Тип статьи: научная
УДК 631.21
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-72-81

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНФРАКРАСНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

Александр Викторович Щегольков [1]***, Наталия Викторовна Земцова*** [2]***,***
Алексей Викторович Щегольков [3]
[1,2,3] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]energynano@yandex.ru,[2]natasha_paramonova_68@mail.ru, [3]alexxx5000@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Викторович Щегольков, energynano@yandex.ru
Corresponding author: Shchegolkov Alexander, energynano@yandex.ru

Реферат. *Модернизация агропромышленного комплекса может быть основана на использовании энергоэффективных технических подходов. Одним из направлений в области энергосбережения является использование инфракрасных (ИК) нагревателей, для создания которых наиболее рационально использовать технологические приемы получения композитных материалов на основе диэлектрических матриц (эластомеров) с добавками проводящих структур с наноразмерными геометрическими параметрами (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки). Исследования показали, что при включении образцов нагревателей происходит кратковременный скачек тока, который связан с разогревом эластомера с МУНТ и формированием в структуре композита электрического поля. Кратность пускового тока для образца №1 (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) составляет 3,56 А (время установления рабочего режима 350 с), что является наибольшим значением. Наименьшая кратность пускового тока 1,65 А (время установления рабочего режима 250 с) характерна для образца №2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%). Для образца №3 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе характерно наименьшее время выхода на рабочий режим (140 с). Рабочие режимы нагревателей на переменном и постоянном токе отличаются, что связано с формированием морфологических и структурных свойств в композитах, влияющих на протекание электрического тока различного вида. Для всех образцов характерен режим, при котором ток снижается и через 140-360 с устанавливается на рабочем режиме, соответствующем тепловому балансу, при котором этот ток расходуется на создание теплового потока для подогрева растительного сырья и компенсацию тепловых потерь в окружающую среду. Установлено, что рабочий режим нагревателей на основе эластомеров, модифицированных МУНТ, характеризуется участком выхода на рабочий режим от 140 до 350 с, что превышает значение для керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$). Но рабочая температура более стабильная и не меняется во времени (при постоянных условиях теплообмена). Использование эластичных матриц позволяет формировать эффективные системы ИК нагрева для технологических процессов переработки растительного сырья.*

Ключевые слова: *электронагреватель, саморегулирование температуры, эластомер, углеродные нанотрубки, пусковой ток, режимные параметры.*

MODE PARAMETERS OF INFRARED ELECTRIC HEATERS BASED ON NANOMODIFIED ELASTOMERS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRICULTURAL COMPLEX

Alexander Shchegolkov [1]***, Natalia Zemtsova*** [2]***, Alexey Shchegolkov*** [3]
[1,2,3] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1]energynano@yandex.ru,[2]natasha_paramonova_68@mail.ru, [3]alexxx5000@mail.ru

Abstract. *Modernization of the agro-industrial complex can be based on the use of energy efficient technical approaches. One of the directions in the field of energy saving is the use of infrared (IR) heaters, for the creation of which it is most rational to use technological methods for obtaining composite materials based on dielectric matrices (elastomers) with the addition of conductive structures with nanosized geometric parameters (MCNTs - multilayer carbon nanotubes). Studies have shown that when the heater samples are turned on, a short-term current jump occurs, which is associated with heating of the elastomer with MCNT and the formation of an electric field in the composite structure. The inrush current ratio for sample No. 1 (Silagerm 8020, MCNT 3%, nickel 10%) is 3.56 A (setting time of the operating mode is 350 s), which is the highest value. The smallest inrush current ratio of 1.65 A (setting time of the operating mode 250 s) is typical for sample No. 2 (Silagerm 8030, MCNT 3%, bronze 10%). For sample No. 3 (Silagerm 8030, MCNT 3%, aluminum 10%) at alternating current, the shortest time to reach the operating mode (140 s) is typical. The operating modes of heaters on alternating and direct current are different, which is associated with the formation of morphological and structural properties in composites that affect the flow of electric current of various types. All samples are characterized by a mode in which the current decreases and after 140-360 s is set to the operating mode corresponding to the heat balance, in which this current is spent to create a heat flow to heat the plant material and compensate for heat losses to the environment. It has been established that the operating mode of heaters based on elastomers modified with MCNT is characterized by the time interval for reaching the operating mode from 140 to 350 s, which exceeds the value for ceramic heaters based on barium titanate (BaTiO3). But the operating temperature is more stable and does not change over time (under constant heat exchange conditions). The use of elastic matrices makes it possible to form effective IR heating systems for technological processes of processing plant materials.*

