

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Орловский государственный аграрный университет

Рыбинский государственный авиационный технический университет
им. П.А. Соловьева

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Кыргызский национальный университет им. Жусупа Баласагына

ISSN 2618-6810

МАШИНОСТРОЕНИЕ: ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Санкт-Петербург, 2022

УДК 62 : 001.8895

ББК 34.41

М38

М38 Машиностроение: инновационные аспекты развития:
Материалы международной научно-практической конференции.
– Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – № 5. – 69 с. – DOI:
10.26160/2618-6810-2022-5.

Представлены материалы V международной научно-практической конференции «Машиностроение: инновационные аспекты развития» (26 апреля 2022г.). Направления работы конференции: 1) Машиноведение; 2) Тяжелое машиностроение; 3) Общее машиностроение; 4) Среднее машиностроение; 5) Точное машиностроение; 6) Ремонт машин и оборудования; 7) Смежные вопросы развития машиностроения; 8) Современные проблемы инженерного образования.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием машин и механизмов различного технологического назначения.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

Жуков Иван Алексеевич – директор НИЦ «МашиноСтроение», профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

Малинин Владислав Георгиевич – профессор кафедры инженерной графики и механики Орловского ГАУ, д.ф.-м.н., профессор;

Надеждин Игорь Валентинович – заведующий кафедрой прикладной механики РГАТУ им. П.А. Соловьева, д.т.н., профессор;

Палочкин Сергей Владимирович – профессор кафедры основ конструирования машин МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., профессор;

Каракеев Таалайбек Тултемирович – профессор кафедры информационных технологий и программирования КНУ, д.ф.-м.н., профессор.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/miar.html>
<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2022-5>

ISSN 2618-6810

© Авторы, 2022
© НИЦ МС, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Машиноведение

- Горавский И.А., Жигалов А.Н., Богдан Д.Д.** Исследование структурного состояния карбидных фаз быстрорежущей стали Р6М5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом..... 5
- Елисеев А.В., Миронов А.С.** Новые подходы к оценке режимов динамического гашения колебаний технических объектов транспортного и технологического назначения: частотная функция обнуления, динамические инварианты, интегральные характеристики..... 9

Тяжелое машиностроение

- Кикин Н.О.** Возможности повышения интенсификации процесса смешивания в смесителях с горизонтальным расположением валов 13
- Хазеев Е.В., Андреевец Ю.А., Пупенко К.В.** Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах 18

Общее машиностроение

- Хадеев Р.Г.** Электромеханический привод для электротранспорта 23
- Иванова Г.В., Ли Цзе, Тарасенко Е.А.** Исследование характеристик элементов фрикционных муфт 27

Среднее машиностроение

- Ракшин Е.А.** Захватно-стыковочное устройство манипуляционной системы 32
- Красило М.С.** Информационная система работа-погрузчика 36
- Красило М.С.** Системный анализ безопасности работа-погрузчика 39
- Колесниченко С.Д., Щёлокова П.Ю.** Проблемы внедрения системы нулевого базирования на промышленных предприятиях 42

Точное машиностроение

Хвощевская Л.Ф. О новом подходе к анализу геометрической точности изделий.....	46
---	----

Ремонт машин и оборудования

Прияткин Д.В., Артемьев А.А., Алеханов Д.А., Альхасан Сара Абдулкарим Духайм, Динь Ван Тамм. Ремонт наплавкой деталей, подверженных газообразивному изнашиванию	49
Лебедева К.Н., Порозова С.Е., Старков Д.А. Исследование микроструктуры композиционного покрытия.....	52
Архипов В.Е., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Трибологическое покрытие типа «латуни», полученное методом газодинамического напыления	55

Смежные вопросы развития машиностроения

Головкин П.А. Влияние количественного содержания интерметаллидных фаз на коррозионную стойкость материала листов и плит из сплава АМгб.....	57
Сафин Э.В., Беляева Д.В. Оценка перспектив стандартизации металлорежущих и деревообрабатывающих станков на основе анализа действующих национальных и межгосударственных стандартов и основных направлений развития станкостроения.....	62

Современные проблемы инженерного образования

Лукиенко Л.В. Современные проблемы подготовки конкурентоспособных технических специалистов в Тульском государственном педагогическом университете им. Л.Н. Толстого.....	64
Бирюкова И.П. Компетентностно-ориентированные задания в физическом практикуме.....	67

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ КАРБИДНЫХ ФАЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5, УПРОЧНЕННОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Горавский И.А.¹, Жигалов А.Н.^{1,2}, Богдан Д.Д.¹

¹*Барановичский государственный университет, г.Барановичи, Беларусь;*

²*Институт технологии металлов НАН Беларуси, Могилев, Республика Беларусь*

Ключевые слова: метод аэродинамического звукового упрочнения, быстрорежущие стали, структурное состояние, металлорежущий инструмент.

Аннотация. Обработка методом аэродинамического звукового упрочнения, основанного на высокоэнергетическом низкотемпературном воздействии энергии, созданной резонансным воздействием акустических волн в звуковом спектре частот, быстрорежущей стали Р6М5 обеспечивает устранение погрешности структуры в виде строчечности сориентированных вдоль оси деформации карбидных фаз из-за снижения структурной анизотропии, фазового наклепа, происходящих за счет релаксации структурных напряжений, плотности дислокаций, уменьшает размеры первичных карбидов с 7-15 до 3-8 мкм и сокращает их количество в 1,6 раз, что значительно улучшает однородность структуры стали Р6М5.

STUDY OF THE STRUCTURAL STATE OF THE CARBIDE PHASES OF HIGH-SPEED STEEL R6M5 HARDENED BY THE AERODYNAMIC SONIC METHOD

Goravskii I.A.¹, Zhigalov A.N.^{1,2}, Bogdan D.D.¹

¹*Republic of Belarus Baranovich State University, Baranovich, Republic of Belarus;*

²*Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Mogilev, Republic of Belarus*

Keywords: method of aerodynamic sound hardening, high-speed steels, structural state, metal-cutting tool.

Abstract. Processing by the method of aerodynamic sound hardening, based on high-energy low-temperature exposure to energy created by the resonant effect of acoustic waves in the sound frequency spectrum, high-speed steel R6M5 eliminates the structure error in the form of stitching of carbide phases oriented along the deformation axis due to a decrease in structural anisotropy, phase hardening occurring due to the relaxation of structural stresses, dislocation density, reduces the size of primary carbides from 7-15 to 3-8 microns and reduces their number by 1.6 times, which significantly improves the uniformity of the R6M5 steel structure.

В настоящее время металлорежущий инструмент из быстрорежущих сталей, благодаря хорошему сочетанию значений твердости и теплостойкости при более высоком уровне ударной вязкости и технологичности, из-за хорошей обрабатываемости давлением и резанием в отожженном состоянии, не уступает свои классические сферы применения твердосплавному инструменту.

Наибольшее широкое распространение в машиностроении среди быстрорежущих сталей получили такие стали нормальной теплостойкости, как вольфрамомолибденовые Р6М5, имеющие твердость 63-64 HRC, предел прочности при изгибе 2900-3400 МПа, ударную вязкость 2,7-4,8 Дж/м² и

теплостойкость 600-620°C [1]. Для обеспечения высокой легированности твердого раствора температура закалки быстрорежущих сталей должна превышать 1200°C, т.е. температура должна быть выше температур растворения карбидов быстрорежущих сталей: карбиды на основе хрома $M_{23}C_6$ полностью растворяется в аустените при 1100°C; карбиды на основе M_6C интенсивно растворяются при температуре свыше 1200°C; MC на основе ванадия растворяется даже при более высоких температурах. В связи с чем, температура закалки молибденовых сталей Р6М5 – 1210-1230°C.

В то же время, быстрорежущие стали имеют и ряд недостатков, связанных с наличием карбидной неоднородности в материале из проката, что приводит к выкрашиванию и снижению стойкости и, в конечном итоге, к снижению эффективности применения быстрорежущих сталей в металлообработке. После закалки в структуре остается часть нерастворившихся, избыточных, карбидов эвтектического происхождения и часть вторичных карбидов, имеющих довольно крупные зерна, что снижает прочность и вязкость.

Разработанный метод аэродинамического звукового упрочнения [2, 3], основанный на высокоэнергетическом низкотемпературном воздействии энергии, созданной резонансным воздействием акустических волн в звуковом спектре частот, позволяет за счет структурных изменений обеспечивать повышение ударной вязкости при сохранении исходной твердости, обеспечивая за счет этого повышение ресурса металлорежущего инструмента, работающего в процессах прерывистого резания, до 4,2 раз [4, 5].

Исследование структуры специально подготовленных образцов и элементного состава по структурным составляющим проводили на аттестованном сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором фирмы «OxfordInstrumentsAnalytical» (Великобритания). Погрешность метода в данном случае составляла 8-10 относительных процентов.

Анализ структурного состояния образцов стали Р6М5 с аэродинамическим звуковым упрочнением (рис. 1, б) показывает, что строчечность в продольном направлении значительно уменьшается по сравнению с образцами в исходном состоянии (рис. 1, а). Опасность наличия строчечности связано с тем, что если в инструменте линии строчечности будут направлены поперек режущего зуба, то в местах их скопления металл ослабеет и при наличии значительных поперечных, связанных с ударом, нагрузок произойдет выкрашивание зуба или его облом.

Следовательно, обработка стали Р6М5 методом АДУ устраняет погрешности структуры в виде строчечности (сориентированных вдоль оси деформации карбидных фаз) из-за снижения структурной анизотропии, фазового наклепа, происходящих за счет релаксации структурных напряжений, плотности дислокаций.

Из рисунка 1 видно, что микроструктура закаленной и отпущенной стали Р6М5, как без упрочнения, так и упрочненная АДУ, состоит из мелкоиглочатого мартенсита и большого количества остаточного аустенита (темные места), а также из крупных первичных (крупные светлые включения) и более мелких вторичных карбидов (мелкие светлые включения).

