-прямоточном продувании зернового слоя // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 4. С. 38–46. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-38-46>
14. Попов В. М., Афонькина В. А., Зудин Е. С., Левинский В. Н. Согласование оптических свойств и спектральных характеристик системы «излучатель-приемник» для двухстадийной ИК-сушки макаронных изделий // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (54). С. 106–110.
15. Попов В. М., Афонькина В. А., Левинский В. Н. Исследование и согласование оптических свойств ИК-излучателей и спектральных характеристик яичного порошка // АПК РОССИИ. Троицк. 2019. № 4 (26). С. 558–562.
16. Счисленко Д. М., Бастрон А. В. Повышение эффективности ИК-сушки плодов рябины черноплодной путем исследования их спектральных характеристик // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Барнаул, 2020. № 5 (187). С. 159–165.
17. Епишков Е. Н., Новиков Р. Р. Математическая модель процесса сушки макаронных изделий с помощью плёночных лучистых электронагревателей // Современные тенденции технологического развития АПК. 2019. С. 202–209.
18. Ертаев С. М. Инфракрасная сушка с использованием пленочных электронагревателей на примере сапропелевого сырья // Актуальные проблемы управления в различных сферах жизни общества. Челябинск. 2017. С. 36–39.
19. Счисленко Д. М., Бастрон А. В. Мобильная гелиосушильная установка для сушки плодов ягодных культур // Вестник КРАСГАУ. 2018. № 6 (141). С. 131–135.
20. Дяченко Э. П., Алексанян И. Ю., Разин О. А., Иванова М. И. Исследование влияние конвективного энергоподвода на интенсивность инфракрасной сушки плодов томата // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. Санкт-Петербург. 2019. № 4. С. 40–47.

Дата поступления статьи в редакцию 24.02.2021, принята к публикации 22.03.2021.

*Информация об авторах:***ПОПОВ ВИТАЛИЙ МАТВЕЕВИЧ,**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов»

Адрес: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 457100, Россия, Челябинская область,  
г. Троицк, ул. Гагарина, 13

E-mail: ntc-es@mail.ru

Spin-код: 3322-2811

**АФОНЬКИНА ВАЛЕНТИНА АЛЕКСАНДРОВНА,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов»

Адрес: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 457100, Россия, Челябинская область,  
г. Троицк, ул. Гагарина, 13

E-mail: afva82@mail.ru

Spin-код: 7028-8138

**ЛЕВИНСКИЙ ВАСИЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ,**

ассистент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов»

Адрес: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 457100, Россия, Челябинская область,  
г. Троицк, ул. Гагарина, 13

E-mail: lv\_74rus@mail.ru

Spin-код: 6454-6822

**КРИВОШЕЕВА ЕЛЕНА ИВАНОВНА,**

старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов»

Адрес: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 457100, Россия, Челябинская область,  
г. Троицк, ул. Гагарина, 13

E-mail: kuvshinkalenchik@mail.ru

Spin-код: 8470-3246

*Заявленный вклад авторов:*

**Попов Виталий Матвеевич:** научное руководство, формулирование основной концепции исследования, анализ полученных результатов.

**Афонькина Валентина Александровна:** общее руководство проектом, сбор и обработка материалов, проведение критического анализа материалов и формирование выводов.

**Левинский Василий Николаевич:** концепция и инициация исследования, проведение анализа и подготовка первоначальных выводов, написание окончательного варианта текста.

**Кривошеева Елена Ивановна:** подготовка первоначального варианта текста, подготовка литературного обзора.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**REFERENCES**

1. Bolbakov R. G. Osnovy kognitivnogo upravleniya [Fundamentals of cognitive management], *Gosudarstvennyy sovetnik [State Councilor]*, Voronezh, 2015, No. 1 (9). pp. 45–49.
2. Gorelov V. I., Ledashcheva T. N. Ranzhированиye al'ternativnykh variantov razvitiya sistemy i postroyenii funktsii poleznosti v mnogofaktornom analize [Ranking of alternative options for the development of the system and construction of the utility function in multivariate analysis], *Vestnik rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of the Russian University of Friendship of Peoples. Series: ecology and life safety]*, Moscow, 2003, No. 9, pp. 20–26.
3. Kozhevnikov N. A. Obosnovaniye ispol'zovaniya IK-sushki tomato [Justification of the use of IR-drying tomatoes], *Aktual'nyye problemy upravleniya v razlichnykh sferakh zhizni obshchestva [Actual problems of management in various spheres of society]*, Chelyabinsk, 2017, pp. 47–52.

