

УДК 620.178.162

УДК 621.893

В.С. Бычковский, Н.Г. Филиппенко, Д.В. Баканин, А.С. Курайтис

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО ОБРАЗЦА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗОГРЕВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ТЕЛА И ВЛИЯНИЯ КОНВЕКЦИИ

Аннотация. В данной работе выполнен конечно-разностный расчет объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла в программных комплексах SOLIDWORKS 2017, Simulate и MSC Patran 2014, Sinda с целью определения влияния диаметров и количества отверстий для термопар на показания температуры внутри образца. Выполненный сравнительный анализ полученных результатов позволил сделать выводы по обоснованию значимых зависимостей температуры высокочастотного нагрева полимерного образца от количества и диаметров технологических отверстий.

Ключевые слова: полимеры, высокочастотный нагрев, конечно-разностная математическая модель, SOLIDWORKS 2017, Simulate, MSC Patran 2014, Sinda.

V.S. Bychkovsky, N.G. Filippenko, D.V. Bakanin, A.S. Kuraitis

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

INVESTIGATION OF CHANGING THE TEMPERATURE OF A POLYMER SAMPLE AT HIGH-FREQUENCY HEAT DEPENDENCE ON THE VARIATION OF BODY VOLUME AND INFLUENCE OF CONVECTION

Annotation. In this paper, a finite-difference calculation of the bulk heating of a polymer sample from internal heat sources in the software complexes SOLIDWORKS 2017, Simulate and MSC Patran 2014, Sinda is performed to determine the effect of the diameters and the number of holes for the thermocouples on the temperature readings inside the sample. The performed comparative analysis of the obtained results made it possible to draw conclusions on the substantiation of the significant dependences of the temperature of the high-frequency heating of the polymer sample on the number and diameters of the technological holes.

Keywords: polymers, high-frequency heating, finite-difference mathematical model, SOLIDWORKS 2017, Simulate, MSC Patran 2014, Sinda.

Цель и задачи:

Целью настоящей работы является: Исследование изменения температуры полимерного образца при высокочастотном разогреве в зависимости от изменения объема тела при влиянии конвекции.

Для достижения указанной цели необходимо решение следующих задач:

- выполнить конечно-разностный расчет объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate;
- произвести конечно-разностный расчет объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda.
- сделать сравнительный анализ полученных результатов.

Изменение объема будет производиться за счет изменения диаметра, выполняемого вдоль или поперек отверстия необходимого для установки внутрь хромоникелевой термопары для контроля температуры полимерного образца по всему объему (см. рисунок 1). Высокочастотный разогрев производится на промышленной установке УЗП 2500, за счет приложения высокопотенциальной плиты сверху и низкопотенциальной плиты снизу

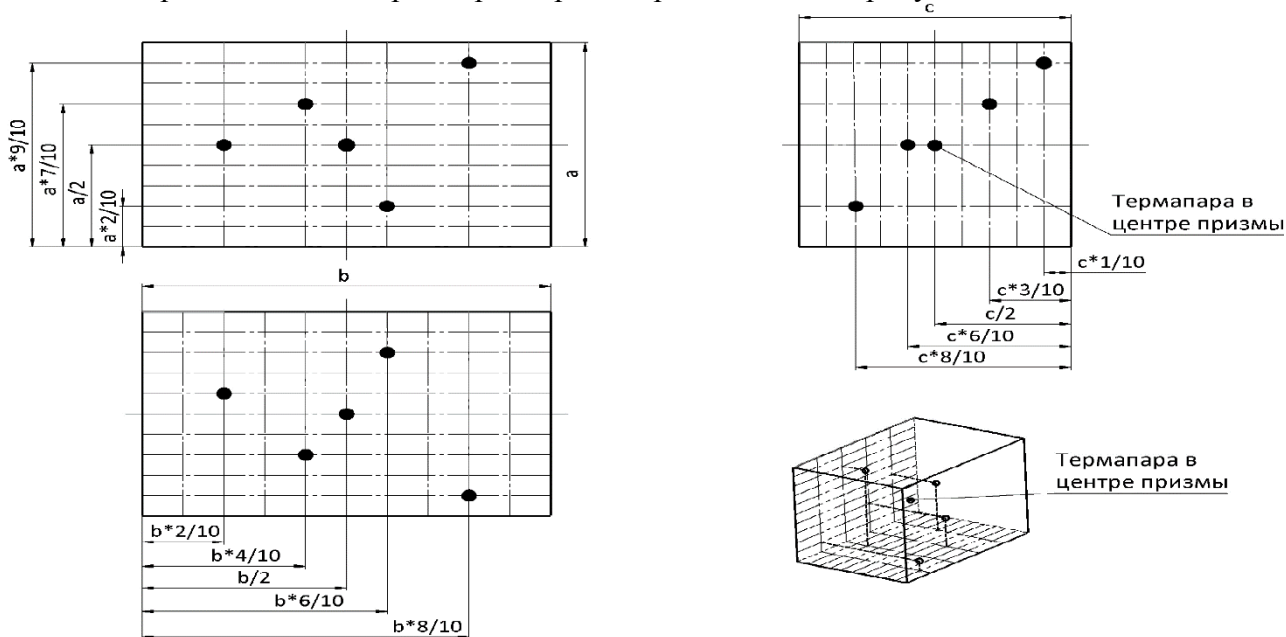
полимерного образца под определенным усилием. Необходимые исходные данные для исследования представлены ниже [1, 2, 3].