Keywords: *electric heater, temperature self-regulation, elastomer, carbon nanotubes, inrush current, mode parameters.*

Для цитирования: Щегольков А.В., Земцова Н.В., Щегольков А.В. Режимные параметры инфракрасных электронагревателей на основе наномодифицированных эластомеров для технологических процессов в АПК // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 72-81. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-4-72-81.

For citation: Shchegolkov A., Zemtsova N., Shchegolkov A. Mode parameters of infrared electric heaters based on nanomodified elastomers for technological processes in agricultural complex. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 72-81. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-72-81.

Благодарности: работа выполнена при поддержке управления образования и науки Тамбовской области в рамках Соглашения №2/МУ2022 о предоставлении гранта по проекту №МУ 2022-02/5 областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных научных исследований молодых ученых 2022 года».

Acknowledgments: the work was supported by the Department of Education and Science of the Tambov Region under the Grant Agreement No. 2/MU2022 for the project No. MU 2022-02/5 of the regional competition "Grants to support applied scientific research of young scientists in 2022".

Введение. Технологические процессы, которые используются в агропромышленном комплексе (АПК) могут быть существенным образом улучшены за счет использования инновационных энергоэффективных технических подходов [1]. Это касается существующих сфер переработки сельскохозяйственной продукции, а также формирования новых перспективных направлений глубокой переработки, которые улучшают рентабельность и позволяют выходить на новый уровень производительности. Наиболее востребованным направлением переработки продукции растениеводства является переработка, основанная на термической обработке. Направление термической обработки включает в себя различные виды сушки (конвективную [2], контактную и излучением [3]), причем для экстрагирования также требуется предварительная сушка [4]. Важное значение в процессе сушки растительного сырья отводится на уменьшение затрат энергии с целью повышения рентабельности переработанной продукции и оптимизации

температурного воздействия на плоды и овощи с целью сохранности биологически активных веществ в составе растительного сырья [5, 6].

Высокую востребованность имеют технологии сушки с применением электрических нагревателей, что обуславливается их универсальностью, компактностью и высокой безопасностью в сравнение с обогревателями, работающими на газу [7] или твердом топливе. При этом, стоит отметить высокий уровень экологичности, так как нет процесса горения и соотвественно выделения токсичных газообразных продуктов [8]. Наиболее оптимальным видом термической обработки растительного сырья является использование лучистого теплообмена. Этот способ термической обработки в целом ряде случаев является оптимальным с точки зрения энергетических затрат и позволяет сократить время термической обработки. Для реализации личистого теплообмена в процессе сушки используются ИК нагреватели. Следует отметить необходимость адаптации как конструктивных параметров, так и режимов работы ИК нагревателей для технологий сушки растительного сырья. Наиболее эффективным сочетанием для сушки растительного сырья является применнение технологии создания ваккума в сушильных шкафах и ИК нагревателей. Воздействие ИК излучателей на растительное сырье позволяет интенсифицировать процесс сушки во внутридиффузионном кинетическом режиме с управляемым воздействием на внутренний влагоперенос, который может быть реализован с учетом морфологической структуры растительного сырья.

В условиях вакуумной сушки с целью максимизации сохранения полезных веществ в растительном сырье следует поддерживать стабильный температурный режим без перегрева и недогрева. Это возможно реализовать с помощью эффекта саморегулирвоания температуры [9], который может быть реализован в керамике на основе $BaTiO_3$ за счет эффекта положительного температурного коэффициента сопротивления. Однако температурные режимы керамичсеких нагревателей с положительным температурным коэффициентом сопротивления [10] не являются оптимальными для сушки с сохрангением биологически активных веществ [11], и в этом отношении необходимо рассмотреть иные типы электропроводящих композитов, обеспечивающих реализацию эффекта поддержания температурного режима в диапазоне менее 60 °C [12].

