

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Янкевича Степана Николаевича
«Повышение ресурса средств персональной мобильности совершенствованием технологий изготовления безвоздушных шин и коммутации элементов питания тяговых батарей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07– технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

1.Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите

Диссертационная работа Янкевича С.Н. посвящена повышению ресурса средств персональной мобильности совершенствованием технологий изготовления колес на основе исследования закономерностей влияния циклических нагрузок на прочность упругих элементов безвоздушных шин из полимерных материалов и процесса формирования сварных соединений при коммутации элементов питания тяговых батарей. Объектом исследования являются безвоздушные шины и многоэлементные тяговые литиевые аккумуляторные батареи, предмет исследования – характеристики ресурса и пути его повышения. В работе разработана физико-математическая модель процесса деформации упругих элементов безвоздушных шин, позволившая определить размеры, форму и количество демпфирующих элементов, методика испытаний спиц из полимерных материалов на циклическую стойкость. Предложена физико-математическая модель процесса двухимпульсной точечной сварки электропроводящих шин с элементами питания тяговых батарей.

Содержание диссертации, ее основные результаты и положения, выносимые на защиту, соответствуют специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки и относятся к указанным в паспорте специальности областям исследований по разделу III, соответствующие пунктам № 1 (Процессы синтеза или модифицирования структуры и свойств материалов и формирования поверхностей изделий с наложением различных энергетических воздействий и использованием возникающих при этом физических и химических эффектов) и № 3 (Механизмы формирования напряженного-деформированного состояния и структурно-фазовых превращений при взаимодействии материалов с инструментом и технологической средой, как при механической обработке, так и при воздействии направленных потоков энергии различной природы, а также при комбинированных воздействиях).

2.Актуальность темы диссертации

Повсеместное внедрение средств персональной мобильности в крупных городах и областных центрах Республики Беларусь подняло ряд про-

блем, связанных с использованием данных видов техники на неподготовленных для нее участках тротуаров и дорог. Проблема обеспечения безопасности использования транспортных средств идет неразрывно с вопросом обеспечения ресурса.

В рамках диссертационной работы было введено понятие ресурса средств персональной мобильности, выделены основные критические узлы и определены технологии, позволяющие повысить их безопасность и время работы. В частности, основной акцент был сделан на колесном движителе и тяговой аккумуляторной батарее.

Для колесного движителя была предложена перспективная уникальная конструкция безвоздушной шины, разработана математическая модель процесса деформации упругих элементов колеса при его движении, позволившая определить конфигурацию, минимально необходимую толщину и количество упругих элементов. При выполнении прототипирования были использованы САПР и процессы аддитивного производства, по результатам исследования получена технология производства упругих элементов безвоздушных шин из полимерных материалов.

В части многоэлементных литиевых батарей проведены экспериментальные исследования влияния технологических параметров процесса контактной сварки и конструкции соединительных шин в системе Cu-Ni на прочность сварных соединений, а также изучено влияние температуры заливки полимерных материалов на их прочностные характеристики, рассмотрены процессы, происходящие при сварке, разработана математическая модель. Указанное решение является новым и перспективным для решения проблемы снижения переходных сопротивлений и обеспечения высоких удельных характеристик литиевых АКБ средств индивидуальной мобильности при сохранении низких затрат на этапе технологического обеспечения производственного процесса.

3. Степень новизны результатов, научных положений, которые выносятся на защиту диссертации

Выносимые на защиту результаты диссертационной работы и научные положения являются принципиально новыми:

- экспериментально установлены закономерности формирования методом 3D-печати бездефектных изделий из полимерных материалов с конструкционной прочностью ($\sigma_{(B_{сж})}$, $\sigma_{(B_{раст})}$) на уровне 27–31 МПа при объемной плотности заполнения структуры до 40 % и повышения конструкционной прочности ($\sigma_{(B_{сж})}$, $\sigma_{(B_{раст})}$) в 1,7–1,8 раза при выборе рисунка объемного заполнения «шестигранник из треугольников» и плотности заполнения 90 %, результаты сравнительных исследований физико-механических свойств и экономических показателей изготовления изделий методом 3D-печати, показавшие сокращение материальных затрат в ~15 раз на стадии подготовки их производства;
- получены результаты экспериментальных исследований зависимости ресурса упругих элементов безвоздушных шин, изготовленных из полимера

марки ABS, от частоты циклической нагрузки.