Исходные данные:

Образец из материала ПА6 ТУ 224-001-78534599-2006; габаритные размеры, 50x50x4 мм; плотность, 1120 кг/м³; удельная теплоемкость, 1601 Дж/кг·К; теплопроводность, 0,23 Вт/(м·К).

Параметры объемного разогрева от внутренних источников тепла: коэффициент конвекции, 10 Вт/м²К; время вч воздействия, 10 сек; температура окружающей среды, 20 град.; мощность, 400 Вт [4].

Схема расположения термодатчиков в образце представлена на рисунке 1.



a, b, c – размеры образца

Рисунок 1 – Схема расположения термодатчиков в образце

Для данного исследования достаточно выполнение одного отверстия глубиной: вдоль, $H=40$ мм; поперек, $H=3$ мм. Диаметры отверстия представлены в таблицах 1, 2, 3.

Конечно-разностный расчет объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate

Для исследования процесса высокочастотного разогрева полимерного образца в программном комплексе построена конечно-разностная математическая модель объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла. Исходные данные материала и параметры процесса представлены выше. Сетка разбиения объемного тела: треугольник. Размер, 1,077 мм; соотношение 1,5. Скриншот моделирования процесса представлен на рисунке 2 [5].

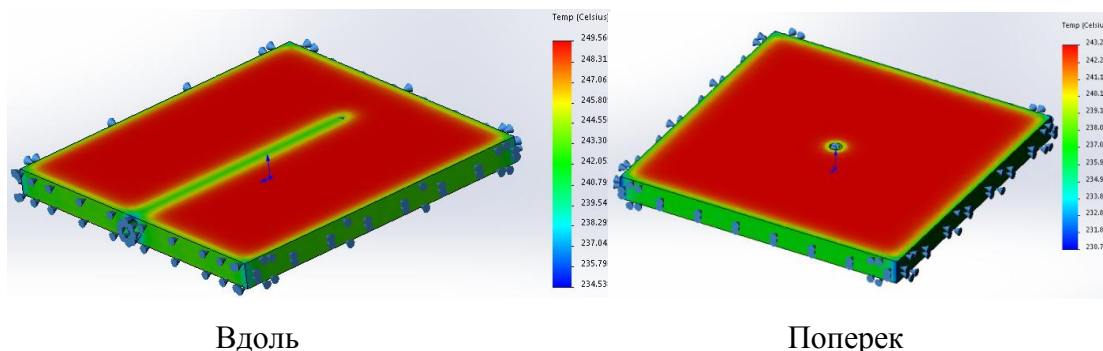


Рисунок 2 – Скриншот расчета в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate

Результаты расчетов в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate, приведенных в таблице 1, также построены графические данные (рисунок 3) зависимости температур от размера отверстия в полимерном образце [6, 7, 8].

