Sinelnikov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Strygin Sergei – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: sew1982@gmail.com

Belyaev Artem – Candidate of Historical Sciences, General Director of LLC “Belaya Dacha Pharming”, e-mail: Artem.Belyaev@lwbdr.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2020

УДК66.047

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-43-50

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

¹Родионов Юрий Викторович

¹Щегольков Александр Викторович

¹Никитин Дмитрий Вячеславович

²Зорин Александр Сергеевич

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

²ООО «З-лайн»

Реферат. Использование тепловых аккумуляторов для улучшения энергоэффективности процесса сушки может являться технически реализуемым мероприятием для широкого класса сушильных установок. Исследована возможность применения углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве одной из составляющих бинарного наполнителя, используемого в качестве теплового аккумулятора для сушильных установок. Разработана методика изготовления теплоаккумулирующих материалов для двухступенчатой комбинированной вакуумно-импульсной сушки. Разработана технология получения теплоаккумулирующего материала на основе наномодифицированного композита (80 %), помещенного в жидкий носитель – синтетическое моторное масло CASTROL OW30 (20%). В процессе получения наномодифицированного композита использовали специально подобранные катализаторы Mo-Al₂O₃-MgO и Ni-MgO, процессы механической активации с никель-цинковым ферритом, ультразвуковую обработку, гранулирование. Были получены лабораторные образцы. Предложены технические решения, направленные на повышение энергоэффективности конструкций двухступенчатых комбинированных вакуумно-импульсных сушилок растительных материалов, позволяющих существенно сократить энергетические потери. Совмещенный конвективный и кондуктивный подводы тепла, реализованные с помощью теплоаккумулятора 2, дополнительно уменьшают энергопотребление на 32 %. Рассмотрены варианты сушки растительных материалов различной производительностью и формы частиц. Разработана технологическая схема двух типов сушки растительных материалов с тепловыми аккумуляторами, позволяющая сократить потери электроэнергии на 20% и 25 %, соответственно.

Ключевые слова: двухступенчатая комбинированная вакуумно-импульсная сушка, тепловой аккумулятор, углеродные нанотрубки (УНТ), растительный материал, влагосодержание.

APPLICATION OF NANOMODIFIED HEAT-ACCUMULATING MATERIALS IN PLANT DRYING SYSTEMS

¹Rodionov Yuri

¹Shchegolkov Alexander

¹Nikitin Dmitry

²Zorin Alexander

¹FSBEI HE “Tambov state technical university”

²LLC “Z-Line”

Abstract. *The use of heat accumulators to improve the energy efficiency of the drying process can be a technically feasible measure for a wide class of drying plants. The possibility of using carbon nanotubes (CNTs) as one of the constituents of a binary filler used as a heat accumulator for drying plants has been investigated. A method for manufacturing heat storage materials for a two-stage combined vacuum-pulse drying was developed. A technology has been developed for the production of heat-accumulating material based on a nanomodified composite (80%) placed in a liquid carrier - CASTROL OW30 synthetic motor oil (20%). Specially selected catalysts Mo-Al₂O₃-MgO and Ni-MgO, processes of mechanical activation with nickel-zinc ferrite, ultrasonic treatment, granulation were used in the process of obtaining a nanomodified composite. Laboratory samples were obtained. Technical solutions are proposed aimed at increasing the energy efficiency of the designs of two-stage combined vacuum-pulse dryers of plant materials, which can significantly reduce energy losses. Combined convective and conductive heat supplies released using heat accumulator 2 further reduce power consumption by 32%. Options for drying plant materials of various capacities and particle shapes are considered. The technological scheme of two types of drying of plant materials with heat accumulators has been developed, which allows to reduce electricity losses by 20% and 25%, respectively.*

Keywords: *two-stage combined vacuum-pulse drying, heat accumulator, carbon nanotubes (CNT), plant material, moisture content.*

Введение. Устойчивое развитие новых технологий связано с появлением новых материалов. Особенно это касается «умных» материалов, обладающих функциональными свойствами и способными адаптироваться под различные условия окружающей среды. Особое значение в иерархии создания «умных» материалов могут занять теплоаккумулирующие материалы. Теплоаккумулирующие материалы (ТМ) могут найти широкое применение в технологиях АПК (агропромышленного комплекса).