- разработана методика испытаний спиц безвоздушных шин из полимерных материалов, заключающаяся в установлении точки перегиба на зависимости количества циклов нагружения до разрушения спицы от частоты приложения нагрузки, свидетельствующей об исчерпании упругих свойств и позволяющей определить коэффициент эффективности использования различных полимерных материалов и технологических режимов изготовления спиц;

- разработана математическая модель процесса двухимпульсной точечной сварки при коммутации элементов питания тяговых батарей, связывающая удельную объемную теплоемкость c и среднюю температуру T объема сварной точки V с количеством тепла Q , выделяющегося при протекании импульсов тока I по участкам цепи сопротивлением R ($Q = cTV = I^2 R t$), отличающаяся учетом влияния температуры разогрева на удельное сопротивление и силу тока в контактах при прохождении импульсов тока, позволившая определить силу, длительность и скважность импульсов тока, а также толщину и конфигурацию электропроводящих шин из никеля и из меди, обеспечивающих формирование сварных соединений, соответствующих требованиям, предъявляемым к прочности на отрыв ($N \geq 100$ Н) и к уровню контактных сопротивлений шина–корпус элемента питания ($R_k \leq 0,005$ Ом) при температуре разогрева внутренней поверхности корпуса не выше допустимых значений ($T \leq 60$ °С);

- сформулирована научно-обоснованная температурно-временная диаграмма формирования соединений при двухимпульсной точечной односторонней сварке в системе Cu-Ni, позволившая установить, что при прохождении первого импульса тока силой 1000 А продолжительностью 1,0–1,3 мс происходит разогрев контакта Cu - Ni до температуры 1085 °С, плавление контактного слоя медной шины с образованием раствора, содержащего от 5 до 10 ат. % Ni, и, соответствующее его концентрации, повышение температуры расплава до 1120 °С. В промежутке между импульсами тока длительностью 1 мс происходит кристаллизация раствора Ni в Cu и снижение его температуры до ~200 °С. При прохождении второго импульса тока происходит повторный разогрев зоны сварки до температуры 1120 °С, ее плавление, увеличение температуры разогрева жидкой фазы до 1200 °С, что обеспечивает формирование сварных соединений толщиной от 20 до 30 мкм с концентрацией в них никеля от 5 до 20 ат. %, а также образование переходного слоя сварного соединения с корпусом элемента питания, состоящего из твердого раствора меди в никеле;

- получены результаты исследований влияния температуры заливки полимерных материалов из ABS и PLA пластиков в интервалах 250–270 °С и 225–240 °С соответственно на их прочностные характеристики (σ, E), позволившие разработать технологию изготовления упругих элементов безвоздушных шин, имеющих сопротивление качения на 40-55 % меньше в сравнении с пневматическими шинами. Технологический процесс коммутации элементов питания тяговых батарей, соединительными шинами из меди, обеспечивающий формирование переходного слоя в зоне сварных соединений с

прочностью на отрыв более 100 Н и уровнем контактных сопротивлений $R_k \leq 0,005$ Ом, что в совокупности позволило повысить ресурс средств персональной мобильности на 20–25 %. Степень новизны результатов и научных положений, выносимых на защиту, определяется новизной, что подтверждается публикацией в рецензируемых журналах и сборниках материалов международных конференций.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, подтверждены результатами экспериментальных исследований с применением широкого круга современных методик и оборудования, обоснованы теоретически на основе достоверных методик расчётов. Все разработанные модели верифицированы. Достоверность результатов работы подтверждается отсутствием противоречий в полученных данных, которые опубликованы в отечественных и зарубежных научных изданиях различного уровня.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в полученных результатах исследований влияния температуры заливки полимерных материалов из ABS и PLA пластиков в интервалах 250–270 °С и 225–240 °С соответственно на их прочностные характеристики (σ , E), позволившие разработать технологию изготовления упругих элементов безвоздушных шин, имеющих на 40–55 % меньшее сопротивление качению в сравнении с пневматическими шинами. Технологический процесс коммутации элементов питания тяговых батарей, соединительными шинами из меди, обеспечивающий формирование переходного слоя в зоне сварных соединений с прочностью на отрыв более 100 Н и уровнем контактных сопротивлений $R_k \leq 0,005$ Ом, что в совокупности позволило повысить ресурс средств персональной мобильности на 20–25 %.

