



УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО ИрГУПС

Трифимов Ю.А.

« 24 » июня 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»

Диссертация на тему «Повышение износостойкости полиамидных деталей за счет технологического наполнения их поверхностного слоя маслосодержащей жидкостью» выполнена Бычковским Владимиром Сергеевичем на кафедре «Автоматизация производственных процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Бычковский В.С. в 2015 году окончил ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» по направлению подготовки 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с присвоением квалификации бакалавра.

В 2017 году окончил с отличием ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с присвоением квалификации магистра.

В период подготовки диссертации соискатель Бычковский Владимир Сергеевич:

– с 2017 по 2021 годы обучался в аспирантуре при ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, направленность программы «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)», отрасль науки – технические;

– с 2020 г. работает на кафедре «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» в должности старшего преподавателя;

– в период с 20.05.2024 по 10.06.2024 был прикреплен для сдачи кандидатских экзаменов к ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по научной специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Научный руководитель – Филиппенко Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

На расширенном заседании кафедры «Автоматизация производственных процессов» присутствовало 13 человек:

1. Лившиц Александр Валерьевич — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов»;
2. Филиппенко Николай Григорьевич — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
3. Александров Андрей Алексеевич — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
4. Карпов Александр Владимирович — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
5. Ларченко Анастасия Геннадьевна — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
6. Круглов Сергей Петрович — д. т. н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
7. Ковыршин Сергей Владимирович — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
8. Антошкин Станислав Борисович — к. т. н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
9. Мухопад Александр Юрьевич — д. т. н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»;
10. Цвик Лев Беркович — д.т.н., профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»;
11. Маломыжев Олег Львович — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство»;
12. Мельниченко Олег Валерьевич — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Электроподвижной состав»;
13. Руш Елена Анатольевна — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

2. Диссертация представляет собой самостоятельную научно-квалифицированную работу на актуальную тему по научной специальности 2.5.6. Технология машиностроения. Работа не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Актуальность темы работы. На сегодняшний день существует широкая номенклатура полиамидных изделий, используемых в машиностроении, эксплуатируемых в тяжелых условиях: сухого старта, обедненной или отсутствующей смазки, а также повышенной запыленности и загрязненности. К вышеуказанным деталям предъявляются повышенные требования по износостойкости после их механической обработки.

Решение проблемы технологического обеспечения повышения износостойкости механически обрабатываемых изделий из полиамидных материалов, используемых в машиностроении, является актуальной задачей.

Цель работы: повышение износостойкости полиамидных деталей, работающих в тяжелых условиях, на основе использования технологии маслonaполнения поверхностного слоя детали как финишной операции механической обработки.

Основные научные результаты

1. Новый способ повышения износостойкости полиамидных деталей, заключающийся в маслonaполнении их поверхностного слоя модифицированной жидкостью пониженной вязкости, позволяющий повысить антифрикционные свойства поверхностного слоя готовых полиамидных деталей в рамках их допустимого износа.

2. Математическая модель процесса маслonaполнения изделий из полиамида марки ПА6, основанная на системе уравнений неразрывности и законе Дарси, отличающаяся использованием температурного градиента, позволяющая определять режимы и условия обработки.

3. Решение задачи оптимизации технологического процесса маслonaполнения полиамидных деталей, позволяющая определять режимы и условия обработки, обеспечивающие минимальную скорость износа полиамидной детали. Получены результаты решения задачи оптимизации для вязкости технологической жидкости и температуры полиамидной детали.

4. Новый технологический алгоритм процесса маслonaполнения полиамидной детали, позволяющий определять оптимальные режимы и условия обработки с целью обеспечения повышения износостойкости детали из ПА6 за минимальное основное время обработки.

Личное участие автора состоит в решении сформулированных задач диссертационного исследования, сформулированных основных положений научной новизны и практической значимости результатов исследования: разработка нового способа повышения износостойкости полиамидных деталей, заключающегося в маслonaполнении их поверхностного слоя модифицированной жидкостью пониженной вязкости; разработка математической модели процесса маслonaполнения изделий из полиамида марки ПА6, основанная на системе уравнений неразрывности и законе Дарси; решение задачи оптимизации технологического процесса маслonaполнения полиамидных деталей, позволяющая определять режимы и условия обработки, обеспечивающие минимальную скорость износа полиамидной детали.

Подготовка основных выводов и формирование положений научной новизны, которые выносятся на защиту, принадлежат лично автору.

Достоверность полученных научных результатов обоснована согласованностью результатов экспериментальных и теоретических исследований, корректным использованием положений технологии машиностроения, электродинамики, термодинамики, физики фильтрации пористых тел, основ физической химии, использованием апробированных методов численного анализа, математической статистики и методов аппроксимирования.