В качестве направлений применения ТМ можно выделить технологии переработки сельскохозяйственной продукции с использованием процессов сушки и экстракции. Способность к поглощению тепловой энергии в случае ТМ является следствием накопления теплоты в результате фазового перехода. Как правило, это фазовые переходы в диапазоне от 40 до 120 °С. В последнее время теплоаккумулирующие материалы активно используют, как базовые элементы в различных сферах промышленного применения [1-5]. Практическое применение тепловых аккумуляторов представлено в работах [6-8]. Как отмечено в работах [9-14], наиболее эффективным аппаратным оборудованием для сушки растительных материалов является установка двухступенчатой комбинированной вакуумно-импульсной сушки (ДКомВИС). Основным недостатком такой сушильной установки является существенные потери тепла, что снижает её эффективность.

Цель исследования – обоснование применения УНТ в качестве одной из составляющих бинарного наполнителя, используемого в качестве теплового аккумулятора для сушильных установок, позволяющих сократить потери тепла процесса сушки растительных материалов.

Задачи исследования – разработать методику изготовления теплоаккумулирующих материалов для ДКомВИС. Предложить технические решения по применению тепловых аккумуляторов в сушильных установках.

Материалы и методы. С целью получения модификатора парафинов – углеродных нанотрубок был использован катализатор Mo-Al₂O₃-MgO и Ni-MgO. После этого МУНТ (многослойные углеродные нанотрубки) механически активировали с никель-цинковым ферритом 400ННi_{1-x}Zn_xFe₂O₄ с предварительным измельчением до 2-4 мкм в шаровой мельнице в течение 60 минут. В последующем полученные углеродные нанотрубки использовались для модификации парафина П-2 (ОАО Лукойл, Россия). Модификация парафинов, полученных МУНТ с необходимой морфологией, обеспечивает взаимодействия на молекулярном уровне и создает стабильный материал с характеристиками, которые необходимы для образования ТМ. Модификация происходит во время фазового перехода парафина, когда он переходит в жидкое состояние при температуре, при которой достигается порог ее термического разложения, что позволяет реакционной способности УНТ с парафиновыми молекулами инициировать этот процесс. Применение ультразвукового излучения (мощностью 2 кВт) позволило создать кавитацию в объеме жидкого парафина (при температуре 90-95 °С). Чтобы обеспечить необходимую ориентацию структур, интегрированных в УНТ, расплавленный парафин

подвергался воздействию магнитного поля во время охлаждения. После этого материал был помещен в экструдер с помощью фторопластового винта. Мощность приводного двигателя экструдера составляет 2 кВт со скоростью 100 мин⁻¹. Кроме того, полученный материал гранулировали в прессовальном грануляторе с получением гранул до размера в диапазоне от 0,5 до 1 мм. После этой операции гранулы помещали в жидкость-носитель. Жидкость-носитель представляла собой синтетическое моторное масло CASTROL 0W30. Моторное масло и магнитный наполнитель взвешивали на весах Unit G-200 с точностью ± 5 мг. После этого наполнитель вводили в моторное масло и тщательно перемешивали. Полученную густую суспензию разбавляли жидкостью-носителем и механически перемешивали до получения коллоидного раствора. В итоге жидкая фаза – моторное масло составляла 20%, а твердая фаза – наномодифицированный композит – 80%. На рисунке 1 представлен внешний вид теплового аккумулятора с фазопереходным материалом.

Рисунок 1 – Внешний вид теплового аккумулятора

Результаты и их обсуждение. Техническая реализация сушки с тепловыми аккумуляторами организуется в следующих типах сушильных установок. В первом типе сушильной установки с тепловыми аккумуляторами (рисунок 2) использована технология сушки, когда теплоноситель (горячий воздух) подается в вводы цилиндрической камеры 1. Высушиваемый материал в виде стружки, правильных кубиков или шаров определенной (одинаковой) массы подается через штуцер питателя 2, захватывается потоком теплоносителя и попадает в вставку конического профиля 5, где образует взвешенный закрученный слой материала, в этот момент времени запасается энергия в фазопереходном материале, расположенном в емкости 7 (происходит плавление теплоаккумулирующего материала - парафина с температурой плавления от 40 до 90°C в зависимости от типа высушиваемого материала), которая соединена трубами 14 с емкостью 13. После того как растительный материал теряет поверхностную влагу, т.е. примерно 50% от всей массы, он пересыпается и скапливается в барабане 3 до объема, равного объему загрузки второй камеры сушки 9, которая в этот момент прогревается с помощью тепловых аккумуляторов, в которые поступил расплавленный парафин из тепловых аккумуляторов в цилиндрической камере 1. После того как требуемый объем накопился, открывается герметичный затвор 8, и растительный материал пересыпается во вторую ступень камеры сушки 9, где начинается вторая стадия сушки, а именно продувка и вакуумирование через устройство соединения с вакуумной системой 12. После того как продукт окончательно высушится, его ручным способом ссыпают