Для получения эффективных ИК излучателей на основе плоских нагревателей с площадью, пропорциональной площади обогреваемой засыпки растительного сырья, наиболее рационально использовать технологические приемы получения композитных материалов на основе диэлектрических матриц (эластомеров) с добавками проводящих структур с наноразмерными геометрическими параметрами (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки). При использовании компланарных электродов такие проводящие композиты на основе эластомеров и МУНТ приобретают новые функциональные свойства, связанные с тепловыделениями под действием электрического напряжения [13]. Применение проводящих полимерных композитов позволяет полноценно реализовать всевозможные функциональные преимущества ИК нагревателей в условиях вакуумной сушки, а именно адаптацию геометрических параметров с регулируемыми мощностными и температурными режимами. Таким образом, проводящие композиты могут стать эффективной элементной базой для энергоэффективных сушильных установок для растительного сырья [14], в которых вакуум создается с помощью жидкостно-кольцевых вакуумных насосов [15].

Цель исследований – анализ режимов работы нагревателей с эффектом саморегулирования на основе наномодифицированных эластомеров с дисперсными добавками микроразмерных металлов.

Материалы и методы.

Для оценки корреляции электропроводящих свойств и состава композитов проведем оценку временной зависимости тока, что позволит установить режимы, связанные с переходным процессом, там, где есть пусковой ток и установившийся режим и при этом имеется возможность отследить динамику изменения выхода на оптимальный рабочий режим.

Для электропитания образцов электронагревателей используется ЛАТР TDGC-4KVA (Ресанта, Москва) и источник постоянного тока (программируемый) Актаком АНТ-1351. Для исследования потребляемого тока использован мультиметр UNI-T UT61E+ (UNI-T, Китай), подключаемый к ноутбуку HUAWEI MateBook D 15 (256GB) по USB интерфейсу.

Для получения МУНТ использована технология на основе СВЧ синтеза [16].

В соответствии с методикой, изложенной в работе [17], были получены образцы нагревателей. В таблице 1 представлены составы композита для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры.

Таблица 1 – Состав образцов композитов для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры

№ образца	Состав
1	Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%
2	Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%
3	Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%

В качестве полимерной матрицы использовался кремнийорганический компаунд Силагерм 8030 (8020) (ООО «ЭЛЕМЕНТ 14», Москва, Россия). Для исследования были использованы образцы с размерами 5х5х0,2 см. Напряжение электропитания образцов нагревателей 10 В.

Результаты и их обсуждение.

На рисунках 1-7 показаны кривые изменения силы тока от времени при включении нагревателей на режим нагрева. В таблицах 2-8 представлены параметры режима саморегулирования электронагревателей, при котором происходит выход на рабочий температурный режим.

Исследование образца нагревателя №1

На рисунке 1 показана зависимость силы тока от времени для образца №1(Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на переменном токе.

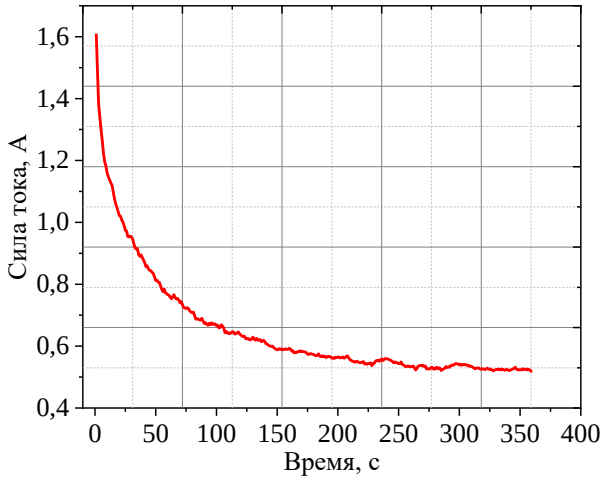

Рисунок 1 – Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на переменном токе

Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 2: пусковой ток 1,6 А, время переходного процесса 360 с, рабочий ток 0,45 А, отношение пускового тока к рабочему 3,56.

Таблица 2 – Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%)

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
1,6	360	0,45	3,56

На рисунке 2 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на постоянном токе. Значения параметров в этом случае ниже, чем при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 3: пусковой ток

0,57 А, время переходного процесса 260 с, рабочий ток 0,26 А, отношение пускового тока к рабочему 2,19.