Научная новизна диссертационной работы включает следующие пункты:

1. Предложен новый способ повышения износостойкости полиамидных деталей за счет маслonaполнения их поверхностного слоя.

2. При разработке математической модели маслonaполнения полиамидных деталей впервые использован новый подход к модификации модели плоскопараллельной фильтрации, характеризующийся заменой градиента давления градиентом температуры предварительно нагретой полиамидной детали на основе гидравлического подобия.

3. Разработан новый температурно-динамический способ определения скорости пропитки на основе послойного контроля динамики изменения температуры в процессе маслonaполнения деталей из полиамидного материала марки ПА6, обеспечивающий определение режимов маслonaполнения.

4. Получены ранее неизвестные зависимости скорости пропитки, скорости абразивного износа и модуля упругости второго рода от вязкости технологической жидкости и температуры детали из полиамида марки ПА6.

Теоретическая значимость: на основании полученных результатов в ходе выполнения теоретических исследований установлены основные закономерности процесса маслonaполнения деталей из полиамида ПА6, в том числе влияние предварительного нагрева детали и вязкости наполнителя на интенсивное испарение гексана из смеси, скорость пропитки, скорость износа и модуль упругости маслonaполненных деталей; влияние глубины маслonaполнения на коэффициент проницаемости и температуры омасленного слоя.

Практическая значимость работы. Разработан новый технологический процесс, основанный на использовании пористой структуры полиамидов и применении специальной технологической жидкости пониженной вязкости и

предварительного нагрева, позволяющий повысить износостойкость деталей из полиамида марки ПА6 за счет маслонаполнения их поверхностного слоя. Разработан способ определения глубины наполнения по динамике изменения температуры изделий из полиамидов.

Разработаны методики расчета: коэффициента проницаемости полиамида на заданной глубине пропитки на основе экспериментальных данных о температурном градиенте охлаждения полиамидной детали; состава технологической жидкости на основе использования различных смазочных масел; режимов и условий технологического процесса маслонаполнения деталей из различных полиамидных материалов. Для проведения экспериментальных исследований и реализации технологического процесса маслонаполнения разработано оборудование. Выполнена оптимизация технологического процесса маслонаполнения, направленная на минимизацию скорости износа полиамидной детали, на основе которой найдены эффективные режимы маслонаполнения, обеспечивающие значительное повышение износостойкости при заданной величине износа.

Реализация результатов работы выполнена:

- в лесообрабатывающей компании «АВИЛЕС» для повышения износостойкости готовых полиамидных втулок подшипника скольжения шарнирных соединений манипуляторов Palfinger Epsilon C70 L22, Palfinger Epsilon M100 L80. Годовой экономический эффект от внедрения технологии маслонаполнения полиамидных втулок составил 321 539 руб.;

- в ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» в учебном процессе дисциплин: «Современное материаловедение и термическая обработка», «Технологии обработки полимеров и композитов», «Процессы механической и физико-технической обработки».

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: Десятой всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь» (г. Иркутск), 2024; Международной научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (г. Москва, 2022); Международной научно-практической конференции «Знания, инновации, технологии» (г. Москва, 2019); Международной научно-практической конференции «Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники» (г. Уфа, 2018); VI Международном научно-практическом симпозиуме «Инновации и устойчивость современной железной дороги» (г. Пекин, 2019).

Материалы диссертации представлены в работах, опубликованных соискателем

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Бычковский В.С.** Технологический процесс исследования маслонаполнения деталей из полиамидных материалов // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 472-481. (0,56)

2. **Бычковский В.С.** Математическое моделирование технологического процесса пропитки полиамидных деталей маслом // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – Т. 60, № 4. – С. 32-37. (0,31)

3. **Бычковский В.С.** Условия и режимы обработки технологического процесса маслonaполнения полимерных деталей // Научные технологии в машиностроении. - 2023. – Т. 149, № 11. С. 39-48. (0,56)

В изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и SCOPUS:

4. Bakanin D., **Bychkovsky V.**, Filippenko N., Butorin D., Kuraitis A. Development and automation of the device for determination of thermophysical properties of polymers and composites // Advances in Intelligent Systems and Computing 2020. Т. 982. С 731–740. (0,63/0,14)

5. Gramakov D., Larchenko A., Filippenko N., Livshits A., Bakanin D., **Bychkovskiy V.**, Butorin D. Assessment of quality of products from polymer materials for machine-building purposes // Journal of physics: conference series 2020. International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies, 2020. – IOP Publishing Ltd. – P. 012044. (0,63/0,14)