путем открытия крышки 11 и отправляют на фасовку. Парафин остывает в нижней емкости 13, через люки 15 вынимается и снова закладывается через люки 16 в емкость 7, расположенную в цилиндроконической камере 1 (количество парафина в емкости 7 позволяет проводить сушку растительных материалов в течение одной рабочей смены). В процессе работы сушильной установки необходимо обеспечить открытие пор растительного сырья. Для этого камера второй ступени через выходной штуцер вакуумной системы 12, с помощью трубопровода 19 и автоматического клапана 17 соединена с ресивером 18 (ресивер обеспечивает резкую смену давления в течение 0,01...0,001 с). Снизу камера второй ступени через трехходовой клапан 21 и трубопровод 20 соединена с двухступенчатым жидкостно-кольцевым вакуумным насосом 22 и одноступенчатым жидкостно-кольцевым вакуумным насосом с автоматически регулируемым нагнетательным окном 23. Также ресивер трубопроводом 25 соединен с регулируемым вентилем 24 (который работает в режиме вакуумирования и включения для создания импульсов в вакуумном шкафу), сверху ресивера установлен датчик разряжения 26 (с помощью датчика контролируются режимы изменения давления или разряжения).

Рисунок 2 – Энергоэффективная конвективно-вакуум импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами

В то время, как продукт пересыпался во вторую ступень сушки 9, в первой процесс начинается заново. Режимы сушки первой ступени и второй подбираются таким образом, чтобы время пребывания в них было равным, в первой ступени варьируется температура и скорость теплоносителя ($T_t=60-100^{\circ}\text{C}$, $V=8-15$ м/с), после чего теплоноситель отводится во внешнюю среду, во второй ступени температура и скорость теплоносителя ($T_t=55-60^{\circ}\text{C}$, $V=2-3$ м/с) и контролируется температура материала $T_m \leq 55-60^{\circ}\text{C}$, то есть температура денатурации, потери витаминов и питательных веществ. Данная установка сокращает потери электроэнергии процесса на 20%.

Следующий вариант сушки (рисунок 3), который позволяет повысить производительность за счет применения конвейера и частичной автоматизации на базе персонального компьютера с программным обеспечением, получаемым на основе оптимизации температурных режимов.

- 1- питатель; 2 – теплоаккумуляторы; 3 - приводной барабан; 4 - натяжной барабан;
 5 - перфорированная лента; 6 - газовые горелки; 7 - направляющие потока воздуха;
 8 - опорные ролики; 9 - промежуточная емкость; 10 - емкости для создания импульсов;
 11 - вакуумный сушильный шкаф; 12 - лотки; 13 - электродвигатель;
 14 - жидкостнокольцевой вакуумный насос; 15 - калорифер; 16 - воздухоподогреватель;
 17 - электродвигатель привода ленточного конвейера; 18 - упругая муфта;
 19 - цилиндро-червячный редуктор

Рисунок 3 – Технологическая схема комбинированной вакуум-импульсной сушки растительного сырья с использованием технологии теплоаккумуляции

Установка двухступенчатой сушки по схеме (рисунок 3) организуется следующим образом: через питатель 1, подготовленное определенным образом растительное сырье подается на перфорированную ленту 5 конвейерной сушилки. Натяжение лента организована двумя барабанами, приводным 3 и натяжным 4. Лента перемещается поступательно равномерно, скорость ленты определяется окружной скоростью вращения приводного барабана. Вращение данного барабана организовано электродвигателем 17, через упругую муфту 18 и ременную передачу 19. Частота вращения электродвигателем переменного тока регулируется с помощью частотного преобразователя тока в зависимости растительного сырья.

В шкафу происходит совмещенный конвективный и кондуктивный подводы тепла. Это можно реализовать теплоаккумулятором 2, дополнительно уменьшая энергопотребление на 32 %, однако при этом, уменьшается полезный объем загрузки шкафа, компенсируется общей производительностью.

Конвективный способ сушки под атмосферным давлением эффективен для удаления поверхностной влаги, для удаления «внутренней влаги» процесс интенсифицируется. Наиболее

эффективным способом интенсификации является использование вакуума, так как это позволяет удалять влагу при низкой температуре, что дает возможность максимально сохранить в конечном продукте биологически активные вещества, входящие в состав исходного сырья. Дополнительная интенсификация сушки направлена на внедрение комбинированного способа, при котором, осуществляется включение инфракрасного излучения в обогреватель конвейерной сушилки, позволяющей осуществлять кондуктивный нагрев лотков. Скорость сушки зависит также от формы высушиваемого продукта. Нарезка на кусочки, особенно одинакового размера, увеличивает поверхность и равномерность испарения. В процессе сушки важен контроль за готовностью продукта. При горячей сушке неконтролируемый влагоотбор ведет к образованию некачественно высушенного продукта (брака). Использование вакуума и, как следствие, низких температур в процессе сушки, позволяет получить высококачественное высушенное сырье с максимальным сохранением биологически активных веществ.