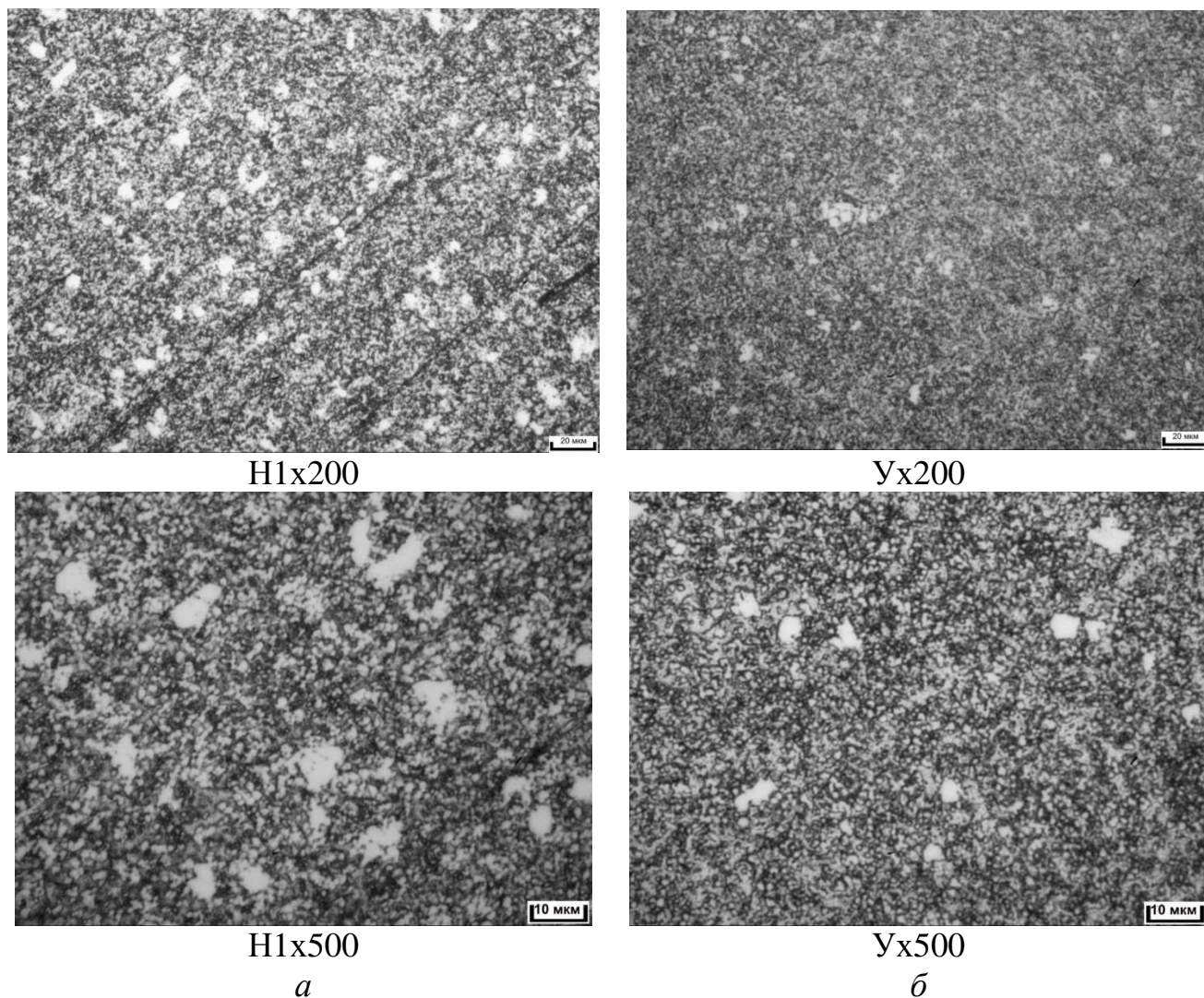


Рис. 1. Микроструктура стали Р6М5 без упрочнения (а) и после аэродинамического звукового упрочнения (б)

Анализ замеров количества первичных карбидов и их размеров для стали Р6М5, без и с аэродинамическим звуковым упрочнением (рис. 1, х500) показывает, что у образцов стали Р6М5 без упрочнения размеры первичных карбидов равны 7-15 мкм и количество составляет 21 шт. на площади 0,008 мм², а у образцов стали Р6М5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом, соответственно: 3-8 мкм и 13 шт., т.е. сокращается их количество в 1,6 раз.

Это позволяет сделать вывод о том, что применение метода аэродинамического звукового упрочнения значительно улучшает однородность структуры стали Р6М5.

Список литературы

1. Герасимова Н.С. Инструментальные материалы: учебное пособие. – Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 61 с.
2. Способ аэродинамического упрочнения изделий: пат. ВУ 2557175 / А.Н. Жигалов, Г.Ф. Шатуров, В.М. Головков. – Оpubл. 20.07.2015.
3. Способ аэродинамического упрочнения изделий: пат. ВУ 21049 / А.Н. Жигалов, Г.Ф. Шатуров, В.М. Головков. – Оpubл. 30.06.2017.

4. Жигалов А.Н. Теоретические и технологические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания: дисс. ... докт. техн. наук: 05.02.07. – Минск, 2021. – 382с.
5. Жигалов, А.Н. Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания: монография / А.Н. Жигалов, В.К. Шелег. – Могилев: МГУП, 2019. – 213 с.

Сведения об авторах:

Горавский Игорь Андреевич – аспирант;

Жигалов Анатолий Николаевич – д.т.н., доцент, директор;

Богдан Дмитрий Дмитриевич – аспирант.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕЖИМОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ЧАСТОТНАЯ ФУНКЦИЯ ОБНУЛЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ ИНВАРИАНТЫ, ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Елисеев А.В., Миронов А.С.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: механические колебательные системы, структурные математические модели, передаточная функция, динамическое гашение колебаний, интегральные характеристики, частотная функция обнуления.

Аннотация. Развивается системный подход в оценки режимов динамических взаимодействий элементов технических объектов транспортного и технологического назначения, находящихся в условиях вибрационных нагружений силовой природы. Цель исследования заключается в разработке подходов для оценки динамических особенностей механических колебательных систем с учетом коэффициента связности внешних возмущений. В рамках структурного математического моделирования механическим колебательным системам, используемым в качестве расчетных схем технических объектов, сопоставляются структурные схемы эквивалентных в динамическом отношении систем автоматического управления. Для механических колебательных систем цепного типа с двумя степенями свободы разработан подход к оценке динамических режимов на основе интегральных характеристик в зависимости от коэффициента связности внешних силовых возмущений.

NEW APPROACHES TO ASSESSING THE MODES OF DYNAMIC DAMPING OF VIBRATIONS OF TECHNICAL OBJECTS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PURPOSE: FREQUENCY ZEROING FUNCTION, DYNAMIC INVARIANTS, INTEGRAL CHARACTERISTICS

Eliseev A.V., Mironov A.S.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: mechanical oscillatory systems, structural mathematical models, transfer function, dynamic vibration damping, integral characteristics, frequency zeroing function.

Abstract. A systematic approach is being developed to assess the modes of dynamic interactions of elements of technical objects of transport and technological purpose that are under conditions of vibrational loads of a force nature. The purpose of the study is to develop approaches for assessing the dynamic features of mechanical oscillatory systems, taking into account the coefficient of connectivity of external disturbances. Within the framework of structural mathematical modeling, structural schemes of dynamically equivalent automatic control systems are compared to mechanical oscillatory systems used as design schemes of technical objects. For mechanical oscillatory systems of the chain type with two degrees of freedom, an approach to the evaluation of dynamic modes based on integral characteristics depending on the coefficient of connectivity of external force disturbances has been developed.

Введение. В настоящее время существенное значение приобретают задачи, связанные с обеспечением динамического качества работы технических объектов, находящихся в условиях вибрационных нагружений [1, 2]. Создание

средств оценки и контроля за динамическим состоянием технических объектов предопределяет развитие теоретических методов математического моделирования динамических особенностей с учетом характера связности внешних силовых воздействий. Расчетными схемами широкого круга задач динамики служат механические колебательные системы с сосредоточенными параметрами. Среди методов математического моделирования особое место занимают структурные подходы, в рамках которых, механическим колебательным системам сопоставляются структурные схемы эквивалентных в динамическом отношении систем автоматического управления [3]. Структурное математическое моделирование используется в решении широкого круга задач вибрационной защиты и виброизоляции [4], для решения динамики сочленений [5], в моделировании вибрационных взаимодействий с учетом неударживающих связей [6,7]. Дополнительное развитие структурные методы получили в оценке динамических особенностей технических объектов с использованием частотных и энергетических функций [8].

Вместе с тем, технология методов оценки режимов движения механических колебательных систем в условиях связных силовых возмущений недостаточно разработана в плане использования обобщенных характеристик.

Работа посвящена развитию представлений об оценке динамических режимов движения механических колебательных систем на основе динамических инвариантов и их интегральных характеристик.

I. Основные положения. Постановка задачи. Рассматривается механическая колебательная система с двумя степенями свободы, массоинерционные элементы которой крепятся друг к другу и к опорным поверхностям с помощью упругих элементов с жесткостями. Под воздействием связных внешних силовых гармонических синфазных возмущений массоинерционные элементы совершает малые вынужденные установившиеся колебания относительно положений статического равновесия. Механическая колебательная система может быть представлена структурной схемой эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления. Построенная структурная схема имеет в качестве входного сигнала внешнее силовое возмущение, приложенное к массоинерционному элементу, выбранному в качестве объекта, динамическое состояние которого оценивается; движение объекта представляет собой выходной сигнал [3, 9-11]. Для фиксированного значения коэффициента связности внешних возмущений совокупность динамических состояний системы может быть отображена амплитудно-частотной характеристикой передаточного отношения изображения Лапласа выходного сигнала к изображению Лапласа входного сигнала. Для фиксированного значения коэффициента связности совокупность динамических особенностей характеризуется наличием частот обнуления амплитуд колебаний объекта, количеством резонансов и формами динамических взаимодействий элементов механической колебательной системы [12].

Задача заключается в разработке метода обобщенных характеристик для оценки совокупности динамических особенностей механической колебательной системы в зависимости от коэффициента связности внешних силовых возмущений.

II. Интегральные характеристики в оценке динамических особенностей механических колебательных систем в зависимости от коэффициента связности внешних возмущений силовой природы. Частотные интервалы, на которых амплитудно-частотная функция знакоотпределена, и критические частоты, в которых реализуется резонанс или обнуление амплитуды колебания соответствующей координаты, могут быть определены на основе частотной функции обнуления. В общем случае совокупность динамических особенностей механической колебательной системы для фиксированного коэффициента связности определяется расположением частоты обнуления амплитуды колебания координаты объекта относительно собственных частот.