Результаты работы внедрены в производственный процесс ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» и РУП «Научно-производственный центр многофункциональный беспилотный комплексов» НАН Беларуси, используются при проведении работ в рамках Комплексной программы развития электротранспорта, утвержденной постановлением СМ Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213 «О комплексной программе развития электротранспорта на 2021 – 2025 годы», а также при выполнении договоров при производстве собственной продукции, что подтверждено соответствующими актами, приведенными в приложении диссертационной работы.

При непосредственном участии автора разработаны и зарегистрированы технические условия на линейку литий-ионных тяговых батарей, выпускае-

мых предприятием ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» (ТУ ВУ 100379519.001-2021).

Промышленное апробирование разработанной технологии было проведено в ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» при выполнении ОКР на общую сумму 27 000 белорусских рублей (в ценах февраля 2022 г.).

6. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, из них 9 – статьи в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 5 – статьи в сборниках материалов и трудов научных конференций, 2 – статьи в других научных изданиях, получены два патента на изобретения.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Оформление диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к кандидатским диссертациям.

Диссертационная работа Янкевича С.Н. состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 181 страницу, она содержит 124 страницы основного текста, 83 рисунка на 62 страницах, 26 таблиц на 24 страницах, библиографический список, включающий 125 использованных источников, 18 научных работ автора, в том числе 16 статей и 2 патента.

Автореферат диссертационной работы достаточно полно отражает основное содержание работы.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержания диссертационной работы, автореферата, опубликованных статей и тезисов докладов на научных конференциях, интерпретации научных и практических результатов свидетельствуют о научной квалификации автора, соответствующей ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности. Работа соискателя соответствует п. 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Янкевич С.Н. награжден почетной грамотой Национальной академии наук Беларуси «за развитие научных основ в сфере легкого персонального электротранспорта» (Постановление Бюро Президиума НАН Беларуси 23.01.2023 №25).

9. Замечания по диссертации

1. Вывод 2 диссертации содержит информацию о рассчитанном режиме нагружения в реальной эксплуатации со ссылками на соответствующие авторские источники. Однако в них приведены только результаты технологических исследований.
2. С замечанием¹ связано следующее: на рис. 4.10 приведена зависимость коэффициента сопротивления качению в зависимости от нагрузки, но с размерностью в см, чего в теории мобильных машин не может быть. Как получена эта зависимость не поясняется. Часть параметров можно было бы снять в режиме реальной эксплуатации транспортного средства.
3. Не систематизирован нагрузочный режим (его пределы) для испытания колес с целью окончательного выбора конструктивных соотношений и материала и стержневой подвески, что можно было представить в виде соответствующей таблицы- начальный стандарт.
4. В табл. 4.4 Результаты статических испытаний – последних три показателя – не понятно при каких условиях нагружения (качения) получены.
5. На рис. 4.16 позиция «в» - шина, стрелка даже не доходит до самой шины. Раздел 4.2 «Разработка мат. моделибездушной шины». Это как понимать?

В целом, указанные замечания не касаются положений, выносимых на защиту, не носят принципиального характера и не снижают научной и практической ценности работы.

10. Заключение

Диссертационная работа Янкевича С.Н. «Повышение ресурса средств персональной мобильности совершенствованием технологий изготовления безвоздушных шин и коммутации элементов питания тяговых батарей» является завершенным квалификационным исследованием и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 г. №560 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 г. № 190), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Янкевич Степан Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07– технология и оборудование механической и физико-технической обработки за новые научно обоснованные результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение ресурса средств персональной мобильности, включающие:

- экспериментально установленные пределы содержания легирующих математическую модель процесса двухимпульсной точечной сварки при коммутации элементов питания тяговых батарей, связывающая удельную объемную теплоемкость c и среднюю температуру T объема сварной точки V с количеством тепла Q , выделяющегося при протекании импульсов тока I по