4. Altukhov I. V., Ochirov V. D. Opticheskiye svoystva sel'skokhozyaystvennykh produktov rastitel'nogo i zhitovnogo proiskhozhdeniya [Optical properties of agricultural products of plant and animal origin], *Vestnik IRG-SKHA [Bulletin of the IRGSKhA]*, 2009, No. 37, pp. 43–49.
5. Altukhov I. V., Bykova S. M. Vybora opredelyayushchikh parametrov tekhnologicheskoy obrabotki i sushki tomatov impul'snym infrakrasnym oblucheniym [The choice of the determining parameters of technological processing and drying of tomatoes by pulsed infrared irradiation], *Baykal'skiy vestnik DAAD [Baikal Vestnik DAAD]*, Irkutsk, 2019, No. 1, pp. 55–57.
6. Altukhov I. V., Bykova S. M. Vliyaniye rezhimov impul'snoy infrakrasnoy obrabotki i sushki tomatov na biokhimicheskiye usloviya nagreva [Influence of modes of pulsed infrared processing and drying of tomatoes on biochemical heating conditions], *Vestnik KraSGAU [Bulletin KrasGAU]*, 2019, No. 10 (151), pp. 132–138.
7. Altukhov I. V., Bykova S. M. Vliyaniye rezhimov infrakrasnogo izlucheniya na sodержaniye vitamina C v tomatakh [Influence of infrared radiation modes on the content of vitamin C in tomatoes], *Chteniya I. P. Terskikh [Readings by I. P. Terskikh]*, Irkutsk, 2019, pp. 140–146.
8. Chernyshev S. Razrabotka i nauchnoye obosnovaniye tekhnologii sushonykh tomato [Development and scientific substantiation of the technology of dried tomatoes. Dr. Sci. (Engineering) thesis], Kishinov, 2011, 29 p.
9. Ochirov V. D., Altukhov I. V., Bykova S. M., Tsuglenok N. V. Investigation of infrared drying of carrot chips, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, pp. 012037.
10. Chou S. K., Chua K. J. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs, *Trends in Food Science and Technology*, 2001, Vol. 12, pp. 359–369.
11. Kaymak-Ertekin F., Gedik A. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage, *Journal of Food Engineering*, 2005, Vol. 68, pp. 443–453.
12. Ziganshin B. G., Bulatov S. Yu., Mironov K. E., Rukavishnikova V. N., Shkilev N. P. Opredelenie rabochej ploshchadi torcevykh reshet drobilki zerna s uvelichennoj separiruyushchej poverhnost'yu [Determination of the working area of the end screens of a grain crusher with an increased separating surface], *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Kazan State Agrarian University]*, 2020, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 87–91.
13. Tertychnaya T. N., Shevtsov A. A., Kulikov S. S. Eksperimental'no-statisticheskoe issledovanie processa sushki zerna tritikale pri protivotochno-pryamotochnom produvanii zernovogo sloya [Experimental and statistical analysis research of the triticale grain drying process when countercurrent-direct-flow blowing of the grain layer], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologij [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 2020, Vol. 82, No. 4, pp. 38–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-38-46>
14. Popov V. M., Afonkina V. A., Zudin E. S., Levinskiy V. N. Soglasovaniye opticheskikh svoystv i spektral'nykh kharakteristik sistemy «izluchatel'-priyemnik» dlya dvukhstadiynoy IK-sushki makaronnykh izdeliy [Coordination of optical properties and spectral characteristics of the «emitter-receiver» system for two-stage IR-drying of pasta], *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University]*, 2020, No. 2(54), pp. 106–110
15. Popov V. M., Afonkina V. A., Levinsky V. N. Issledovaniye i soglasovaniye opticheskikh svoystv IK-izluchateley i spektral'nykh kharakteristik yaichnogo poroshka [Investigation and matching of optical properties of IR emitters and spectral characteristics of egg powder], *APK Rossii [AIC of Russia]*, Troitsk, 2019, No. 4 (26), pp. 558–562.
16. Schislenko D. M., Bastron A.V. Povysheniye effektivnosti IK-sushki plodov ryabina chernoplodnoy putem issledovaniya ikh spektral'nykh kharakteristik [Increasing the efficiency of IR-drying of chokeberry fruits by studying their spectral characteristics], *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]*, Barnaul, 2020, No. 5 (187), pp. 159–165.
17. Yepishkov E. N., Novikov R. R. Matematicheskaya model' protsessa sushki makaronnykh izdeliy s pomoshch'yu plonochnykh luchistykh elektronagrevateley [Mathematical model of the process of drying pasta with the help of radiant film electric heaters], *Sovremennye tendencii tekhnologicheskogo razvitiya APK [Modern trends in the technological development of the agro-industrial complex]*, 2019, pp. 202–209.
18. Yertayev S. M. Infrakrasnaya sushka s ispol'zovaniyem plenochnykh elektronagrevateley na primere sapropelevogo syr'ya [Infrared drying using film electric heaters on the example of sapropel raw materials], *Aktual'nyye problemy upravleniya v razlichnykh sferakh zhizni obshchestva [Actual problems of management in various spheres of society]*, Chelyabinsk, 2017, pp. 36–39.