Для фиксированного коэффициента связности динамические особенности в виде количества критических состояний обнуления амплитуд колебаний, резонансов, положительных и отрицательных форм динамических взаимодействий могут быть представлены в виде характеристик графов динамических состояний и форм динамических взаимодействий. В свою очередь специфические характеристики динамических инвариантов механической колебательной системы могут быть представлены графиками кусочно-постоянных функций в зависимости от коэффициента связности внешних силовых возмущений. В обобщенном смысле динамические особенности с учетом коэффициента связности внешних возмущений могут быть представлены в виде интегральной характеристики, представляющей собой алгебраическую сумму числа отдельных динамических особенностей механической колебательной системы. Интегральная характеристика отображает сохранение количества динамических особенностей на интервалах.

Вместе с тем, для критических значений коэффициентов связности интегральная характеристика терпит разрывы, что отражает существенное изменение совокупности динамических особенностей в окрестности критических значений.

Заключение. В рамках структурного математического моделирования разработан методологический подход для построения интегральных характеристик, отображающих количественные характеристики динамических особенностей механической колебательной системы, находящейся в условиях связанных вибрационных нагружений. Основой подхода служат так называемые частотные функции обнуления, которые позволяют построить совокупность динамических инвариантов, отображающих динамические особенности системы в виде количества частот обнуления, резонансов, положительных и отрицательных форм динамических взаимодействий элементов механических колебательных систем. Разработанный подход служит методологической основой технологии оценки динамических состояний, в частности, режимов динамического гашения колебаний, механических колебательных систем, находящихся в условиях вибрационных нагружений силовой природы.

Список литературы

1. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука, 2017. 724 с.

2. Clarence W. de Silva. *Vibration. Fundamentals and Practice*. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000. 957 p.
3. Елисеев С.В., Артюнин А.И. *Прикладная теория колебаний в задачах динамики линейных механических систем*. Новосибирск: Наука, 2016. 459 с.
4. Елисеев С.В., Резник Ю.Н., Хоменко А.П., Засядко А.А. *Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2008. 523 с.
5. Елисеев С.В., Ермошенко Ю.В. *Сочленения звеньев в динамике механических колебательных систем*. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2012. 156 с.
6. Елисеев А.В. Особенности взаимодействия материальной частицы с вибрирующей поверхностью в зависимости от дополнительной силы с неударживающей связью // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 3. С. 9-15.
7. Елисеев А.В. Особенности реализации режима кратного подбрасывания в модельной задаче с неударживающей связью при наличии вязкого трения // *Наука в центральной России*. 2013. № 2. С. 42-47.
8. Елисеев А.В. Развитие системных представлений в динамике колебательных структур: частотная функция и формы связности движений элементов/ А.В. Елисеев // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2020. № 4 (68). С. 40-49.
9. Eliseev S.V., Eliseev A.V. *Theory of Oscillations. Structural Mathematical Modeling in Problems of Dynamics of Technical Objects. Series: Studies in Systems, Decision and Control, Vol.252*, Springer International Publishing, Cham, 2020, 521 p.
10. Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Московских А.О. *Динамика машин. Системные представления, структурные схемы и связи элементов*. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 381 с.
11. Елисеев С.В., Елисеев А.В., Большаков Р.С., Хоменко А.П. *Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин*. Новосибирск: Наука, 2021. 679 с.
12. Елисеев А.В., Миронов А.С. Новые подходы к оценке режимов динамического гашения колебаний вибрационных машин транспортного и технологического назначения: графы динамических состояний и форм взаимодействия элементов // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. 2022. №9. С. 23-29. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2022-28-22-25>.

Сведения об авторах:

Елисеев Андрей Владимирович – к.т.н., доцент кафедр математики;

Миронов Артем Сергеевич – соискатель, НОЦ современных технологий, системного анализа и моделирования.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЯХ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВАЛОВ

Кикин Н.О.

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород*

Ключевые слова: интенсификация, лопасть, процесс смешивания, смеситель, стержневые элементы, горизонтальное расположение валов.

Аннотация. Выполнен анализ существующих конструкций смесителей с горизонтальным расположением валов, представлены разработки смесительных машин, позволяющих интенсифицировать процесс смесеобразования. Предложена новая конструкция смесителя с горизонтальным расположением валов, которая обеспечивает интенсификацию процесса смешивания за счет установки стержневых элементов цилиндрической формы перед рабочей поверхностью лопасти. Приведены результаты, полученные при симуляции процесса смешивания двух компонентов в программной среде EDEM, подтверждающие эффективность разработанной конструкции.

POSSIBILITIES TO INCREASE THE INTENSIFICATION OF THE MIXING PROCESS IN MIXERS WITH HORIZONTAL SHAFTS

Kikin N.O.

Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod

Keywords: intensification, blades, mixing process, mixer, rod elements, horizontal arrangement of shafts.

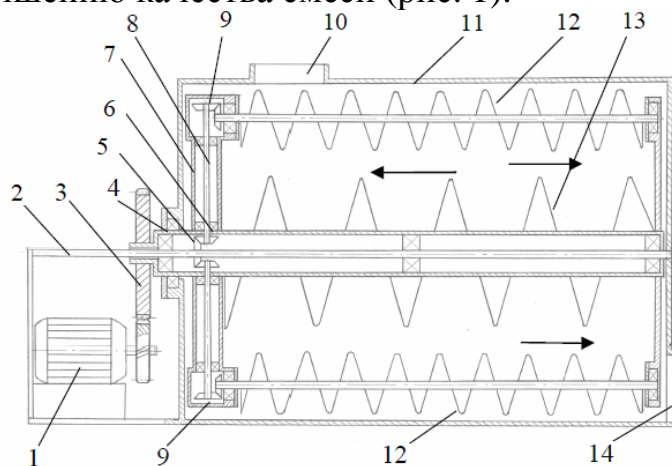
Abstract. The analysis of the existing designs of mixers with horizontal shafts is carried out, the developments of mixing machines are presented, which make it possible to intensify the mixing process. A new mixer design with a horizontal shaft arrangement is proposed, which provides intensification of the mixing process by installing cylindrical rod elements in front of the working surface of the blade. The effectiveness of the new design is demonstrated by simulating the mixing process in the EDEM software environment.

Потребительские свойства строительных материалов и изделий, таких как бетон, стеновые панели, керамический и силикатный кирпичи и т.п., зависят от качества смешивания компонентов при их изготовлении.

С целью повышения качества смесеобразования исследователи предлагают разнообразные конструкции смесителей. Среди этих машин следует выделить смесители с горизонтальным расположением валов, которые обладают достаточно большой производительностью, универсальностью применения. Помимо этого, они просты в обслуживании и имеют несложную конструкцию. Однако они обладают рядом недостатков, среди которых низкая эффективность процесса смешивания.

В настоящее время существует большое количество способов, позволяющих повысить эффективность процесса смешивания материалов в смесителях с горизонтальным расположением валов. Рассмотрим несколько из них.

Для повышения интенсивности массообмена между компонентами смеси была предложена конструкция смесителя, в котором организовано планетарное движение рабочих органов. Авторами предложена конструкция [1], которая при помощи размещения конических шестерен внутри полых валов позволяет приводить во вращение периферийные валы в рабочей камере, тем самым повышая суммарное воздействие рабочих органов на смешиваемые компоненты, что приводит к улучшению качества смеси (рис. 1).



- 1 – электродвигатель; 2 – неподвижная ось; 3 – цилиндрическая передача; 4 – полый приводной вал; 5 – неподвижное коническое колесо; 6 – коническая шестерня; 7 – полая стойка; 8 – выходной вал; 9 – конический редуктор рабочего органа; 10 – загрузочное окно; 11 – цилиндрический горизонтальный корпус смесителя; 12 – периферийный, планетарно вращающийся шнек; 13 – центральный шнек; 14 – выгрузное окно

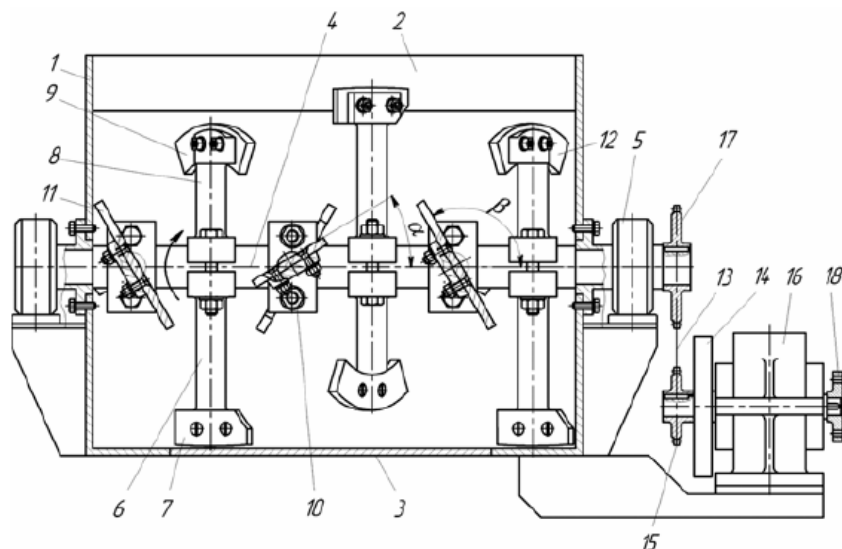
Рис. 1. Смеситель с планетарным движением рабочих органов

Данная конструкция смесителя обеспечивает высокие интенсивность процесса смешивания и качество смеси. Однако при этом усложняется конструкция, добавляется большое количество сборочных единиц и деталей (конические редукторы, стойки, шестерни), усложняется процесс сборки и обслуживания смесителя. Кроме этого, надежность планетарного механизма невелика, что может привести к его поломке и выхода из строя.

Одним из способов повышения интенсификации смешивания и качества смеси является использование вибрационного воздействия лопастями на смешиваемые компоненты. Данное воздействие, к примеру, на бетонную смесь, позволяет разрушать слипшиеся агломераты из цементного теста, а также уменьшает вязкость смеси, что позволяет снизить энергозатраты на процесс смешивания. Предложенная конструкция смесителя с вибрационным воздействием на смесь представлена на рисунке 2 [2, 3].