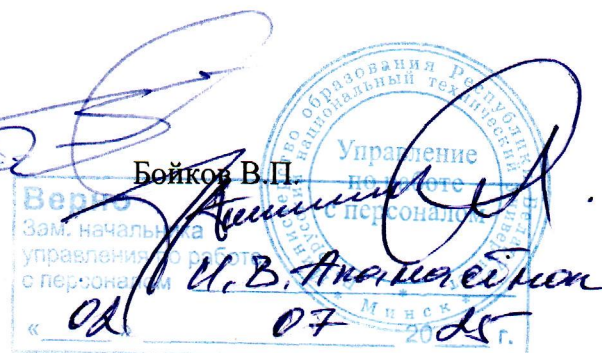
участкам цепи сопротивлением R ($Q = cTV = I^2Rt$), отличающаяся учетом влияния температуры разогрева на удельное сопротивление и силу тока в контактах при прохождении импульсов тока, позволившая определить силу, длительность и скважность импульсов тока, а также толщину и конфигурацию электропроводящих шин из никеля и из меди, обеспечивающих формирование сварных соединений, соответствующих требованиям, предъявляемым к прочности на отрыв ($N \geq 100$ Н) и к уровню контактных сопротивлений шина–корпус элемента питания ($R_k \leq 0,005$ Ом) при температуре разогрева внутренней поверхности корпуса не выше допустимых значений ($T \leq 60$ °С);

-научно–обоснованную температурно-временную диаграмму формирования соединений при двухимпульсной точечной односторонней сварке в системе Cu-Ni, позволившая установить, что при прохождении первого импульса тока силой 1000 А продолжительностью 1,0–1,3 мс происходит разогрев контакта Cu - Ni до температуры 1085 °С, плавление контактного слоя медной шины с образованием раствора, содержащего от 5 до 10 ат. % Ni, и, соответствующее его концентрации, повышение температуры расплава до 1120 °С. В промежутке между импульсами тока длительностью 1 мс происходит кристаллизация раствора Ni в Cu и снижение его температуры до ~200 °С. При прохождении второго импульса тока происходит повторный разогрев зоны сварки до температуры 1120 °С, ее плавление, увеличение температуры разогрева жидкой фазы до 1200 °С, что обеспечивает формирование сварных соединений толщиной от 20 до 30 мкм с концентрацией в них никеля от 5 до 20 ат. %, а также образование переходного слоя сварного соединения с корпусом элемента питания, состоящего из твердого раствора меди в никеле;

- результаты исследований влияния температуры заливки полимерных материалов из ABS и PLA пластиков в интервалах 250–270 °С и 225–240 °С соответственно на их прочностные характеристики (σ, E), позволившие разработать технологию изготовления упругих элементов безвоздушных шин, имеющих сопротивление качения на 40-55 % меньше в сравнении с пневматическими шинами. Технологический процесс коммутации элементов питания тяговых батарей, соединительными шинами из меди, обеспечивающий формирование переходного слоя в зоне сварных соединений с прочностью на отрыв более 100 Н и уровнем контактных сопротивлений $R_k \leq 0,005$ Ом, что в совокупности позволило повысить ресурс средств персональной мобильности на 20–25 %.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Тракторы», Белорусский Национальный технический университет, доктор технических наук, профессор
Подпись Бойкова В.П. удостоверяю



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Янкевича Степана Николаевича
**«ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ
МОБИЛЬНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЗВОЗДУШНЫХ ШИН И КОММУТАЦИИ
ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ТЯГОВЫХ БАТАРЕЙ»,**
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.07– технология и оборудование механической и физико-технической
обработки

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите

Диссертация Янкевича С.Н. посвящена повышению ресурса средств персональной мобильности совершенствованием технологий изготовления колес на основе исследования закономерностей влияния циклических нагрузок на прочность упругих элементов безвоздушных шин из полимерных материалов и процесса формирования сварных соединений при коммутации элементов питания тяговых батарей. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки и относится к указанным в паспорте специальности областям исследований по разделу III, соответствующих пунктам № 1 (Процессы синтеза или модифицирования структуры и свойств материалов и формирования поверхностей изделий с наложением различных энергетических воздействий и использованием возникающих при этом физических и химических эффектов) и № 3 (Механизмы формирования напряженного-деформированного состояния и структурно-фазовых превращений при взаимодействии материалов с инструментом и технологической средой, как при механической обработке, так и при воздействии направленных потоков энергии различной природы, а также при комбинированных воздействиях).

Таким образом, диссертация Янкевича Степан Николаевича «Повышение ресурса средств персональной мобильности совершенствованием технологий изготовления безвоздушных шин и коммутации элементов питания тяговых батарей» соответствует специальности 05.02.07– технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

2. Актуальность темы диссертации

Развитие средств персональной мобильности (электросамокаты, гидроскутеры, сигвеи, моноколеса и др.) для использования при передвижении со скоростью до 30 км/ч ставит во главу угла решение проблем повышения их безопасности и ресурса эксплуатации.