6. Butorin D.V., Filippenko N.G., Bakanin D.V., **Bychkovsky V.S.**, Larchenko A.G., Livshits A.V. Mathematical modeling of electrothermal processes using the example of high-frequency welding of a batch of symmetric polymer workpieces // Journal of physics: conference series 2020. International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies, 2020. – IOP Publishing Ltd. – С. 107– 122. (0,94/0,16)

7. **Bychkovsky V.**, Bakanin D., Filippenko N., Butorin D., Kuraitis A., Larchenko A. Contact method of volume control of temperature of a polymer sample at high-frequency heating. // Journal of physics: conference series 2020. International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies, August 2020. – IOP Publishing Ltd. – С. 416– 424. (0,5/0,1)

8. Butorin D.V., **Bychkovsky V.S.**, Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapol'tsev S.K. Investigations of mechanical, physical and technical processes in oil-filling of products made of polymeric and composite materials // VI International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway: conference proceedings, Irkutsk, 25–28 сентября 2018 года. – Irkutsk: China Railway Publishing House, 2018. – P. 447-451. (0,25/0,1)

9. Chumbadze T.T., Filippenko N.G., Farzaliev E.F., Livshits A.V., **Bychkovsky V.S.** Research aspects of modeling and automated process control photopolymerization // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 сентября – 03 2021 года Vol. Volume 2094: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 52071. (0,44/0,1)

10. Filippenko N.G., **Bychkovsky V.S.**, Bakanin D.V., Livshits A.V., Chumbadze T.T. Automated control of the production process of antifriction polymer materials // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 сентября – 03.2021 года Vol. Volume 2094: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 52072. (0,5/0,15)

11. Filippenko N., Chumbadze T., **Bychkovsky V.**, Butorin D. Computer-aided study of the process of impregnation of elastomeric materials with liquid hydrocarbons //

Proceedings II International Scientific Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-II-2021). Conference Proceedings. Krasnoyarsk, 2022. С. 60015. (0,94/0,24)

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

12. Программный модуль обеспечения автоматизированного проведения экспериментов по определению теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663940 / Баканин Д. В., **Бычковский В. С.**, Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В., и др. // Правообладатель: ФГБОУ ВО ИрГУПС. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.11.2018 г.

13. Программный модуль управления автоматизированной системой научных исследований при изучении электрофизических параметров полимеров и композитов Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665505 / Баканин Д. В., **Бычковский В. С.**, Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В., и др. // Правообладатель: ФГБОУ ВО ИрГУПС. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25.11.2019 г.

14. Способ высокочастотной обработки конструктивно-сложных изделий из полимерных материалов / Филиппенко Н. Г., **Бычковский В. С.**, Лившиц А.В., Каргапольцев С.К., Баканин Д. В., и др. // Правообладатель: ФГБОУ ВО ИрГУПС. Дата государственной регистрации в Реестре изобретения 25.03.2020 г. Патент на изобретение № 2717804, 25.03.2020. Заявка № 2019117685 от 05.06.2019.

15. Автоматизированная система исследования полимерных и композиционных материалов / Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Буторин Д.В., Каргапольцев С.К., Фарзалиев Э.Ф.О., **Бычковский В.С.**, Грамаков Д.С., Баканин Д.В., Курайтис А.С. Патент на изобретение RU 2731272 С1, 01.09.2020. Заявка № 2019145244 от 25.12.2019.

16. Программный модуль обеспечения автоматизированного процесса исследования вакуумного наполнения углеводородами эластомерных композитных материалов. Программа для ЭВМ № 2021668392: заявл. 08.11.2021: опубл. 15.11.2021 / Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, Т. Т. Чумбадзе, **В. С. Бычковский**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

17. Программный модуль обеспечения автоматизированного процесса научного исследования процесса агрегатных превращений и деструкции полимерных материалов. Программа для ЭВМ № 2021668394: № 2021667811: заявл. 08.11.2021: опубл. 15.11.2021 / Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, Д. В. Баканин, **В. С. Бычковский**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660267 Российская Федерация. Программный модуль автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля пропитки полимерных

материалов Veg.1.2: № 2023619348: заявл. 11.05.2023: опубл. 18.05.2023 / Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, **В. С. Бычковский**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611775 Российская Федерация. Программный модуль автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля уровня антифрикционной жидкости при пропитке полимерных материалов: № 2024610394: заявл. 10.01.2024: опубл. 24.01.2024 / Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, **В. С. Бычковский**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

В других изданиях:

20. Bakanin D. V., Filatova S. N., **Bychkovsky V. S.** [и др.] Use of high frequency heating in sandwich panels manufacturing with silicon-containing production wastes insulant // ISMR 2018-Innovation and sustainability of modern railway – Пекин: Китайская Издательская «Железнодорожный Дом». – 2018. - Материалы 6-го Международного симпозиума. – С. 383–386. (0,25/0,1)

21. **Bychkovsky V.S.**, Butorin D.V., Bakanin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V. Volume temperature control at automated high-frequency processing of polymer and composite materials // Siberian Journal of Science and Technology. – 2020. – Vol. 21, No. 2. – P. 155-162. (0,44/0,1)

22. **Бычковский В.С.**, Филиппенко Н.Г., Баканин Д.В., Курайтис А.С. Исследование изменения температуры полимерного образца при высокочастотном разогреве в зависимости от изменения объема тела и влияния конвекции // Молодая наука Сибири. - Иркутск: ИрГУПС. – 2018. – №1(1). – С. 89– 97. (0,5/0,1)

23. Баканин Д. В., Филиппенко Н.Г., **Бычковский, В. С.**, Ларченко А. Г. Технология импульсной высокочастотной обработки полимерных материалов, автоматизация процесса // Молодая наука Сибири. – 2019. – № 4(6). – С. 24-30. (0,44/0,11)

24. Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В., Каргапольцев С. К., Буторин Д. В., Попов С. И., **Бычковский В. С.**, Баканин Д. В. Высокочастотная электротермия полимеров и композитов: технологические процессы и автоматизированное управление ими– Монография. Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2019. – 272 с. (17/2)

25. Филиппенко Н.Г., Баканин Д.В., **Бычковский В.С.**, Курайтис А.С. Алгоритм заполнения смазкой кассетных подшипников буксовых узлов, эксплуатируемых в условиях Сибири и дальнего востока // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС. – 2018. – №3(63). – С. 180–187. (0,44/0,11)

26. **Бычковский В.С.**, Филиппенко Н.Г., Попов С.И., Попов А.С. Термовакuumное нанесение самосмазывающихся покрытий полимерных материалов узлов трения машин и механизмов транспортного машиностроения //

Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 2(58). – С. 58-64. (0,34/0,25)

27. Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Фарзалиев Э.Ф.О., **Бычковский В.С.** Автоматизированная система регулирования температуры с учетом прогнозируемых изменений метеоусловий // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 1(42). – С. 73-79. (0,38/0,1)

28. **Бычковский В.С.**, Баканин Д.В., Курайтис А.С., Филиппенко Н.Г. Исследование автоматизированного процесса высокочастотного маслonaполнения полимерного материала ПА6 моторным маслом М-8В в целях повышения эксплуатационных свойств деталей, применяемых на транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4(68). – С. 49-58. (0,56/0,14)

29. **Бычковский В.С.**, Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Баканин Д.В., Фарзалиев Э.Ф.О. Автоматизированный способ контроля наполнения маслом полимерных и композиционных материалов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 9-16. (0,44/0,32)

30. Фарзалиев Э.Ф.О., Филиппенко Н.Г., **Бычковский В.С.**, Чумбадзе Т.Т., Грамаков Д.С. Алгоритм системы автоматизированных научных исследований процесса сушки многокомпонентных полимеров // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 17-22. (0,31/0,1)

31. **Бычковский В.С.**, Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Баканин Д.В., Фарзалиев Э.Ф.О. Сравнительный анализ физико-эксплуатационных характеристик полимерных образцов, наполненных маслом // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2(47). – С. 91-96. (0,31/0,24)

32. **Бычковский В. С.**, Лившиц А. В. Разработка алгоритма управления технологическим процессом маслonaполнения полимеров и композитов на заданную глубину // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 3(48). – С. 63-68. (0,31/0,24)

33. Филиппенко Н.Г., Баканин Д.В., **Бычковский В.С.** Автоматизированная система контроля агрегатных и фазовых изменений в полимерных материалах // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 2. С. 19-33. (0,88/0,3).

Конфликт интересов с соавторами отсутствует. Соавторы не имеют претензий относительно авторского вклада соискателя. В опубликованных работах отражены все основные положения диссертационного исследования.

Выводы. Диссертация Бычковского Владимира Сергеевича «Повышение износостойкости полиамидных деталей за счет технологического наполнения их поверхностного слоя маслосодержащей жидкостью» является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора. Выдвинутые им положения представляют собой научно обоснованные технологические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач. При выполнении диссертационной работы Бычковский Владимир Сергеевич проявил себя зрелым научным работником.