Предложенная конструкция смесителя снабжена вибрационным возбудителем крутильных колебаний, который состоит из цепной передачи 13 и маховика 14. Колебания возникают за счет применения многогранной формы звездочки цепной передачи (рис. 3).

Такая конструкция одновального лопастного смесителя позволяет интенсифицировать процесс перемешивания, повышать качество смеси за счет разрушения агломератов из слипшихся частиц. Однако среди недостатков следует выделить низкую надежность и работоспособность цепной передачи из-за её постоянной работы при переменных скоростях.



1 – корпус; 2 – загрузочное отверстие; 3 – заслонка; 4 –лопастной вал; 5 – подшипник;
 6, 8 – стойки; 7 – периферийная лопатка; 9 – внутренняя лопатка; 10 – резьбовое соединение;
 11, 12 – отбойные лопатки; 13 – цепная передача; 14 – маховик; 15 – ведущая звездочка;
 16 – редуктор; 17 – ведомая звездочка; 18 – муфта
 Рис. 2. Смеситель с виброимпульсным приводом

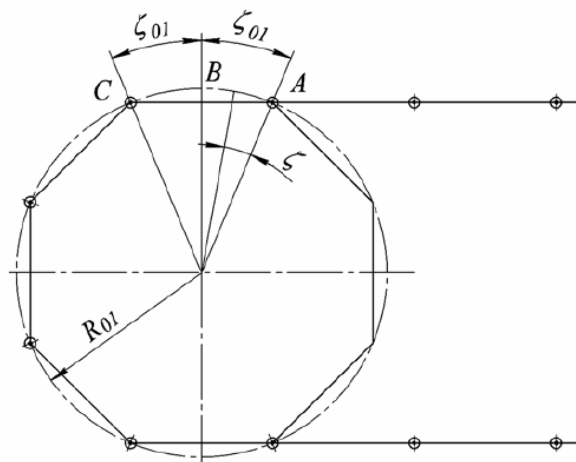
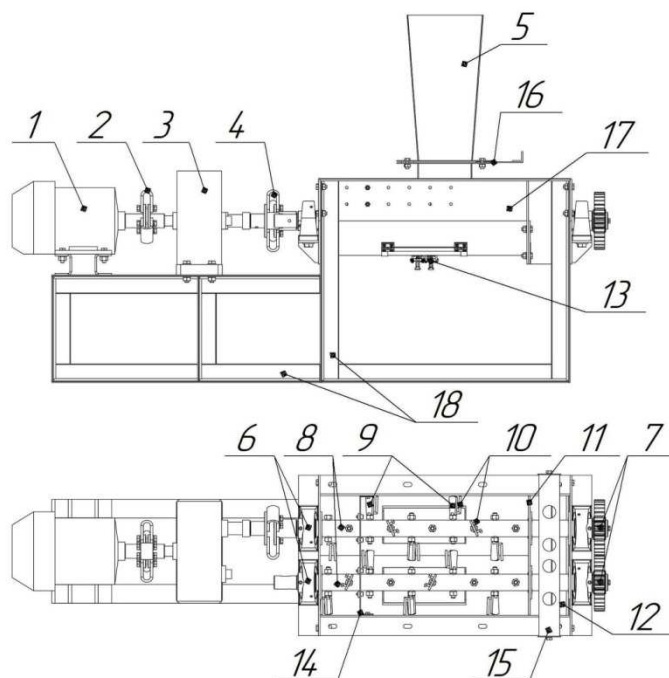


Рис. 3. Схема цепного возбуждителя колебаний

Исследователями [4-6] было выявлено, что при движении лопасти в среде сыпучих материалов перед её рабочей поверхностью образуется уплотнение из смешиваемых компонентов, в котором массообменные процессы идут гораздо медленнее, чем на границе образования этого уплотнения. Для того, чтобы оказать разрушающее воздействие на уплотнение из смешиваемых материалов перед рабочей поверхностью лопасти, авторами [7] была предложена конструкция смесителя, в которой перед лопастью устанавливались стержневые элементы цилиндрической формы (рис. 4). Стержневые элементы при вращении лопасти позволяют воздействовать на уплотнение, деформируя и разрыхляя его, при этом повышая качество приготавливаемой смеси.

Для оценки влияния установки стержневых элементов перед рабочей поверхностью лопасти на качество смесеобразования, в программной среде EDEM был проведен сравнительный эксперимент симуляции процесса смешивания. Симуляция смешивания проводилась на двух моделях смесителей – с установленными стержневыми элементами цилиндрической формы и без

стержневых элементов. На рисунке 5 показаны графики изменения коэффициента неоднородности в зависимости от времени смешивания для двух моделей смесителя.



- 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – муфта; 5 – загрузочный бункер;
 6 – подшипниковые опоры; 7 – шестерни-синхронизаторы; 8 – валы; 9 – лопасти;
 10 – стержневые элементы цилиндрической формы; 11 – съемная перегородка; 12 – выгрузное отверстие; 13 – выгрузные люки; 14 – перегородка; 15 – кондуктор для отбора проб;
 16 – шиберная заслонка; 17 – корпус; 18 – несущая рама

Рис. 4. Двухвальный смеситель с установленными стержневыми элементами цилиндрической формы



Рис. 5. График изменения коэффициента неоднородности в зависимости от времени симуляции процесса смешивания

Как видно из рисунка 5, в смесителе с установленными стержневыми элементами после времени симуляции смешивания $t=59$ с достигается наименьшее значение коэффициента неоднородности смеси $V_{c1}=3,71\%$. В смесителе без

стержневых элементов наименьшее значение коэффициента неоднородности смеси $V_{c2}=6,28\%$ достигается при времени симуляции смешивания $t=35$. Несмотря на более продолжительное время симуляции процесса смешивания для достижения наименьшей неоднородности готовой смеси, в смесителе со стержневыми элементами значения коэффициента неоднородности меньше, чем в смесителе без установленных стержневых элементов.

Сравнительный анализ результатов симуляции процесса смешивания в программном продукте EDEM показал, что предложенная конструкция смесителя позволяет получить более однородную смесь, чем смеситель без установленных стержневых элементов. Это дает основание для создания и исследования физической модели смесителя с установленными перед рабочей поверхностью лопастей стержневых элементов цилиндрической формы.

Список литературы

1. Горюнов С.В. Интенсификация процесса смешивания кормов путем организации планетарного и противоточного движения рабочих органов / С.В. Горюнов, Л.А. Кузнецова, Е.А. Долгова, А.В. Еськина // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2016. – №11. – С. 79-86.
2. Маслов А.Г. Бетоносмеситель с виброимпульсным приводом / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко // Технологии бетонов. – 2011. – №5-6. – С. 30-31.
3. Маслов А.Г. Разработка одновальных бетоносмесителей принудительного действия / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко. – Збірник наукових праць. – №23. – 2009. – С. 9-15.
4. Демин О.В. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе / О.В. Демин, В.Ф. Першин, Д.О. Смолин // Химия и химическая технология. – 2012. – №8. – С. 108-111.
5. Пасько А.А. Моделирование движения потоков сыпучего материала при обтекании пластины / А.А. Пасько, О.В. Демин // Математические методы в технике и технологиях: Сб. XV Междунар. науч. конф: В 10-ти т. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – Т. 10. – Секция 10. – С. 56-57.
6. Пулин В.П. Повышение энергетической эффективности бетоносмесителей циклического принудительного действия: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.16 / Пулин Вениамин Павлович. – Днепропетровск, 1984. – 174 с.
7. Патент №192657 РФ, МПК В28С 5/14, В01F 7/04. Смеситель материалов / С.И. Ханин, Н.О. Кикин. – №2019119931; заявл. 25.06.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 27. 6 с.

Сведения об авторе:

Кикин Николай Олегович – аспирант.

УДК 004.942:532

АНАЛИЗ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Хазеев Е.В., Андреевец Ю.А., Пупенко К.В.

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь

Ключевые слова: гидравлическая система, имитационная модель, программный комплекс, система с адаптацией к нагрузке.

Аннотация. Проведен сравнительный анализ программных комплексов различных производителей с точки зрения создания имитационных моделей гидравлических систем различных типов. Разработана имитационная модель гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке на базе патента на изобретение RU (11) 2 276 237(13) C2 в среде «Amesim». Разработана имитационная модель гидравлической системы снегоочистителя «Амкодор 9531» в среде «FluidSim». Установлено, что программный комплекс «FluidSim» обладает широкой библиотекой базовых элементов при создании простых гидравлических имитационных моделей, однако для построения более сложных гидравлических систем с адаптацией к нагрузке для полного анализа системы рациональнее применять программный комплекс «Amesim».

ANALYSIS OF SIMULATION MODELING OF HYDRAULIC SYSTEMS OF MOBILE MACHINES IN VARIOUS SOFTWARE COMPLEXES

Khazeyeu Y.V., Andreyevets YU. A., Pupenka K.V.

Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

Keywords: hydraulic system, simulation model, software package, load-sensing system.

Abstract. A comparative analysis of software package of various manufacturers from the point of view of creating simulation models of hydraulic systems of various types is carried out. A simulation model of the hydraulic load-sensing system has been developed based on the patent for the invention RU (11) 2,276,237(13) C2 in the "Amesim" environment. A simulation model of the hydraulic system of the Amkodor 9531 snowplow in the FluidSIM environment has been developed. It is established that the FluidSIM software package has a wide library of basic elements when creating simple hydraulic simulation models, however, for the construction of more complex hydraulic load-sensing systems, it is more rational to use the Amesim software package for a complete analysis of the system.

Введение. В современных мобильных машинах применяются все более усложненные гидравлические системы различных видов, в которых анализ значений основных параметров работы системы в период эксплуатации является затруднительной задачей. При помощи имитационного моделирования можно упростить решения задач регулирования, управления, статики, динамики, с единых методических позиций гидравлических систем, и объединить все исследования в одно ядро расчетного комплекса. В свою очередь при создании имитационной модели возникает вопрос в каком программном комплексе проводить работу. Различные производители данных пакетов программ предлагают обширную библиотеку инструментов для реализации исследования,

однако не каждый программный комплекс может подходить под конкретный анализ исследуемой гидравлической системы мобильной машины [1].