В рамках диссертационной работы было введено понятие ресурса средств персональной мобильности, выделены основные критические узлы и определены технологии, позволяющие повысить их безопасность и время работы. В частности, основной акцент был сделан на колесном двигателе и тяговой аккумуляторной батарее.

Для колесного движителя была предложена перспективная уникальная конструкция безвоздушной шины, разработана математическая модель процесса деформации упругих элементов при движении колеса, позволившая определить конфигурацию, минимально необходимую толщину и количество упругих элементов. При выполнении прототипирования были использованы системы автоматического проектирования (САПР) и процессы аддитивного производства, особое внимание было уделено вопросам снижения дефектности изделий, получаемых методом FDM-печати, исследованию механических свойств образцов с различными видами и плотностями заполнения. По результатам исследования получена технология производства упругих элементов безвоздушных шин из полимерных материалов.

Для многоэлементных литиевых батарей проведены экспериментальные исследования влияния технологических параметров процесса контактной сварки и конструкции соединительных шин в системе Cu-Ni на прочность сварных соединений, рассмотрены процессы, происходящие при сварке, разработана математическая модель этого процесса. Указанное решение является новым и перспективным для решения проблемы снижения переходных сопротивлений и обеспечения высоких удельных характеристик литиевых аккумуляторных батарей средств индивидуальной мобильности при сохранении низких затрат на этапе технологического обеспечения производственного процесса.

Актуальность тематики диссертации подтверждена соответствием перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 гг. (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. №156) 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: машиностроение и машиноведение, электрические и беспилотные транспортные средства, аддитивные технологии, композиционные и многофункциональные материалы».

3. Степень новизны результатов, научных положений, которые выносятся на защиту диссертации

В диссертационной работе Янкевича С.Н. изучены закономерности получения элементов средств персональной мобильности из полимерных материалов методом 3D печати, в том числе установлено влияние параметров заполнения образцов, влияние температуры и скорости печати на механические свойства изделий.

Научной новизной характеризуются следующие результаты и положения, выносимые на защиту:

- экспериментально установленные закономерности формирования методом 3D-печати бездефектных изделий из полимерных материалов с конструкционной прочностью на уровне 27–31 МПа при объемной плотности заполнения структуры до 40 % и повышении конструкционной прочности в 1,7–1,8 раза при выборе рисунка объемного заполнения «шестигранник из треугольников» и плотности заполнения 90 %, результаты сравнительных исследований физико-механических свойств и экономических показателей изготовления изделий методом 3D-печати, показавшие сокращение материаль-

ных затрат в ~ 15 раз на стадии подготовки их производства;

- полученные зависимости ресурса упругих элементов безвоздушных шин, изготовленных из полимера марки ABS, от частоты циклической нагрузки;

- разработанную методику испытаний спиц безвоздушных шин из полимерных материалов, заключающуюся в установлении точки перегиба на зависимости количества циклов нагружения до разрушения спицы от частоты приложения нагрузки, свидетельствующей об исчерпании упругих свойств и позволяющую определить коэффициент эффективности использования различных полимерных материалов и технологических режимов изготовления спиц;

- разработанную математическую модель процесса двухимпульсной точечной сварки при коммутации элементов питания тяговых батарей, связывающую удельную объемную теплоемкость c и среднюю температуру T объема сварной точки V с количеством тепла Q , выделяющегося при протекании импульсов тока I по участкам цепи сопротивлением R ($Q = cTV = I^2Rt$), отличающуюся учетом влияния температуры разогрева на удельное сопротивление и силу тока в контактах при прохождении импульсов тока, позволившая определить силу, длительность и скважность импульсов тока, а также толщину и конфигурацию электропроводящих шин из никеля и из меди, обеспечивающих формирование сварных соединений, соответствующих требованиям, предъявляемым к прочности на отрыв ($N \geq 100$ Н) и к уровню контактных сопротивлений шина–корпус элемента питания ($R_k \leq 0,005$ Ом) при температуре разогрева внутренней поверхности корпуса не выше допустимых значений ($T \leq 60$ °С);