Таблица 1 – Расчет в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate

Диаметр отв., мм	Температура (отв. вдоль), град	Температура (отв. поперек), град
0	243,075	243,075
0,25	243,115	243,078
0,5	243,244	243,088
1,0	243,769	243,127
2,0	245,901	243,285
3,0	249,547	243,549

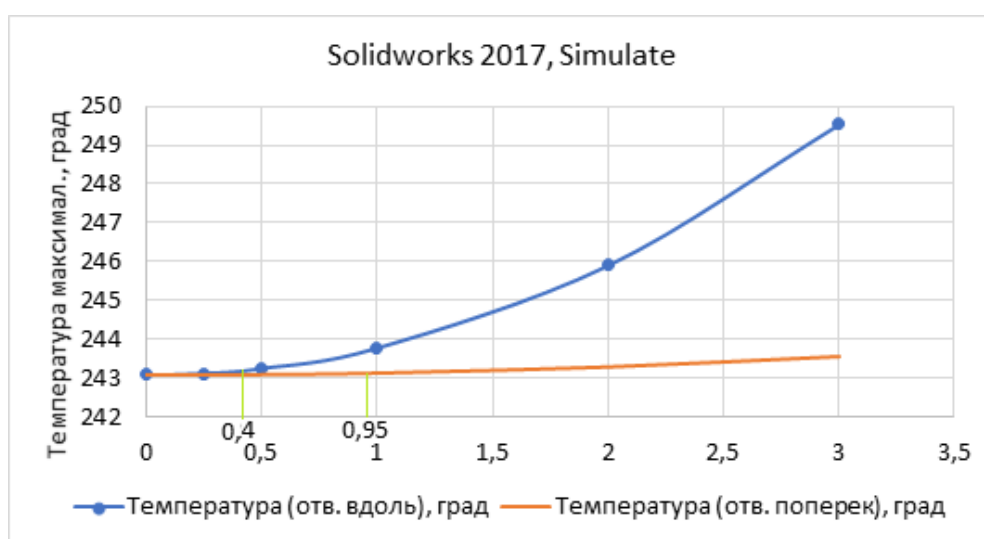


Рисунок 3 – Результаты расчета в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate

Из полученным графических данных видно, что по мере увеличения размера отверстия растет температура полимерного образ. Это можно поясните тем, что несмотря на воздействия конвекции на стенки образца и внутри отверстия (отмечены стрелками, рисунок 2) оказывает незначительное влияние на разогрев по сравнению с тем, как изменяется объем тела. Связи с этим можно сказать, что по мере уменьшения объема образца (за счет увеличения диаметра отверстия) увеличивается температура разогрева полимерного образца [9, 10, 11].

Также по графическим данным можно определить допустимые пределы диаметра отверстия в полимерном образце, при котором размер не будет оказывать значительного влияния на разогрев, а именно полученные значения соответствуют диаметрам для отверстия вдоль это 0,4 мм, для отверстия поперек это 0,95 мм.

Конечно-разностный расчет объемного разогрева полимерного образца от внутренних источников тепла в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda

Следующим этапом исследования было проведения аналогичных расчетов с такими же исходными данными в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda. Сетка разбиения объемного тела методом конечно-разностным методом имеет следующие параметры: Elem

shape, Tet; Mesher, TetMesh; Topology, Tet10. Скриншот моделирование процесса представлен на рисунке 4 [12, 13].