Целью работы является анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах.

Анализ имитационного моделирования в программном комплексе «FluidSim». Объектом исследования является имитационная модель гидравлической системы снегоочистителя «Амкодор 9531» созданная в программном комплексе «FluidSim» (рис. 1, а) для начальной оценки параметров системы [2].

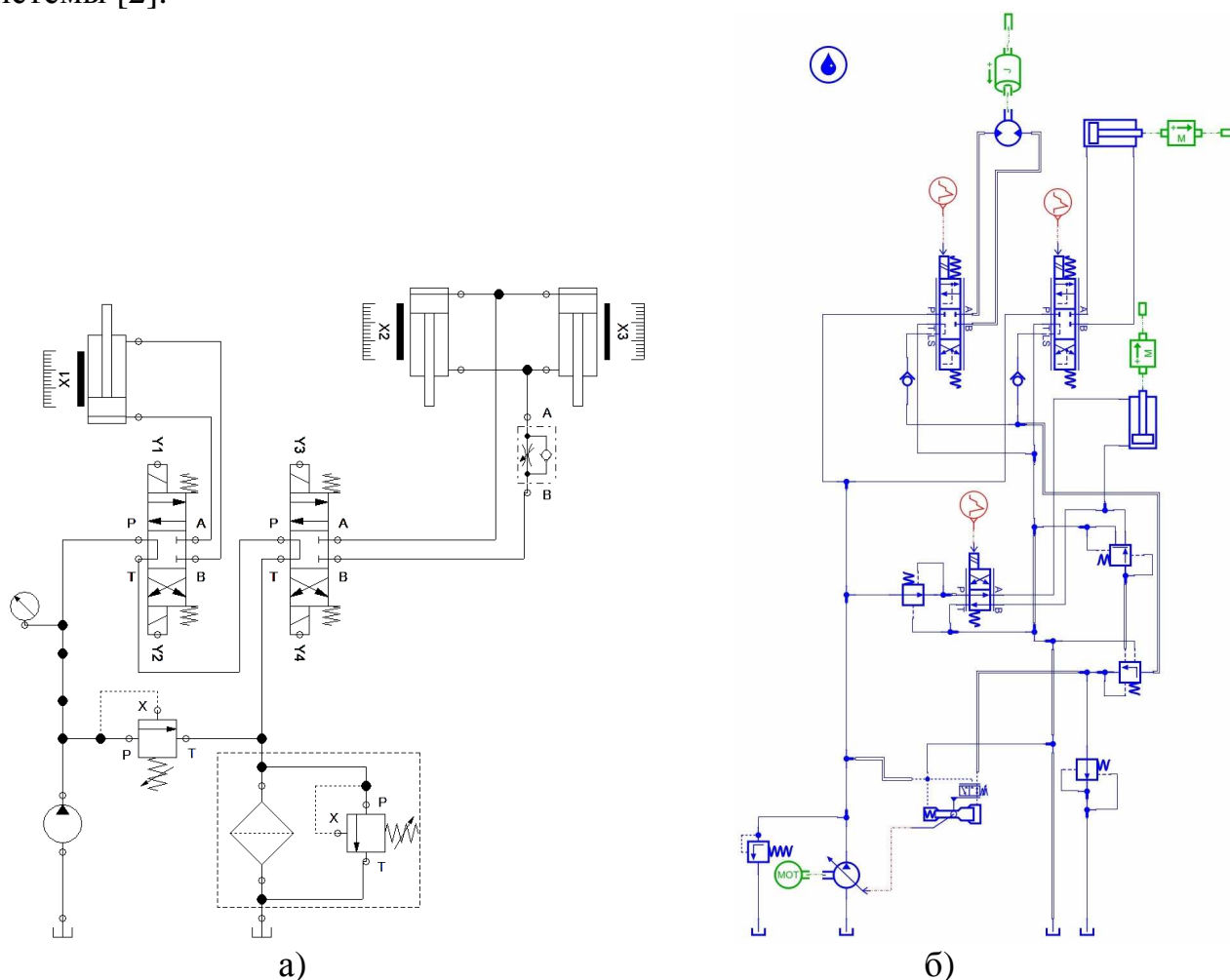


Рис. 1. Схемы гидравлические принципиальные имитационных моделей:
а) построенная в программе «FluidSim»; б) построенная в программе «Amesim»

Для моделирования имитационной модели использовались элементарные схемы гидравлических аппаратов, из библиотеки «FluidSim» (рис. 1, а). Создание системы электронного управления реализовано с помощью составления электрической схемы управления автоматического переключения управляющих электромагнитов распределителя в заданный момент времени (рис. 2).

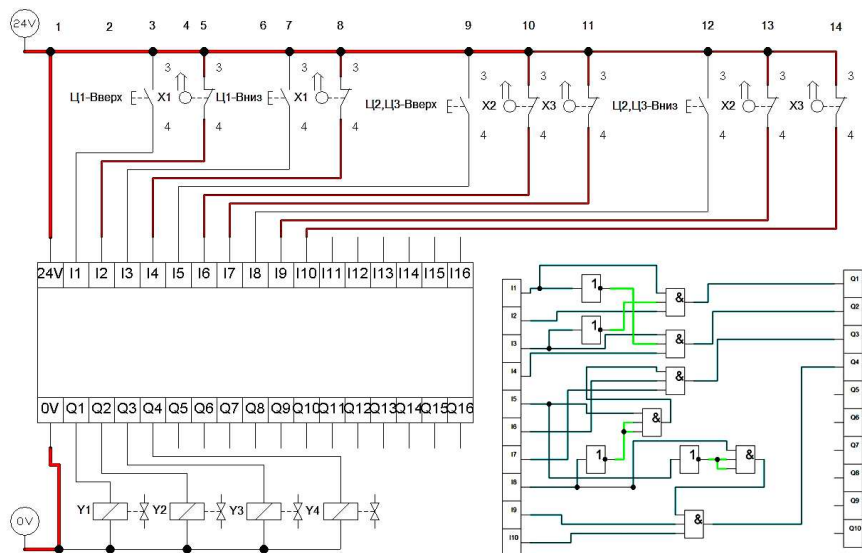


Рис. 2. Схема управления электрическая снегоочистителя «Амкодор 9531» построенная в программе «FluidSim»

В логическом модуле при помощи основных логических элементов из библиотеки «FluidSim» (рис. 2), реализуется необходимый порядок работы гидросистемы, который обеспечивает блокировку работы нескольких входных сигналов при одновременном нажатии нескольких кнопок управления, тем самым обеспечивая отсутствие сбоев в работе гидросистемы при ее управлении. Таким образом элементы гидравлической (распределители) и электрической (электромагниты) схем создают электрогидравлическую схему привода снегоочистителя «Амкодор 9531».

В режиме моделирования проводится анализ гидросистемы на основе созданной имитационной модели. Результатом создания модели в среде «FluidSim» являются графики работы цилиндров рабочего органа снегоочистителя и цилиндра поворота кожуха ротора (рис. 3) [3].

Таким образом программный комплекс «FluidSim» обладает рядом достоинств при создании имитационной модели, а именно простым интерфейсом, широкой библиотекой гидравлических и пневматических элементов для создания принципиальных схем, и особенностью создания электрогидравлических схем, в том числе при помощи программированных логических контроллеров. Так же данный пакет обладает режимом моделирования, в котором можно проанализировать основные параметры работы системы.

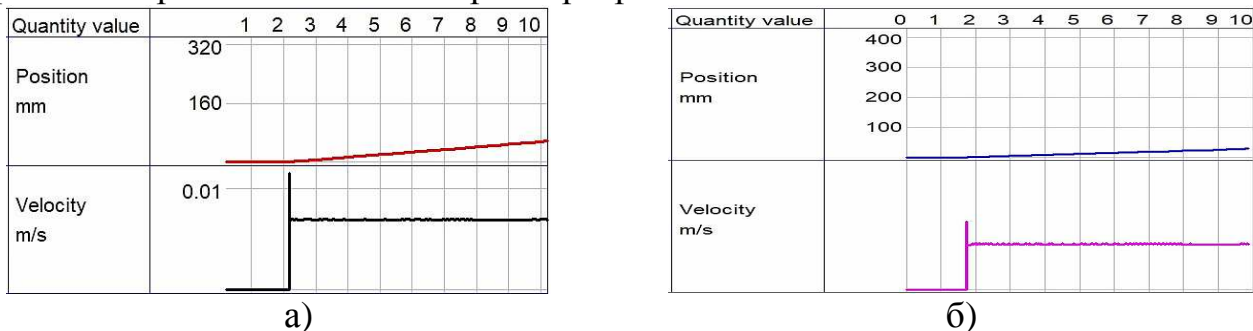


Рис. 3. Графики хода и скорости гидроцилиндров снегоочистителя «Амкодор 9531»: а) поворота кожуха ротора; б) подъема рабочего органа

Анализ имитационного моделирования в программном комплексе «Amesim». Объектом исследования является имитационная модель гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке на базе патента на изобретение RU (11) 2 276 237(13) С2 (рис. 1, б), созданной в программном комплексе «Amesim» для анализа значений основных параметров работы системы в различных условиях эксплуатации [4].

Ключевой особенностью программного комплекса «Amesim» является возможность создания имитационных моделей гидравлических систем с адаптацией к нагрузке за счет большого функционала библиотеки элементов. В связи с этим комплекс «Amesim» более разумно применять для анализа имитационных моделей гидросистем с адаптацией к нагрузке в отличие от комплекса «FluidSim».

В программном комплексе «Amesim» в режиме моделирования можно наблюдать работу гидравлической системы на основе созданной имитационной модели. Результатом создания модели в среде «Amesim» является график полученных зависимостей величин давления от времени основных элементов гидравлической системы с объемной с адаптацией к нагрузке (рис. 4).

Таким образом для создания имитационной модели в среде «Amesim» в начале работы строим принципиальную схему исследуемой гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке (рис. 1, б). Затем задаем начальные параметры работы гидравлической системы, и требуемую нагрузку на потребителях. После указания в программе всех требуемых значений и сбора принципиальной схемы исследуемой гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке проводится симуляция работы системы в автоматическом режиме, [5]. После завершения расчета и симуляции работы системы замеряются полученные значения основных рабочих параметров в определенных условиях эксплуатации и в заданный момент времени (рис. 4).