- сформулированную научно-обоснованную температурно-временную диаграмму формирования соединений при двухимпульсной точечной односторонней сварке в системе Cu-Ni, позволившую установить, что при прохождении первого импульса тока силой 1000 А продолжительностью 1,0–1,3 мс происходит разогрев контакта Cu-Ni до температуры 1085 °С, плавление контактного слоя медной шины с образованием раствора, содержащего от 5 до 10 ат. % Ni, и, соответствующее его концентрации, повышение температуры расплава до 1120 °С. В промежутке между импульсами тока длительностью 1 мс происходит кристаллизация раствора Ni в Cu и снижение его температуры до ~ 200 °С. При прохождении второго импульса тока происходит повторный разогрев зоны сварки до температуры 1120 °С, ее плавление, увеличение температуры разогрева жидкой фазы до 1200 °С, что обеспечивает формирование сварных соединений толщиной от 20 до 30 мкм с концентрацией в них никеля от 5 до 20 ат. %, а также образование переходного слоя сварного соединения с корпусом элемента питания, состоящего из твердого раствора меди в никеле;

- полученные результаты исследований влияния температуры заливки полимерных материалов из ABS и PLA пластиков в интервалах 250–270 °С и 225–240 °С соответственно на их прочностные характеристики (σ, E), позволившие разработать технологию изготовления упругих элементов безвоздушных шин, имеющих сопротивление качения на 40-55 % меньше в сравне-

нии с пневматическими шинами. Технологический процесс коммутации элементов питания тяговых батарей, соединительными шинами из меди, обеспечивающий формирование переходного слоя в зоне сварных соединений с прочностью на отрыв более 100 Н и уровнем контактных сопротивлений $R_k \leq 0,005$ Ом, что в совокупности позволило повысить ресурс средств персональной мобильности на 20–25 %. Степень новизны результатов и научных положений, выносимых на защиту, определяется новизной, что подтверждается публикацией в рецензируемых журналах и сборниках материалов международных конференций.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, подтверждены результатами экспериментальных исследований с применением широкого круга современных методик и оборудования, обоснованы теоретически на основе достоверных методик расчетов и натурных испытаний образцов. Все разработанные модели верифицированы. Достоверность результатов работы подтверждается отсутствием противоречий в полученных данных, которые опубликованы в отечественных и зарубежных научных изданиях различного уровня.

Таким образом, представленные в диссертационной работе результаты и положения, выносимые на защиту, рекомендации являются обоснованными и достоверными.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертации Янкевича С.Н. заключается в установлении новой зависимости между частотой циклической нагрузки и прочностью упругих элементов безвоздушных шин из ABS-пластика и разработке методики определения оптимальных режимов изготовления полимерных безвоздушных шин для различных средств персональной мобильности, основанной на анализе изменения долговечности спицы в зависимости от частоты нагрузки; разработке математической модели, описывающей процесс двухимпульсной точечной односторонней сварки с коммутацией элементов питания тяговых батарей, ключевым отличием которой является учет влияния температуры разогрева на удельное сопротивление и силу тока в контактах. Это позволило установить взаимосвязь между тепловыми и электрическими параметрами процесса и, как следствие, определить оптимальные технологические условия для получения сварных соединений с заданными прочностными, электрическими и температурными характеристиками. Новым является установление температурно-временных параметров, необходимых для формирования качественных сварных соединений в системах Ni-Ni и Cu-Ni при двухимпульсной точечной односторонней сварке. Впервые показано, что при использовании определенной последовательности импульсов тока в системе Cu-Ni происходит контролируемое плавление медной ши-

ны, образование раствора Ni в Cu, его кристаллизация и последующее формирование сварного соединения с заданными характеристиками.

Практическая значимость работы заключается в разработке и оптимизации технологий, приводящих к существенным улучшениям в двух областях:

- безвоздушные шины: новая технология изготовления упругих элементов из ABS и PLA пластиков, основанная на исследовании влияния температуры заливки, позволяет снизить сопротивление качению шин на 40-55% по сравнению с пневматическими аналогами;

- тяговые батареи: разработанный процесс коммутации элементов питания медными шинами обеспечивает высокую прочность и низкое сопротивление сварных соединений, что приводит к увеличению ресурса средств персональной мобильности на 20-25%.