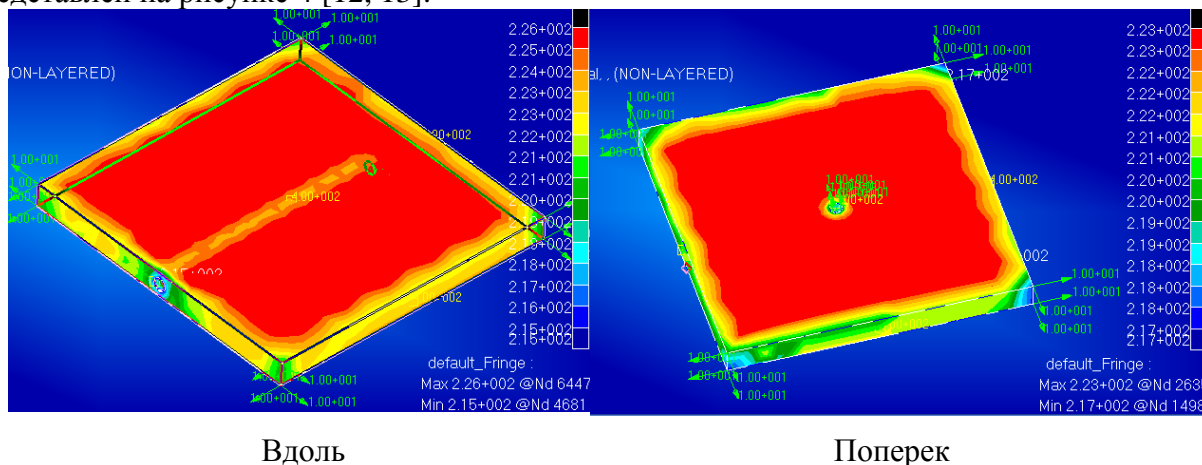


Рисунок 4 – Скриншот расчета в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda

Результаты расчетов в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda, приведенных в таблице 2, построены графические данные зависимости температур от размера отверстия в полимерном образце представлены на рисунке 5.

Таблица 2 – Расчет в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda

Диаметр отв., мм	Температура (отв. вдоль), град	Температура (отв. поперек), град
0	223,128	223,128
0,25	223,14	223,122
0,5	223,215	223,117
1	223,587	223,136
2	225,678	223,296
3	228,926	223,527

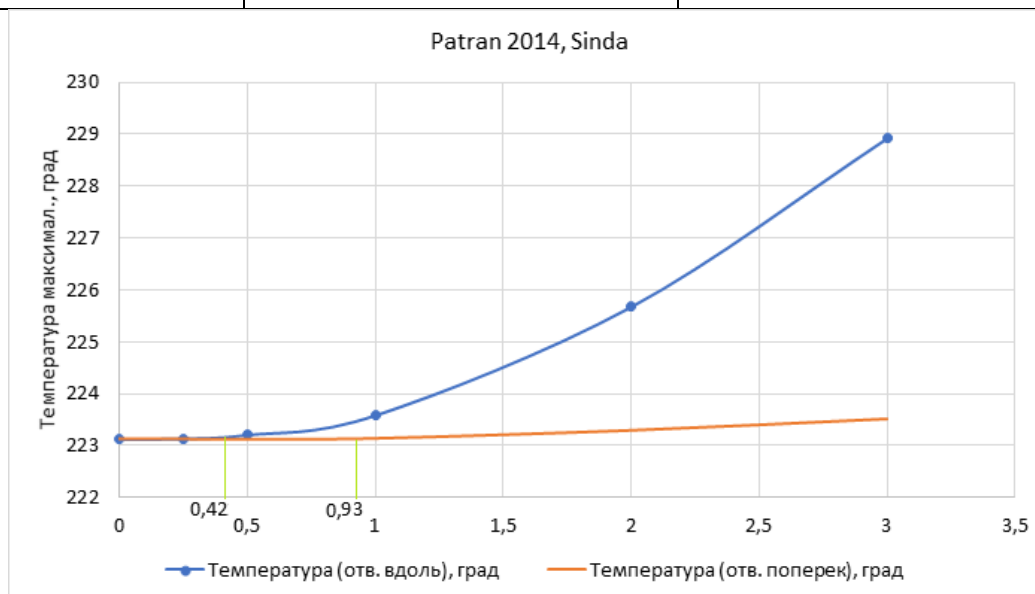


Рисунок 5 – Результаты расчета в программном комплексе MSC Patran 2014, Sinda

Из полученных графических данных видно, что аналогично результатам расчета в программном комплексе SOLIDWORKS 2017, Simulate растет температура полимерного образца по мере увеличения размера отверстия. Это также поясняется изменением объема тела, по мере его уменьшения увеличивается температура полимерного образца при высокочастотном разогреве.

Далее определены допустимые пределы диаметра отверстия в полимерном образце, при котором размер не будет оказывать значительного влияния на разогрев, а именно полученные значения соответствуют диаметрам для отверстия вдоль это 0,42 мм, для отверстия поперек это 0,93 мм [14, 15].