Исследование образца нагревателя №2

На рисунке 3 показана зависимость силы тока от времени образца № 2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 4. Они отличаются от показателей для образца №1 в меньшую сторону.

На рисунке 4 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе. Параметры режима саморегулирования для данного образца представлены в таблице 5.

В отличие от образца №1 не все значения меньше при постоянном токе, чем при переменном.

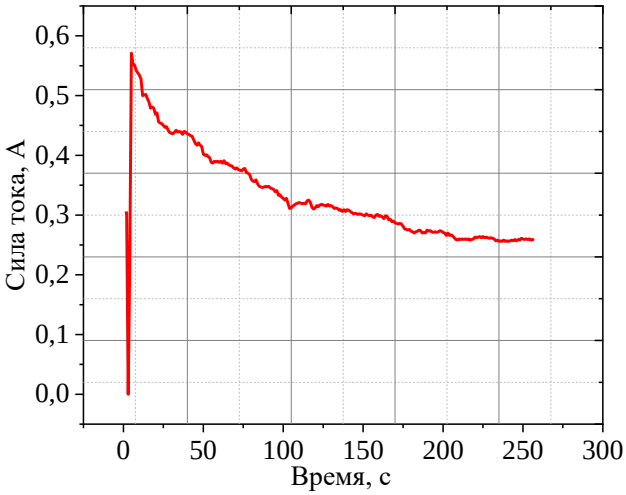

Рисунок 2 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10 %) при постоянном токе

Таблица 3 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,57	260	0,26	2,19

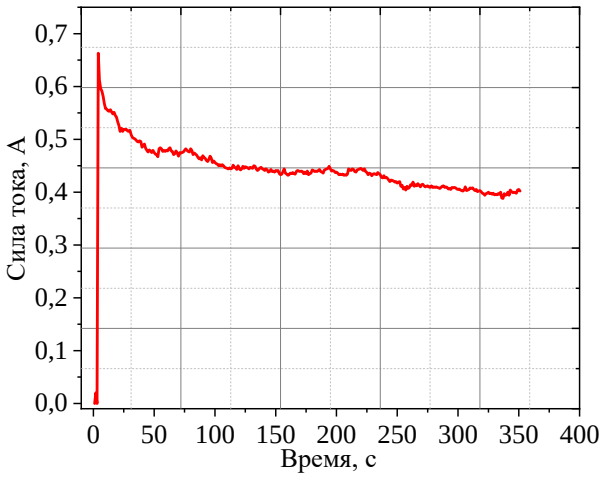

Рисунок 3 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при переменном токе

Таблица 4 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) при переменном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,66	355	0,4	1,65

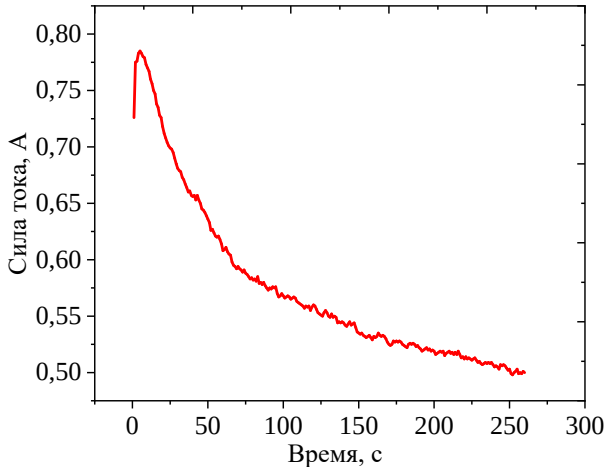

Рисунок 4 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе

Таблица 5 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,78	260	0,51	1,53

Исследование образца нагревателя №3

На рисунке 5 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе. Параметры режима саморегулирования для образца №3 представлены в таблице 6, они отличаются от параметров режима саморегулирования для образцов № 1 и № 2.