Экономическая и социальная значимость

заключается в том, что результаты работы внедрены в производственный процесс в ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» и РУП «Научно-производственный центр многофункциональный беспилотный комплексов» НАН Беларуси и используются при проведении работ в рамках Комплексной программы развития электротранспорта, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213 «О комплексной программе развития электротранспорта на 2021 – 2025 годы», а также при выполнении договоров при производстве собственной продукции, что подтверждено соответствующими актами, приведенными в приложении диссертационной работы.

При непосредственном участии автора разработаны и зарегистрированы технические условия на линейку литий-ионных тяговых батарей, выпускаемых предприятием ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» (ТУ ВУ 100379519.001-2021).

6. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации в научной печати

Результаты диссертационной работы достаточно опубликованы в научной печати. Суммарно опубликовано 18 научных работ, в том числе 9 статей в научных рецензируемых журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 5 статей в сборниках материалов и трудах научных конференций, 2 статьи в других научных изданиях, 2 патента Республики Беларусь.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация Янкевича С.Н. является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена автором самостоятельно, а по объему и содержанию соответствует требованиям п. 20, 24, 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Диссертационная работа включает в себя общую характеристику, пять глав с выводами по каждой главе, заключение, библиографический список и приложения. Полный объем диссертационной работы составляет 181 страни-

цу, она содержит 124 страницы основного текста, 83 рисунка на 62 страницах, 26 таблиц на 24 страницах, библиографический список, включающий 125 использованных источников, 18 научных работ автора, в том числе 16 статей и 2 патента.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал изложен логично, без существенных погрешностей, затрудняющих чтение рукописи. Автореферат диссертационной работы достаточно полно отражает основное содержание работы.

8. Замечания по диссертации

При рассмотрении диссертации и автореферата не выявлено принципиальных недостатков, которые могли бы вызвать сомнение в достоверности научных выводов и положений, вынесенных на защиту. Тем не менее, имеется ряд замечаний и вопросов.

1) Во второй главе следовало бы разместить раздел «Обработка экспериментальных данных», в котором бы было описано, как в работе проводилась статистическая обработка результатов исследований. По тексту диссертации в таблицах и на рисунках отсутствуют данные о статистической обработке результатов исследований (погрешность, доверительный интервал и т.п.).

2) По тексту диссертации в соответствии с п.28 постановления Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3 (в редакции постановления Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 22.08.2022 № 5) при ссылке на источники с количеством страниц более 5 отсутствуют данные о номере страницы источника, на которую ссылается автор.

3) При формулировании основных научных результатов диссертации имеются несогласованности с очередностью изложения положений, выносимых на защиту.

Приведенные выше замечания не снижают научной и практической значимости полученных результатов.

10. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Изложенный в диссертации материал, а также опубликованные печатные работы свидетельствуют о способности соискателя к творческой научно-исследовательской работе – от постановки задачи до практического использования полученных результатов, что в итоге позволило ему внести существенный вклад в развитие одного из актуальных направлений научных исследований в области технологии изготовления средств персональной мобильности с повышенным ресурсом работы. Это дает основание считать, что научная квалификация соискателя в полной мере соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07– технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Предлагаю присудить Янкевичу С.Н. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07– технология и оборудование механи-

ческой и физико-технической обработки за новые научно обоснованные результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение ресурса средств персональной мобильности, включающие:

- установление зависимости между частотой циклической нагрузки и прочностью упругих элементов безвоздушных шин из ABS-пластика и разработку методики определения оптимальных режимов изготовления полимерных безвоздушных шин для различных средств персональной мобильности, основанной на анализе изменения долговечности спицы в зависимости от частоты нагрузки;

- разработку математической модели, описывающей процесс двухимпульсной точечной односторонней сварки с коммутацией элементов питания тяговых батарей;

- установление температурно-временных параметров, необходимых для формирования качественных сварных соединений в системах Ni-Ni и Cu-Ni при двухимпульсной точечной односторонней сварке,

что в совокупности позволило соискателю разработать технологию изготовления колес на полимерной основе и процесс формирования сварных соединений при коммутации элементов питания тяговых батарей для средств персональной мобильности, тем самым повысив их ресурс эксплуатации.

Выражаю свое согласие на размещение отзыва о диссертации Янкевича С.Н. на официальном сайте государственного научного учреждения «Физико-технический институт НАН Беларуси».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, кандидат технических наук, доцент



Касперович А.В.

Подпись Касперовича А.В. удостоверение