Сравнение результатов расчетов в программных комплексах SOLIDWORKS 2017, Simulate и MSC Patran 2014, Sinda

В заключение можно сказать, наибольшее влияние на температуру разогрева полимерного образца при высокочастотном разогреве оказывает изменение объема тела в зависимости от размера отверстия. Влияние конвекции на открытые участки тела особенно на суммарную площадь отверстия имеет незначительное воздействие. Также помимо всего прочего выявлены допустимые пределы размера отверстия выполняемого в теле полимерного образца, которые также не оказывают значительного воздействия на температуру разогрева при высокочастотной обработке. Итоговые значения предельного максимально диаметра отверстия будут иметь значения: для отверстия вдоль 0,4 мм; для отверстия поперек 0,9 мм. Данные результатов представлены в таблице 3 и на рисунке 6.

Таблица 3 – Сравнения результатов расчетов в программных комплексах SOLIDWORKS 2017, Simulate и MSC Patran 2014, Sinda

Диаметр отв., мм	Вдоль		Поперек	
	Температура 1 (Solidworks), град	Температура 2 (Patran), град	Температура 3 (Solidworks), град	Температура 4 (Patran), град
0	243,075	223,128	243,08	223,13
0,25	243,115	223,14	243,08	223,12
0,5	243,244	223,215	243,09	223,12
1	243,769	223,587	243,13	223,14
2	245,901	225,678	243,29	223,3
3	249,547	228,926	243,55	223,53

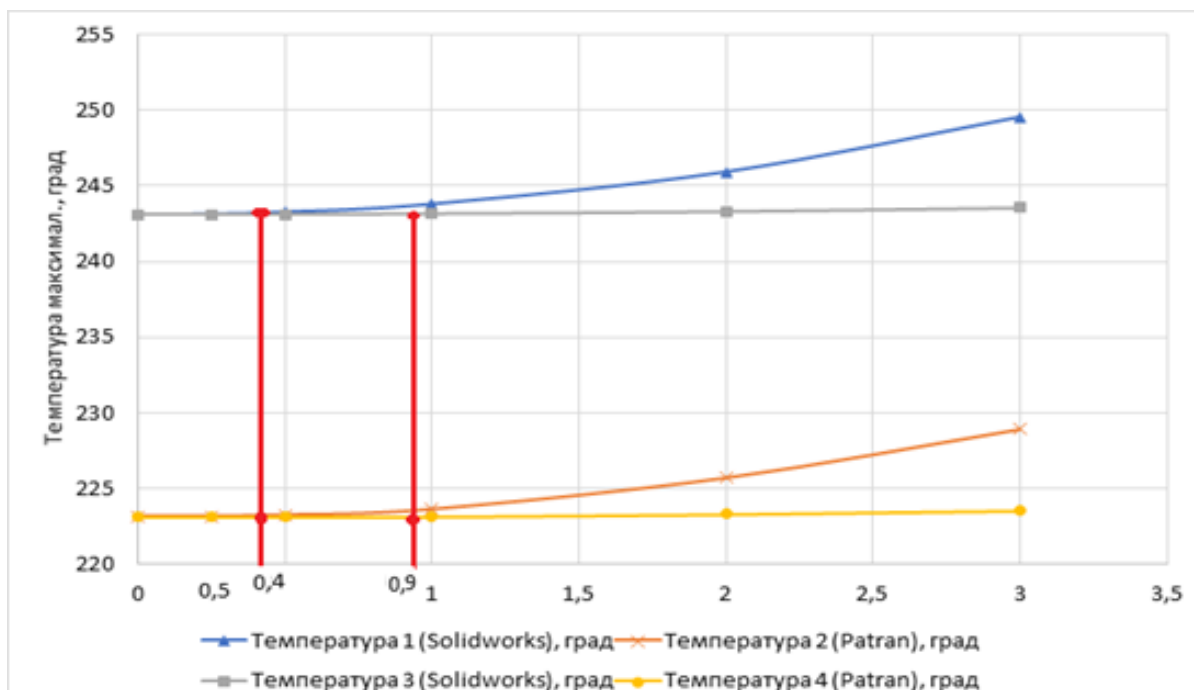


Рисунок 6 – Результат сравнения результатов расчетов в программных комплексах SOLIDWORKS 2017, Simulate и MSC Patran 2014, Sinda

Итог сравнения результатов расчетов в программных комплексах SOLIDWORKS 2017, Simulate и MSC Patran 2014, Sinda показал, что несмотря на незначительную разницу между максимальными температурами рассчитанными в каждой программе, (рисунок 3, 5, 6), выявлено, что динамика изменения температуры тела полимерного образца от изменения объема тела (диаметра отверстия) и влияние конвекции полностью совпадает для данных программных комплексах.