19. Schislenko D. M. Bastron A. V. Mobil'naya geliosushil'naya ustanovka dlya sushki plodov yagodnykh kul'tur [Mobile heliodrying plant for drying fruits of berry crops], *Vestnik KRASGAU [Bulletin of KRASGAU]*, 2018, No. 6 (141), pp. 131–135.

20. Dyachenko E. P., Aleksanyan I. Yu., Razin O. A., Ivanova M. I. Issledovaniye vliyaniye konvektivnogo energopodvoda na intensivnost' infrakrasnoy sushki plodov tomata [Investigation of the effect of convective energy supply on the intensity of infrared drying of tomato fruits], *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatus for food production]*, St. Petersburg, 2019, No. 4, pp. 40–47.

The article was submitted 24.02.2021, accept for publication 22.03.2021.

*Information about the authors:*

**POPOV VITALY MATVEEVICH,**

Dr. Sci. (Engineering), associate professor,

Head of the chair «Department of Power Supply and Automation of Technological Processes»

Address: South Ural State Agrarian University, 457100, Chelyabinsk region, Troitsk, Russia, Gagarina Str., 13

E-mail: ntc-es@mail.ru

Spin-code: 3322-2811

**AFONKINA VALENTINA ALEXANDROVNA,**

Ph. D. (Engineering), associate professor of the chair

«Department of Power Supply and Automation of Technological Processes»

Address: South Ural State Agrarian University, 457100, Chelyabinsk region, Troitsk, Russia, Gagarina Str., 13

E-mail: afva82@mail.ru

Spin-code: 7028-8138

**LEVINSKY VASILY NIKOLAEVICH,**

lecture of the chair «Department of Power Supply and Automation of Technological Processes»

Address: South Ural State Agrarian University, 457100, Chelyabinsk region, Troitsk, Russia, Gagarina Str., 13

E-mail: lv\_74rus@mail.ru

Spin-code: 6454-6822

**KRIVOSHEEVA ELENA IVANOVNA,**

lecture of the chair «Department of Power Supply and Automation of Technological Processes»

Address: South Ural State Agrarian University, 457100, Chelyabinsk region, Troitsk, Russia, Gagarina Str., 13

E-mail: kuvshinkalenchik@mail.ru

Spin-code: 8470-3246

*Contribution of the author:*

**Vitaly M. Popov:** research supervision, developed the theoretical framework, analyzed data.

**Valentina A. Afonkina:** managed the research project, collection and processing of materials, critical analysis of materials; formulated conclusions.

**Vasily N. Levinsky:** developed the concept, initiated the research, analysis and preparation of the initial ideas, writing the final text.

**Elena I. Krivosheeva:** preparation of the initial version of the text, reviewing the relevant literature.

*All authors have read and approved the final version of the manuscript.*

*The authors declare no conflicts of interest.*