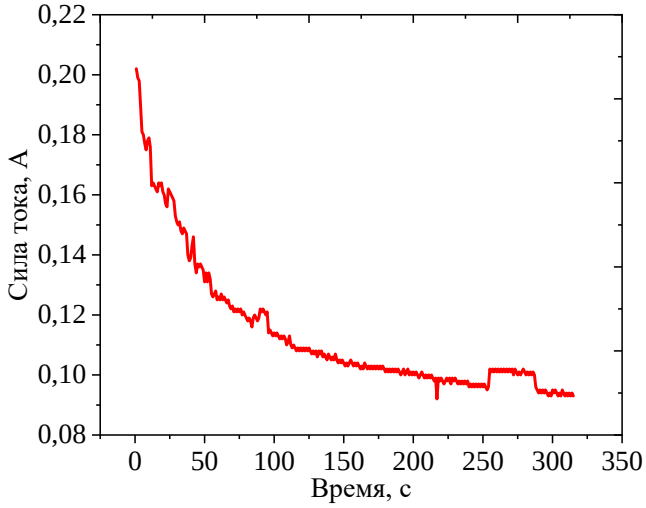

Рисунок 5 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе

Таблица 6 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,22	340	0,09	2,44

На рисунке 6 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца №3 представлены в таблице 7.

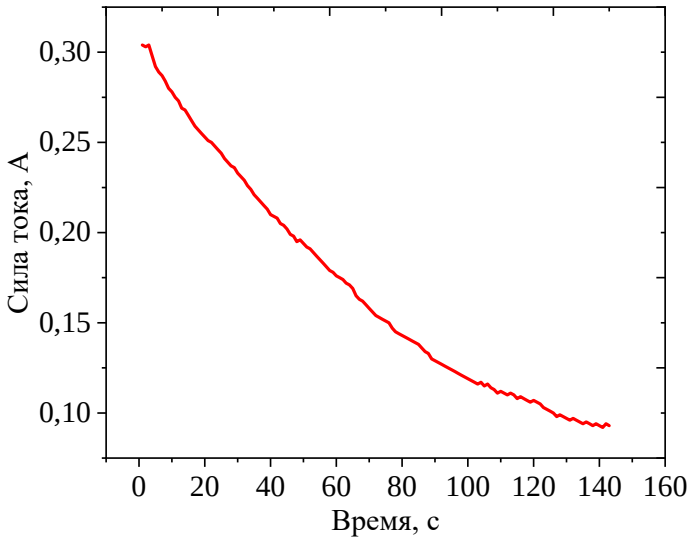

Рисунок 6 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе

Таблица 7 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,31	145	0,10	3,1

В результате исследований установлено, что при включении образца нагревателя (подаче питающего напряжения на электроды) происходит кратковременный скачек тока, который связан с разогревом эластомера с МУНТ и формированием электрического поля в структуре композита. Кратность пускового тока для образца №1 (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) составляет 3,56 А (время установления рабочего режима 350 с), что является наибольшим значением. Наименьшая кратность пускового тока 1,65 А (время установления рабочего режима 250 с) характерна для образца №2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%). Для образца №3 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе характерно наименьшее время выхода на рабочий режим (140 с). Рабочие режимы нагревателей на переменном и постоянном токе отличаются, что связано с формированием влияющих на протекание электрического тока различного вида морфологических и структурных свойств в композитах с добавками разного типа дисперсных металлических структур. Для всех образцов характерен режим, при котором ток после первоначального скачка начинает монотонно снижаться и через 140 -360 с устанавливается на значении рабочего режима. Такой режим зависит от теплового баланса, при котором этот ток расходуется на создание теплового потока для подогрева растительного сырья в режиме сушки и компенсацию тепловых потерь в окружающую среду.

Заключение.

Проведенные исследования показали, что различные типы дисперсных металлических добавок влияют на режимные параметры композитных нагревателей на основе эластомеров и МУНТ и в отличии от керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$), рабочий режим нагревателей на основе эластомеров, модифицированных МУНТ характеризуется временем выхода на рабочий режим в диапазоне от 140 до 360 с, что превышает такой же параметр для керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$) [9-10]. Однако рабочая температура для нагревателей на основе эластичных матриц более стабильная и не меняется во времени (стабильный ток) при постоянных условиях теплообмена. Использование эластичных матриц с МУНТ и дисперсными микроразмерными добавками позволяет формировать эффективные системы ИК нагрева для технологических процессов переработки растительного сырья.