Тепловые аккумуляторы могут быть изготовлены различных типоразмеров, а их установка осуществляется именно в те места оборудования, где требуется регулировать температурные режимы. Данная установка позволяет сократить потери электроэнергии процесса сушки на 25%.

Выводы.

1. Разработана методика изготовления теплоаккумулирующего материала.
2. Проведены работы по изготовлению лабораторных образцов теплоаккумулирующих материалов.
3. Разработана технологическая схема двух типов сушки растительных материалов с тепловыми аккумуляторами, позволяющая сократить потери электроэнергии на 20% и 25 % соответственно.

Список литературы

1. P. Goli, S. Legedza, A. Dhar, R. Salgado, J. Renteria, and A. A. Balandin, «Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries» *Journal of Power Sources*, vol. 248, pp. 37–43, 2014.
2. K. Kumaresan, G. Sikha, and R.E. White, «Thermal model for a Li-ion cell» *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 155, no. 2, pp. A164–A171, 2008.
3. S.K. Mohammadian, Y. He, and Y. Zhang, «Internal cooling of a lithium-ion battery using electrolyte as coolant through microchannels embedded inside the electrodes» *Journal of Power Sources*, vol. 293, pp. 458–466, 2015.
4. Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage // *Applied sciences*. 2014. V. 4. P. 525-547.
5. Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of graphene and exfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase change material // *Thermochimica acta*. 2017. V. 647. P. 15–21.
6. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Ягубов В.С., Зорин А.С., Кобелев А.В. Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодифицированного парафина, контролируемые магнитным полем // *Известия Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2018. – № 80 (4). – С. 344 – 348.
7. Щегольков А.В., Щегольков А.В. Исследование термической устойчивости наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов // *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: матер. IX Междунар. науч.-инновационной молодежной конф.* – Тамбов. – 2017. – С. 189-191.
8. Щегольков А.В., Щегольков А.В. Наномодифицированные материалы для тепловых аккумуляторов на основе аддитивной технологии // *Технологии и материалы для экстремальных условий (лазерные технологии, источники тока и материалы): матер. докладов участников 12-ой Всероссийской научной конф (Туапсе, 11-15 сентября 2017 г.)*. – Туапсе. – 2017. – С. 279 – 284.
9. Иванова Э.С., Скоморохова А.И., Кольцов В.А., Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В. Исследование процесса сушки топинамбура // *Наука в центральной России*. – 2019. – №2 (38). – С. 77 – 85.
10. Скоморохова А.И., Завьялов А.А., Родионов Ю.В., Зорин А.С. Разработка режима вакуумной сушки перца сорта "Ласточка" // *Инновационная техника и технология*. – 2019. – №3 (20). – С. 23 – 28.
11. Щегольков А.В., Зорин А.С., Родионов Ю.В., Гриднев А.Б. Повышение энергоэффективности двухступенчатой КВИС растительного сырья // *Сушка, хранение и*

переработка продукции растениеводства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. сем., посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 22-23 мая 2018 г.). – Москва.– 2018. – С. 181 – 185.

12. Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В., Протасов Д.Н., Иванова Е.П., Платин П.С. Исследование и выбор режимных параметров процесса сушки хмеле-тыквенной закваски // Наука в центральной России. – 2016. №3 (21). – С. 15 – 24.

13. Скрипников Ю.Г., Митрохин М.А., Родионов Ю.В., Зорин А.С., Ларионова Е.П. Инновационные технологии сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – №3 (41). – С. 371 – 376.

14. Воробьев В.Б., Климов А.М., Родионов Ю.В., Преображенский В.А., Скворцов Д.В. Энергоэффективность двухступенчатой сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – №3 (34). – С. 361 – 365.

References

1. P. Goli, S. Legedza, A. Dhar, R. Salgado, J.Renteria, and A. A. Balandin, «Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries» Journal of Power Sources, vol. 248, pp. 37–43, 2014.

2. K. Kumaresan, G. Sikha, and R.E. White, «Thermal model for a Li-ion cell» Journal of the Electrochemical Society, vol. 155, no. 2, pp. A164–A171, 2008.