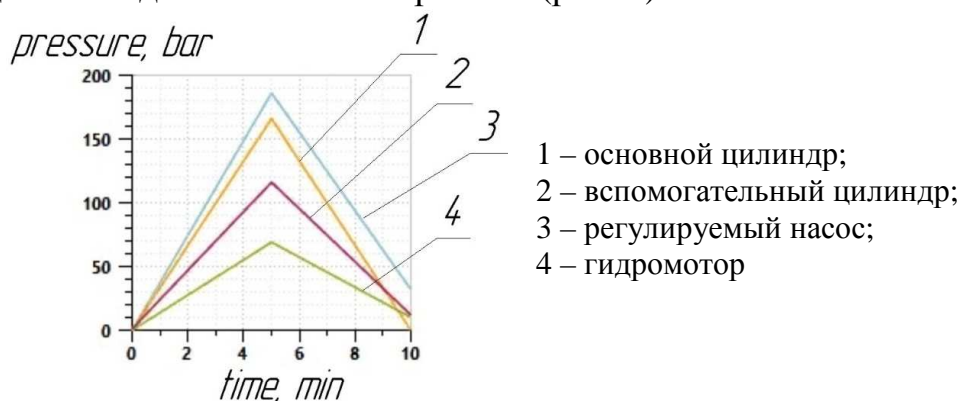


Рис. 4. Графики изменения давления с течением времени для основных элементов гидравлической системы с объемной с адаптацией к нагрузке

Заключение. В данной работе был проведен анализ имитационного моделирования в программных комплексах «FluidSim» и «Amesim». Определено, что программа «FluidSim» обладает широкой библиотекой базовых элементов при создании простых гидравлических и пневматических имитационных моделей. Особенностью работы является возможность параллельно создавать электрические схемы управления пневмогидравлическими системами и задавать

последовательность действия при помощи программируемых логических контроллеров. Однако для создания имитационных моделей более сложных гидравлических систем программа «*FluidSim*» не может обеспечить полный анализ. Выявленную проблему может решить программный комплекс «*Amesim*» который позволяет создавать имитационные модели практически любой сложности, кроме того, дает возможность создания новых сложных элементов из простейших составляющих. Программный комплекс «*Amesim*» так же позволяет производить более сложные исследования по нескольким величинам, характеризующим рабочий процесс в гидро- или пневмоприводе. В связи с этим данная программа сложнее для понимания и требует достаточно высокой подготовки специалиста и наличия базовых знаний английского языка.

Список литературы

1. Боровиков А.В. Исследование работы гидропривода с помощью программы *fluidsim* // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 5-1.
2. Снегоочиститель шнекороторный «Амкодор 9531»: Руководство по эксплуатации 9531.00.00.000 РЭ - ОАО «Амкодор», Минск 2011. – 70с.
3. Хазеев Е.В. Имитационное моделирование гидросистемы снегоочистителя «Амкодор 9531» в среде «*FluidSim*» / Е.В. Хазеев, Д.Л. Стасенко, А.А. Гинзбург, Ю.А. Андреевец // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник тезисов докладов 5-ой международной научно-практической конференции – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2021. – С. 109-111.
4. Патент № 2276237 РФ. Гидросистема мобильной машины / Баторшин В.П, Голоскин Е.С., Петров А.М. – Опубл. 10.05.2006, Бюл. №13.
5. Гимадиев А.Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014. – 136 с.

Сведения об авторах:

Андреевец Юлия Ахатовна – старший преподаватель;

Хазеев Егор Валерьевич – ассистент;

Пупенко Константин Владимирович – студент.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Хадеев Р.Г.

г. Обнинск

Ключевые слова: асимметричный планетарный дифференциал; генератор; синхронный электродвигатель; трансмиссия электрического транспорта.

Аннотация. В статье рассматривается использование синхронного тягового электродвигателя на электротранспорте с электромеханической трансмиссией, состоящей из асимметричного дифференциала, соединенного с генератором электрического тока таким образом, что при движении транспортного средства вращение ведомого вала состоит из вращения, передаваемого через шестерни дифференциала и вращения всего дифференциала вокруг оси двигателя. При этом передаточное отношение от вала электродвигателя на ведомый вал складывается из этих двух вращений.

ELECTROMECHANICAL DRIVE FOR ELECTRIC TRANSPORT

Khadeev R.G.

Obninsk

Keywords: asymmetric planetary differential; generator; synchronous electric motor; transmission of electric vehicles.

Abstract. The article discusses the use of a synchronous traction motor in electric electric vehicles with an electromechanical transmission consisting of an asymmetric differential connected to an electric current generator in such a way that when the electric vehicle is moving, the rotation of the driven shaft consists of rotation transmitted through the gears of the differential and rotation of the entire differential around the axis engine. In this case, the gear ratio from the motor shaft to the driven shaft is the sum of these two rotations.

Для оптимизации привода электротранспорта необходимо решение двух основных проблем: Обеспечение возможности работы тягового электродвигателя в оптимальном режиме в процессе всего движения и передачу крутящего момента от электродвигателя к ведущему колесу с минимальными потерями. Трансмиссия транспортного средства также часто решает проблему увеличения крутящего момента в несколько раз на ведомом валу. Практически для любого электродвигателя, отклонение скорости вращения ротора от его оптимальных оборотов приводит к снижению его основных параметров и экономичности. Необходимо преодолеть очень важное противоречие: Обороты колеса должны изменяться в широком диапазоне, а обороты двигателя должны по возможности оставаться постоянными и оптимальными. Также проблемой является то, что у экономичных электродвигателей пусковой крутящий момент относительно мал и, для обеспечения его достаточной величины приходится увеличивать его мощность, что приводит к сложности его размещения и увеличению веса и стоимости транспортного средства. Известные способы согласования оборотов вала электродвигателя и колеса приводит к большим потерям.

Привод электрического транспортного средства обычно включает тяговый электродвигатель, электронные и электрические элементы управления

мощностью и оборотами, а также трансмиссию. От этих устройств в основном зависит оптимальность работы всего комплекса. Предлагаемая в статье конструкция позволяет решить некоторые из этих проблем электротранспорта. Особенно это устройство может быть полезным для современных скоростных поездов, так как для управления мощностью тяговых двигателей на современных скоростных поездах применяется дорогостоящая элементная база, в которой нет необходимости в конструкции, которая описана в статье. При использовании серийных синхронных двигателей достигается оптимальное использование на всех режимах движения [1]. Но главное преимущество трансмиссии то, что при постоянных оборотах вала электродвигателя обороты ведомого вала могут изменяться в очень широких пределах и, соответственно, при этом крутящий момент на ведомом валу может многократно увеличиваться. Трансмиссия работает как автоматическая коробка скоростей. Такого эффекта не могут достичь используемые в настоящее время средства управления работой электродвигателя. Ни одно управляющее пуском и разгоном устройство не увеличивает его крутящий момент, а при увеличении тока в восемь – десять раз, крутящий момент электродвигателя увеличивается только в 1,4 раза. При этом греются обмотки, разрушаются от вибрации подшипники. В принципе предлагаемая трансмиссия может быть использована с любым электродвигателем, но очень выгодный, по своим характеристикам, синхронный мотор не может использоваться оптимально без неё. Синхронный электродвигатель имеет несколько неоспоримых преимуществ [2]. Он работает при высоком значении коэффициента мощности. Имеет более высокий КПД по сравнению с асинхронным той же мощности. Сохраняет нагрузочную способность при снижении напряжения в сети, обладают меньшей чувствительностью к возможным колебаниям напряжения сети, нежели асинхронные. Максимальный момент синхронного двигателя является пропорциональным имеющемуся напряжению сети, а критический момент асинхронного двигателя пропорционален напряжению в квадрате. Перегрузочную способность синхронного двигателя можно увеличить, если повысить ток возбуждения. Способ преобразования крутящего момента и оборотов такой трансмиссии заключается в том, что вместо обычного редуктора от электродвигателя к колесу используется асимметричный дифференциал, который имеет вход, подключенный к валу электродвигателя, выход дифференциала, передающий больший крутящий момент, соединен с ведомым валом, а второй выход дифференциала соединен со статором генератора, установленном на валу электродвигателя и свободно вращающимся на валу. Ротор генератора соединен с валом электродвигателя [3]. Статор увлекается за ротором с силой, пропорциональной току нагрузки в электрической цепи генератора. Это приводит к частичному блокированию дифференциала, и весь дифференциал вращается на валу. Если представить, что ротор и статор не проскальзывают друг относительно друга (чего конечно не бывает), то на ведомом валу будут обороты и крутящий момент электродвигателя. Если ток в цепи генератора мал, или нагрузка на ведомом валу увеличивается, сила сцепления между статором и ротором мала и, статор тормозится тем выходом

дифференциала, с которым он соединен, так как он стремится вращаться в сторону обратную вращению вала электродвигателя, скольжение между ротором и статором увеличивается. Передача вращения в большей степени происходит через шестерни дифференциала, крутящий момент на ведомом валу увеличивается, а обороты его уменьшаются. Когда статор так затормозится, что его вращение остановится, всё вращение от двигателя будет передаваться через шестерни, крутящий момент достигнет максимума. Когда выход дифференциала со статором будет вращаться в сторону обратную вращению вала привода, будет расти передаточное отношение при максимальной величине крутящего момента. При старте транспортного средства, при постоянных и оптимальных оборотах вращения тягового двигателя, ведущие колеса ещё не вращаются. Но на них действует максимальный крутящий момент. Крутящий момент на ведомом валу зависит от соотношения силы сопротивления вращения колеса и силы тока вырабатываемой генератором, с учетом асимметричности дифференциала, с учетом его передаточного отношения [4]. Ток, выработанный генератором, может использоваться системами транспортного средства, в том числе для возбуждения ротора тягового двигателя, а также возвращаться в сеть. Потери при таком способе работы трансмиссии минимальны. Оба выхода дифференциала вращают ведомый вал в одну сторону. Один выход вращает его через шестерни дифференциала, а второй с проскальзыванием, за счет которого устанавливается скорость вращения и крутящий момент на ведомом валу. Потери определяются коэффициентом полезного действия генератора и трением в зубчатых передачах дифференциала.