Достижение поставленной цели в следствие выполнения поставленных задач настоящего исследования можно считать успешным.

Биографический список

1. Орлов, М. Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учебное пособие / М. Е. Орлов; Ульяновский гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 204 с.
2. Теплообмен в производственных процессах АПК. А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, С.И. Сеница, И.А. Цубанов, А.Б. Рябцев. Методические указания к практическим занятиям. белорусский государственный аграрный технический университет. Минск, 2006. – 81 с.
3. Палымский, И. Б. Численное моделирование сложных режимов конвекции Рэлея-Бенара. Механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Новосибирск, 2011. – 206 с.
4. Основы технической теплофизики Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Монография. М.: "Издательство Машиностроение-1", 2004. 172 с.
5. Российская государственная библиотека [ГОСТ 10589–87 Полиамид 610 литьевой. Технические условия] / Центр информ. технологий РГБ; ред. Власенко Т. В.; Web–мастер Козлова Н. В. – Электрон. дан. – М.: Рос. гос. б–ка, 2007 – Режим доступа: <http://www.rsl.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
6. Калинин Э.Л., Соковцева М. Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий. Справочное издание. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
7. Установка для сварки пластмасс / Завод «Промышленная электроника Габрово», // Паспорт УЗП 2500А, 412. 921.055, 1987. – 60 с.

8. Кудряшов Ю. Б., Перов Ю. Ф., Рубин А. Б. Радиационная биофизика радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения // Учебник для ВУЗов. – М.: Физматлит, 2008. – 184 с.

9. Чернышов, В. Н. Микроволновые методы и системы контроля теплофизических характеристик материалов и изделий: монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 124 с.

10. Способ измерения максимальной температуры объекта при нагревании его облучением электронным пучком. пат. РФ 2168156: МПК⁷ G21C17/112. Суржиков А.П., Притулов А.М., Гынгазов С.А., Лысенко Е.Н., Шабардин Р.С.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет; заявл. 15.11.1999; опубл. 27.05.2002.– 4 с.: ил.

11. Автоматизация измерения температуры полимерного материала при высокочастотном электротермическом нагреве / Д.В. Буторин, Н.Г. Филиппенко, М.С. Попов, А.В. Лившиц, В.Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. № 1(53). – С. 96-103 0,5/0,25

12. Устройство диагностики полиамидных сепараторов методом высокочастотного излучения Современные технологии. Системный анализ. Моделирование (Иркутский государственный университет путей сообщения). – 2014. – №4 (44). – С. 204 – 209 Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В.

13. Автоматизированная система управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. (Иркутский государственный университет путей сообщения) – 2012. – Вып. 4 (32). С. 50 – 55. Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В.

14. Математическая модель процесса высокочастотной обработки полимерных материалов (печатная // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование (Иркутский государственный университет путей сообщения). – 2012. – Вып. 1 (33). С. 76 – 79 Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В.

15. Определение физико-механических параметров полимерных материалов при высокочастотном диэлектрическом нагреве в электротермических установках // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование (Иркутский государственный университет путей сообщения). – 2013. – Вып. 2 (38). – С.152–157 Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В.

REFERENCES

1. Orlov, ME Theoretical foundations of heat engineering. Heat and mass transfer: a textbook / ME Orlov; The Ulyanovsk state. tech. un-t. - Ulyanovsk: UlSTU, 2013. - 204 with.

2. Heat transfer in production processes of agroindustrial complex. A.G. Tsubanov, A.L. Sinyakov, S.I. Sinitza, I.A. Tsubanov, A.B. Ryabtsev. Methodical instructions to practical studies. Belarusian state Agricultural Technical University. Minsk, 2006. - 81 p.

3. Palymsky, I. B. Numerical simulation of the complex Rayleigh-Benard convection modes. Mechanics of liquid, gas and plasma. Thesis for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Novosibirsk, 2011. - 206 p.

4. Fundamentals of Technical Thermophysics Fokin VM, Boykov GP, Vidin Yu.V. Monograph. M.: "Publishing Machine-Building-1", 2004. 172 p.