3. S.K. Mohammadian, Y. He, and Y. Zhang, «Internal cooling of a lithium-ion battery using electrolyte as coolant through microchannels embedded inside the electrodes» Journal of Power Sources, vol. 293, pp. 458–466, 2015.

4. Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage // Applied sciences. 2014. V. 4. P. 525-547.

5. Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of grapheneandexfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase changematerial // Thermochimicaacta. 2017. V. 647. P. 15–21.

6. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V., Yagubov V.S., Zorin A.S., Kobelev A.V. Teploakkumuliruyushhie materialy na osnove nanomodifirovannogo parafina, kontroliruemye magnitnym polem // Izvestiya Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologij. – 2018. – № 80 (4). – S. 344 – 348.

7. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V. Issledovanie termicheskoy ustojchivosti nanomodifirovannykh teploakkumuliruyushhix materialov // Sovremennye tverdogfaznye tekhnologii: teoriya, praktika i innovacionnyj menedzhment: mater. IX Mezhdunar. nauch.-innovacionnoj molodyozhnoj konf. – Tambov. – 2017. – S. 189-191.

8. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V. Nanomodifirovannye materialy dlya teplovykh akkumulyatorov na osnove additivnoj tekhnologii // Tekhnologii i materialy dlya e'kstremal'nykh uslovij (lazernye tekhnologii, istochniki toka i materialy): mater. dokladov uchastnikov 12-oj Vserossijskoj nauchnoj konf (Tuapse, 11-15 sentyabrya 2017 g.). – Tuapse. – 2017. – S. 279 – 284.

9. Ivanova E.S., Skomoroxova A.I., Kol'cov V.A., Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V. Issledovanie processa sushki topinambura // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – №2 (38). – S. 77 – 85.

10. Skomoroxova A.I., Zav'yalov A.A., Rodionov Yu.V., Zorin A.S. Razrabotka rezhima vakuumnoj sushki perca sorta "Lastochka" // Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya. – 2019. – №3 (20). – S. 23 – 28.

11. Shhegol'kov A.V., Zorin A.S., Rodionov Yu.V., Gridnev A.B. Povyshenie e'nergoe'ffektivnosti dvuxstupenchatoj KVIS rastitel'nogo syr'ya // Sushka, xranenie i pererabotka produkciy rastenievodstva: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-texn. sem., posvyashhyonnogo 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva (Moskva, 22-23 maya 2018 g.). – Moskva.– 2018. – S. 181 – 185.

12. Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V., Protasov D.N., Ivanova E.P., Platicin P.S. Issledovanie i vybor rezhimnykh parametrov processa sushki xmele-tykvennoj zakvaski // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. №3 (21). – S. 15 – 24.

13. Skripnikov Yu.G., Mitroxin M.A., Rodionov Yu.V., Zorin A.S., Larionova E.P. Innovacionnye tekhnologii sushki rastitel'nogo syr'ya // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2012. – №3 (41). – S. 371 – 376.

14. Vorob'ev V.B., Klimov A.M., Rodionov Yu.V., Preobrazhenskij V.A., Skvorcov D.V. E'nergoe'ffektivnost' dvuxstupenchatoj sushki rastitel'nogo syr'ya // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2011. – №3 (34). – S. 361 – 365.

Сведения об авторах**Принадлежность к организации**

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: energynano@yandex.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Зорин Александр Сергеевич – Генеральный директор ООО «З-лайн», Россия, г. Рассказово, e-mail: zorin619@bk.ru.

Author credentials**Affiliations**

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Shchegolkov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: energynano@yandex.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Zorin Alexander – General Director of LLC “Z-Line”, Russia, Rasskazovo, e-mail: zorin619@bk.ru.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «Методология создания тепловых аккумуляторов на основе наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов» № 18-43-680012.

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2020

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-50-59

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОРАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА
ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ**

¹Ли Роман Иннокентьевич

¹Псарев Дмитрий Николаевич

¹Быконя Андрей Николаевич

¹Пчельников Андрей Витальевич

¹Мельников Антон Юрьевич

¹ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Реферат. Восстановление изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях техники полимерными материалами позволяет повысить ресурс последних, сократить затраты на ремонт, повысить надежность техники. Анализ литературы показал, что в настоящее время нет информации об инфракрасной обработке полимерных покрытий, нанесенных в ходе восстановления корпусных деталей техники. Для расчета технологических параметров инфракрасного нагрева корпусных деталей типа II (подшипниковые щиты автомобильных и тракторных генераторов, электродвигателей) разработана модель инфракрасного нагрева корпусных деталей, позволяющая с учетом конструктивных параметров инфракрасной установки, расстояния от излучателя до детали, рассчитать время и температуру нагрева корпусных деталей.