Список источников

1. Eichhammer W. Industrial Energy Efficiency,Editor(s): Cutler J. Cleveland, Encyclopedia of Energy. Elsevier. 2004; 383-393. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00197-2.

2. Adak N., Heybeli N., Ertekin C. Infrared drying of strawberry. Food chemistry. 2017; 219:109-116.

3. Boudhrioua N., Bahloul N., Slimen I.B., Kechaou N. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. Industrial crops and products. 2009; 29(2-3):412-419.

4. Xu P., Zhang Z., Peng X., Yang J., Li X., Yuan T., Jia X., Liu Y., Abdullaev O., Jenis J. Study on vacuum drying kinetics and processing of the Lonicera japonica Thunb. aqueous extracts. LWT. 2022; 167:113868. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113868.

5. Alwi H., Zubairy N., Ku Hamid K.H. Drying properties of agarwood leaves in vacuum far infrared dryer: Colour changes. Materials Today: Proceedings. 2022; 63(11):S174-S177. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.02.130.

6. Pateiro M., Vargas-Ramella M., Franco D., da Cruz A.G., Zengin G., Kumar M., Dhama K., Lorenzo J.M. The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. Food Chemistry: X. 2022; 16:100465. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100465.

7. Maznoy A., Kirdyashkin A., Pichugin N., Zambalov S., Petrov D. Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy. 2020; 204:117965. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117965.

8. England G.C., McGrath T.P., Gilmer L., Seebold J.G., Lev-On M., Hunt T. Hazardous air pollutant emissions from gas-fired combustion sources: emissions and the effects of design and fuel type. Chemosphere. 2001; 42(5–7):745-764. DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00249-6.

9. Zhang D., Zhou D., Jiang S., Wang X., Gong S. Effects of porosity on the electrical characteristics of current-limiting BaTiO3-based positive-temperature-coefficient (PTC) ceramic thermistors coated with electroless nickel–phosphorous electrode. Sensors and Actuators A Physical. 2004; 112(1):94–100. DOI:10.1016/j.sna.2003.09.039.

10. Bell J.G., Graule T., Stuer M. Barium titanate-based thermistors: Past achievements, state of the art, and future perspectives featured. Applied Physics Reviews. 2021; 8:031318. DOI: 10.1063/5.0048697.

11. Morais R.M.S.C., Morais A.M.M.B., Dammak I., Bonilla J., Sobral P.J.A., Laguerre J.-C., Afonso M.J., Ramalhosa E.C.D. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. Journal of Food Quality. 2018; 3:1–29. DOI: 10.1155/2018/1739636.

12. Ali I., AlGarni T.S., Shchegolkov A., Shchegolkov A., Jang S.-H., Galunin E., Komarov F., Borovskikh P., Imanova G.T. Temperature self-regulating flat electric heaters based on MWCNTs-modified polymers. Polymer Bulletin. 2020. DOI:10.1007/s00289-020-03483-y.

13. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature. Materials. 2021; 14:4654. DOI: 10.3390/ma14164654.

14. Энергоэффективная система для глубокой переработки растительного сырья с тепловыми аккумуляторами и электронагревателями: пат. 2771723 C1 Рос. Федерация. № 2021127502 /

Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Щегольков А.В., Зорина О.А.; заявл. 20.09.2021; опубл. 11.05.2022.

15. Жидкостно-кольцевая машина: пат. 2763233 C1 Рос. Федерация. № 2021111225 / Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Щегольков А.В., Зорин А.С., Иванова И.В., Махмуд М.А.С.; заявл. 20.04.2021; опубл. 28.12.2021.

16. Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V. Synthesis of Carbon Nanotubes Using Microwave Radiation: Technology, Properties, and Structure. Russ J Gen Chem. 2022; 92:1168–1172. DOI: 10.1134/S1070363222060329.

17. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Земцова Н.В. Исследование тепловыделения в наномодифицированных эластомерах при растяжении и кручении под действием электрического напряжения. Фронтирные материалы и технологии. 2022; (2):121-132. (На рус. языке) https://doi.org/10.18323/2782-4039-2022-2-121-132.