На рисунке 1 показана схема такой трансмиссии, для примера показанной на основе дифференциала типа «Механизм Давида».

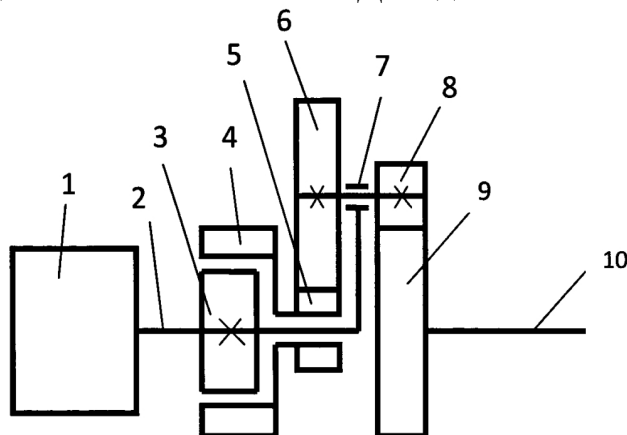


Рис. 1. Схема трансмиссии

Вал 2 синхронного электродвигателя 1 соединен с ротором генератора 3. Статор генератора 4 имеет возможность вращаться вокруг вала 2 и соединен с центральным колесом 5, которое также свободно вращается на валу электродвигателя. По центральному колесу 5 обкатывается сателлит 6, установленный на водиле 7, которое соединено с валом 2. Сателлит 6 жестко соединен с сателлитом 8, который обкатывается по центральному колесу 9, соединенному с выходным валом электродвигателя 10. При вращении вала 2 водило 7 вращает колесо 9 в ту же сторону, а колесо 5 стремится вращать в

сторону обратную. На него от дифференциала передается меньший крутящий момент. При наличии в цепи генератора возбуждения электрической нагрузки, статор 4 генератора увлекается силой индукции за его ротором 3 и частично блокирует дифференциал, заставляя вращаться быстрее вокруг оси двигателя весь дифференциал и выходной вал 10, соединенный с центральным колесом 9. При увеличении нагрузки на выходном валу 10 выходной вал тормозится, скольжение между статором и ротором генератора возбуждения увеличивается, статор генератора возбуждения может остановиться и даже начать вращение в обратную сторону. При этом на выходном валу будет реализовываться максимальный крутящий момент, превышающий крутящий момент электродвигателя кратно передаточному отношению элементов дифференциала.

Список литературы:

1. Патент № 2611667 РФ. Устройство для управления крутящим моментом и оборотами синхронного двигателя / Хадеев Р.Г. – Заявка № 2015136845, 31.08.2015; опубл. 28.02.2017, Бюл. № 7.
2. Khadeev R.G. Gearing Of An Electric Vehicle // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). 2020. Vol. 7. Issue 8. P. 12505-12506.
3. Khadeev R.G. Electromechanical transmission // Applied Science and Innovative Research. 2021. Vol. 5, No. 1. P. 53-55.
4. Патент № 2726378 РФ. Устройство преобразующее обороты и момент вращения двигателя / Хадеев Р.Г. – Заявка № 2020102195, приоритет от 20.01.2020; опубл. 13.07.2020, Бюл. №20.

Сведения об авторе:

Хадеев Равиль Гафиевич – к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

Иванова Г.В., Ли Цзе, Тарасенко Е.А.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: фрикционные муфты, усилие прижатия, изнашивание.

Аннотация. Работа посвящена исследованию характеристик фрикционных муфт. Целью работы является повышение долговечности оборудования за счет применения конструктивных решений по модернизации муфт, направленных на повышение износостойкости его рабочих поверхностей. Для фрикционной муфты получены зависимости напряжений ведущего и ведомого дисков от силы прижатия, коэффициента трения на поверхности пар трения, выполненных из различных конструкционных материалов, формы дисков.

STUDY OF CHARACTERISTICS OF FRICTION CLUTCH ELEMENTS

Ivanova G.V., Li Jie, Tarasenko E.A.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: friction clutches, pressing force, wear.

Abstract. The work is devoted to the study of the characteristics of friction clutches. The aim of the work is to increase the durability of equipment through the use of design solutions for the modernization of couplings aimed at increasing the wear resistance of its working surfaces. For a friction clutch, the dependences of the stresses of the driving and driven disks on the pressing force, the coefficient of friction on the surface of friction pairs made of various structural materials, and the shape of the disks are obtained.

Широкое распространение в машиностроение получили различные конструктивные исполнения фрикционных муфт. Они обеспечивают плавное сцепление ведомого вала с вращающимся ведущим, при перегрузках должны пробуксовывать, предохраняя механизмы от поломок [1, 2]. На рисунке 1 показана принципиальная схема многодисковой фрикционной муфты [3].

Материал фрикционной муфты должен обладать большим коэффициентом трения, высокой прочностью и износостойкостью, высокой термостойкостью и коррозионной стойкостью, теплопроводностью. Работы по исследованию различных свойств материалов представлены в работах [4, 5].

Фрикционная муфта может включаться при любых различных скоростных режимах, при этом зацепление относительно стабильно, удары и вибрация невелики, а поверхность трения будет скользить при перегрузке, что может предотвратить повреждение деталей, но относительное скольжение фрикционного диска приводит к износу, сокращая срок службы муфты.

В работе выполнен расчет механических характеристик дисков в зависимости от усилия прижатия, формы диска, материалов. При расчете использовалась программа Ansys [6, 7].

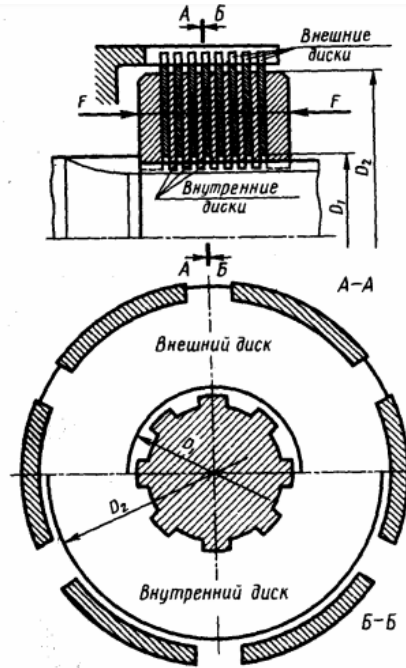


Рис. 1. Принципиальная схема многодисковой фрикционной муфты

Кинетическая энергия передается за счет трения между ведомым и ведущим диском. Фрикционная пластина сцепления установлена на ведомом диске. При работе нажимной диск создает трение с фрикционной пластиной для управления работой ведомого диска сцепления.

Сила сжатия дисков при включении муфты:

$$F = \frac{T_{расч}k}{fR_mz}, \text{ Н,}$$

где $T_{расч}$ – расчетный вращающий момент, передаваемый муфтой; R_m – средний радиус поверхности трения дисков; f – коэффициент трения; z – число пар трущихся дисков; $k=1,4$.

На рисунке 2 представлены расчетная модель и условия нагружения дисков. Ведомый диск изготовлен из фрикционного материала, ведущий – из стали.

Диски имеют форму кольца, которое наиболее подходит для анализа методом конечных элементов.

Наружный диаметр ведомого диска и ведущего диска составляет 110 мм, а внутренний диаметр – 82 мм. Толщина составляет 3,5 мм.

Усилие нажатия прикладывается к активному диску, который вращается со скоростью $\omega = 50$ рад/с, диски сжимаются до совместного вращения.

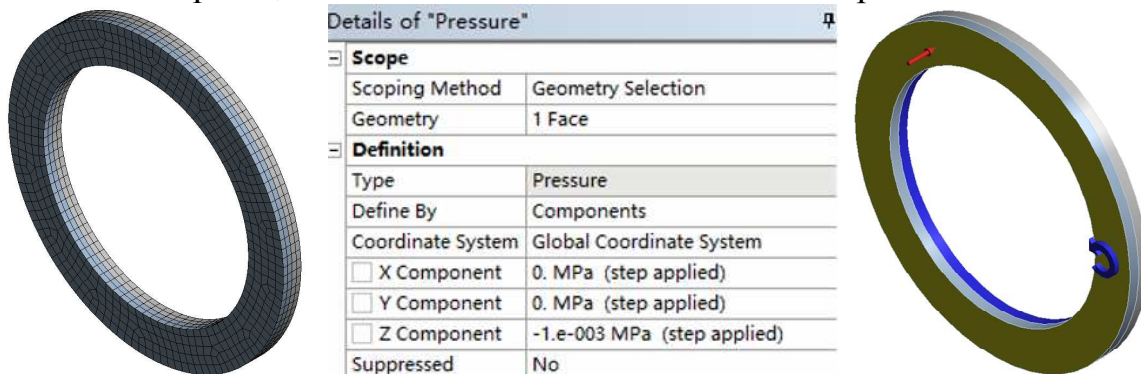


Рис. 2. Модель и условия дисков

Ведущий диск выполнен из стали, а ведомый – из металлокерамики, чугуна, асбеста. В таблице 1 показаны характеристики материалов дисков.

Табл. 1. Характеристики материалов дисков

Материал	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, E , МПа	Коэффициент Пуассона μ
Сталь 45	7890	200	0.269
Металлокерамика	7000	120	0.3
Чугун	7350	120	0.25
Материалы на основе асбеста	2000	190	0.287

В работе проведены исследования по определению эквивалентных напряжений, возникающих в процессе контакта и вращения дисков с одинаковой угловой скоростью и перемещения точки на среднем радиусе диска.

Для заданных условий величина определены напряжения для фрикционной пары «сталь 45 – металлокерамика», «сталь 45 – чугун», «сталь 45 – асбест». В результате сравнительного анализа установлено, что распределение напряжений фрикционных материалов на основе асбеста не такое равномерное, как у металлокерамики и чугуна (рис. 4-6).