5. Russian State Library [GOST 10589-87 Polyamide 610 injection molding. Specifications] / Center Inform. technologies of the RSL; Ed. Vlasenko T. V.; Web-master N. Kozlova - Electron. Dan. - Moscow: Ros. state. b-ka, 2007 - Access mode: [http // www.rsl.ru](http://www.rsl.ru), free. - Ver. from the screen. - Yaz. rus., Eng.

6. Kalinchev EL, Sokovtseva MB The choice of plastics for the manufacture and operation of products. Reference edition. - L.: Chemistry, 1987. - 416 p.
7. Installation for welding of plastics / Plant Industrial Electronics Gabrovo, // Passport UZP 2500A, 412. 921.055, 1987. - 60 p.
8. Kudryashov Yu. B., Perov Yu. F., Rubin AB Radiation Biophysics Radio Frequency and Microwave Electromagnetic Radiations // Textbook for High Schools. - Moscow: Fizmatlit, 2008. - 184 p.
9. Chernyshov, VN Microwave methods and control systems for thermophysical characteristics of materials and products: monograph / VN Chernyshov, TI Chernyshova. - Tambov: Publishing house of FGBOU HPE "TSTU", 2015. - 124 p.
10. A method for measuring the maximum temperature of an object when it is heated by irradiation with an electron beam. Pat. RF 2168156: IPC7 G21C17 / 112. Surzhikov AP, Pritulov AM, Gyngazov SA, Lysenko EN, Shabardin RS; applicant and patent holder Tomsk Polytechnic University; claimed. 15.11.1999; publ. 27.05.2002. - 4 s.: ill.
11. Automation of temperature measurement of polymeric material at high-frequency electrothermal heating. Butorin, N.G. Filippenko, M.S. Popov, A.V. Livshits, V.E. Gozbenko // Modern technologies. System analysis. Modeling. - Irkutsk: IrGUPS, 2017. № 1 (53). - P. 96-103
12. Device for diagnostics of polyamide separators by high-frequency radiation method printed Modern technologies. System analysis. Modeling (Irkutsk State Transport University). - 2014. - No.4 (44). - P. 204-209 Filippenko N.G., Larchenko AG, Livshits AV
13. Automated control system for the process of high-frequency processing of polymeric materials (a scientific article in the publications included in the list of approved VAK RF) printed Modern technologies. System analysis. Modeling. (Irkutsk State University of Communications) - 2012. - Vyp. 4 (32). Pp. 50 - 55. Filippenko N.G., Livshits AV
14. Mathematical model of the process of high-frequency processing of polymeric materials (a scientific article in the editions of the list of approved VAK RF) printed Modern technologies. System analysis. Modeling (Irkutsk State Transport University). - 2012. - Issue. 1 (33). P. 76 - 79 Filippenko N.G., Livshits AV
15. Determination of physicomachanical parameters of polymeric materials in high-frequency dielectric heating in electrothermal plants printed Modern technologies. System analysis. Modeling (Irkutsk State Transport University). - 2013. - Issue. 2 (38). - P.152-157.-. Filippenko N.G., Livshits AV

Информация об авторах

Бычковский Владимир Сергеевич - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru

Филиппенко Николай Григорьевич - к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pentagon@mail.ru

Баканин Денис Викторович - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: denis.bakan@mail.ru

Курайтис Алексей Сергеевич - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru

Authors

Vladimir Sergeevich Bychkovsky – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru

Nikolay Grigoryevich Filippenko – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pentagon@mail.ru

Denis Viktorovich Bakanin – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: denis.bakan@mail.ru

Aleksei Sergeevich Kuraitis – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru

Для цитирования

Бычковский В.С. Исследование изменения температуры полимерного образца при высокочастотном разогреве в зависимости от изменения объема тела и влияния конвекции [Электронный ресурс] / В.С. Бычковский, Н.Г. Филиппенко, Д.В. Баканин, А.С. Курайтис // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2018. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 13.09.2018).

For citation

Bychkovsky V.S. Investigation of the temperature change of a polymer sample during high-frequency heating, depending on changes in body volume and the effect of convection [Electronic resource] / V.S. Bychkovsky, N.G. Filippenko, D.V. Bakanin, A.S. Kuraitis // Young science of Siberia: electron. sci. journal. - 2018. - №1. - Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>, free. - Ver. from the screen. - Yaz. rus., Eng. (date of circulation: September 13, 2013)