References

1. Eichhammer W. Industrial Energy Efficiency,Editor(s): Cutler J. Cleveland, Encyclopedia of Energy. Elsevier. 2004; 383-393. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00197-2.

2. Adak N., Heybeli N., Ertekin C. Infrared drying of strawberry. Food chemistry. 2017; 219:109-116.

3. Boudhrioua N., Bahloul N., Slimen I.B., Kechaou N. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. Industrial crops and products. 2009; 29(2-3):412-419.

4. Xu P., Zhang Z., Peng X., Yang J., Li X., Yuan T., Jia X., Liu Y., Abdullaev O., Jenis J. Study on vacuum drying kinetics and processing of the Lonicera japonica Thunb. aqueous extracts. LWT. 2022; 167:113868. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113868.

5. Alwi H., Zubairy N., Ku Hamid K.H. Drying properties of agarwood leaves in vacuum far infrared dryer: Colour changes. Materials Today: Proceedings. 2022; 63(11):S174-S177. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.02.130.

6. Pateiro M., Vargas-Ramella M., Franco D., da Cruz A.G., Zengin G., Kumar M., Dhama K., Lorenzo J.M. The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. Food Chemistry: X. 2022; 16:100465. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100465.

7. Maznoy A., Kirdyashkin A., Pichugin N., Zambalov S., Petrov D. Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy. 2020; 204:117965. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117965.

8. England G.C., McGrath T.P., Gilmer L., Seebold J.G., Lev-On M., Hunt T. Hazardous air pollutant emissions from gas-fired combustion sources: emissions and the effects of design and fuel type. Chemosphere. 2001; 42(5–7):745-764. DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00249-6.

9. Zhang D., Zhou D., Jiang S., Wang X., Gong S. Effects of porosity on the electrical characteristics of current-limiting BaTiO3-based positive-temperature-coefficient (PTC) ceramic thermistors coated with electroless nickel–phosphorous electrode. Sensors and ActuatorsA Physical. 2004; 112(1): 94–100. DOI:10.1016/j.sna.2003.09.039.

10. Bell J.G., Graule T., Stuer M. Barium titanate-based thermistors: Past achievements, state of the art, and future perspectives featured. Applied Physics Reviews. 2021; 8:031318. DOI: 10.1063/5.0048697.

11. Morais R.M.S.C., Morais A.M.M.B., Dammak I., Bonilla J., Sobral P.J.A., Laguerre J.-C., Afonso M.J., Ramalhosa E.C.D. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. Journal of Food Quality. 2018; 3:1–29. DOI: 10.1155/2018/1739636.

12. Ali I., AlGarni T.S., Shchegolkov A., Shchegolkov A., Jang S.-H., Galunin E., Komarov F., Borovskikh P., Imanova G.T. Temperature self-regulating flat electric heaters based on MWCNTs-modified polymers. Polymer Bulletin. 2020. DOI:10.1007/s00289-020-03483-y.

13. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature. Materials. 2021; 14:4654. DOI: 10.3390/ma14164654.

14. Energy efficient system for deep processing of vegetable raw materials with thermal accumulators and electric heaters: patent. 2771723 C1 Ros. Federation. No. 2021127502 / Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Zorina O.A.; applied. 20.09.2021; published 11.05.2022.

15. Liquid ring machine: patent. 2763233 C1 Ros. Federation. No. 2021111225 / Rodionov Y.V., Nikitin D.V., Shchegolkov A.V., Zorin A.S., Ivanova I.V., Mahmud M.A.S.; applied. 20.04.2021; published 28.12.2021.

16. Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V. Synthesis of Carbon Nanotubes Using Microwave Radiation: Technology, Properties, and Structure. Russ J Gen Chem. 2022; 92:1168–1172. DOI: 10.1134/S1070363222060329.

17. Shchegolkov A.V., Zemtsova N.V. Investigation of heat release in nanomodified elastomers during stretching and torsion under the action of electric voltage. Front. Mater. Technol. 2022; 2:121–132.

Информация об авторах

А. В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент; Н. В. Земцова – аспирант; А. В. Щегольков – кандидат технических наук, инженер.

Information about the authors

A. Shchegolkov – Ph.D., Associate Professor, N. Zemtsova – student, A. Shchegolkov – Ph.D., engineer

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023