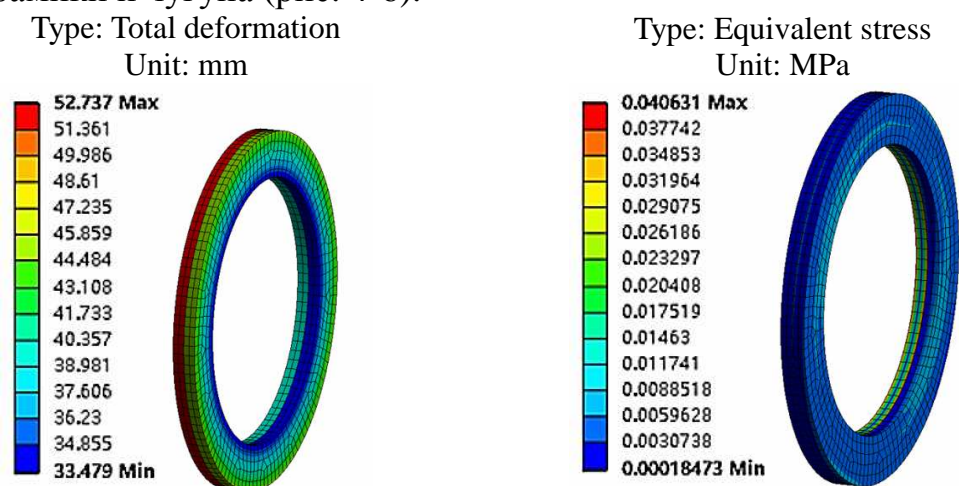


Рис.4 Диаграмма напряжений пары «сталь-металлокерамика»

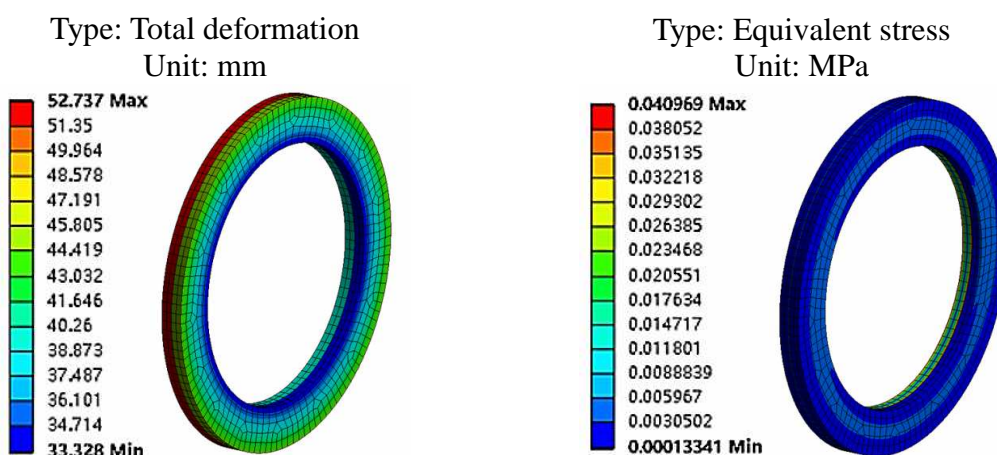


Рис 5. Диаграмма напряжений пары «сталь-чугун»

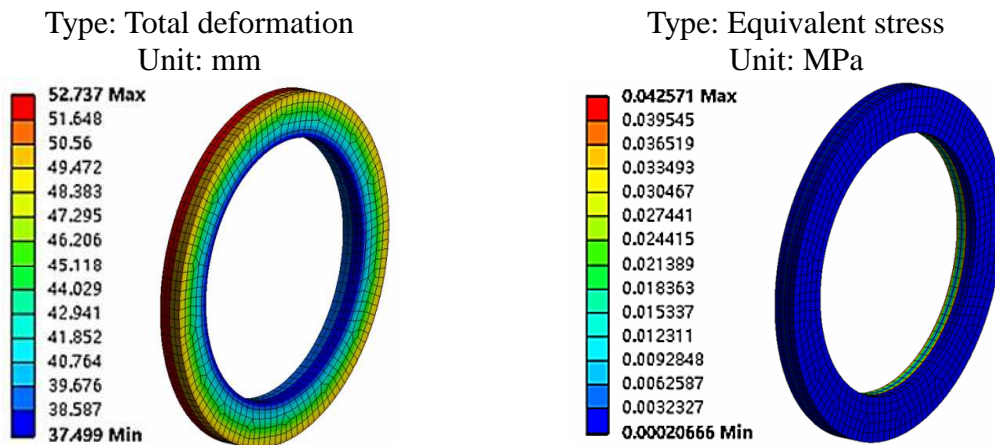


Рис 6 Диаграмма напряжений пары «сталь-асбест»

При увеличении и уменьшении усилия прижатия в 2 раза для пары «сталь 45 – металлокерамика» анализ полученных данных показал, что чем больше сила, тем величина напряжений и скорость отклика фрикционного диска выше, а для достижения совместного вращения требуется меньше времени (рис. 7).

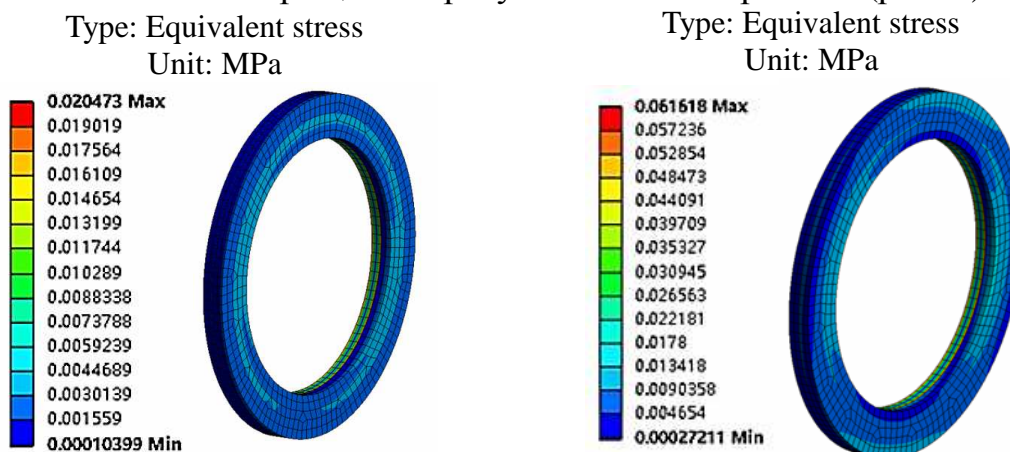


Рис 7. Диаграмма напряжений от усилий нажатия

Конечно-элементный анализ напряжений при изменении формы диска: в диске выполнены отверстия (рис. 8) и канавки (рис. 9) позволил установить, что наличие отверстий во фрикционном диске или радиальных канавок уменьшает площадь трения контакта, тем самым изменяя величину напряжение между двумя дисками (рис.4,8,9).

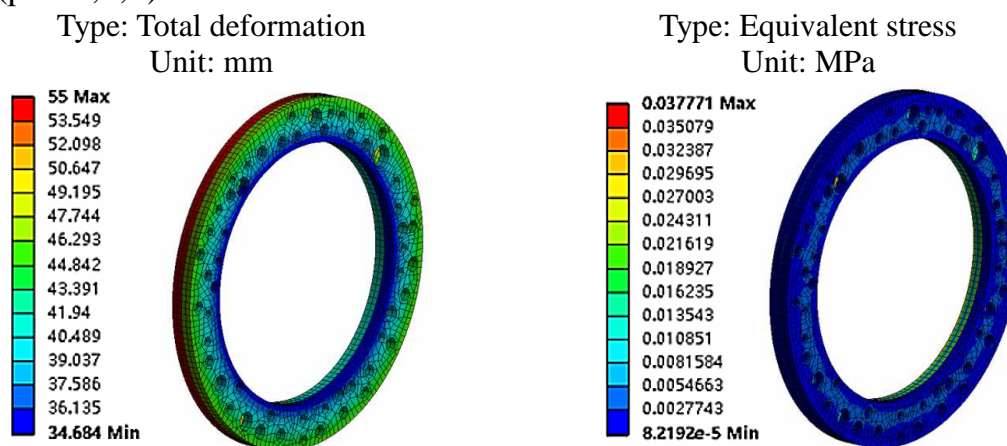


Рис.8. Форма диска с отверстиями

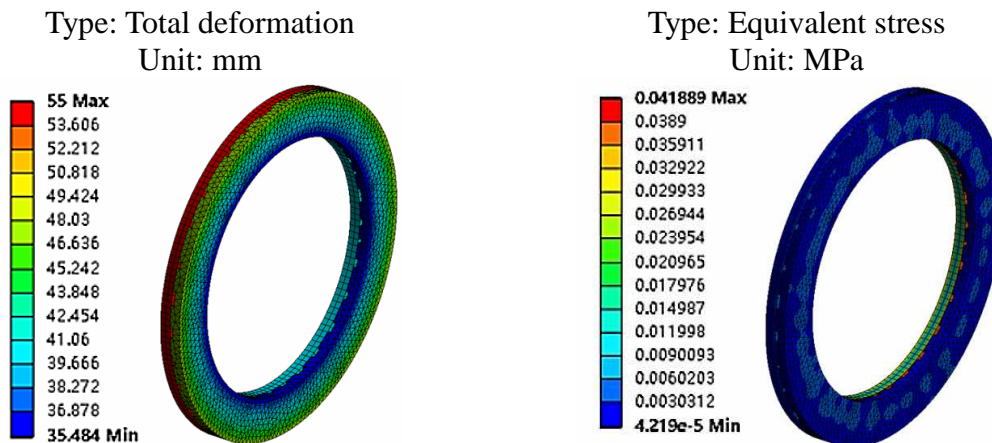


Рис. 9. Форма диска с канавками

Полученные данные могут быть использованы при выборе и обосновании параметров фрикционной муфты, что позволит повысить долговечность и надежность оборудования.

Список литературы

1. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб для вузов. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1986. – 359с.
2. Кукаленко Б.Д.. Детали машин и основы конструирования. Муфты приводов. Конструкции и расчет соединительных муфт [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.Д. Кукаленко, Е.В. Заборский; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – URL: <http://elibr.spbstu.ru/dl/2/s16-87.pdf>.
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Шаповалова О.А. Исследование механической и тепловой нагруженности фрикционов гидромеханической передачи / О.А. Шаповалова, В.П. Тарасик, Ю.С. Романович, А.В. Лешок. // Автомобильная промышленность. 2014. №2. С. 15.
5. Скотникова М.А., Шашерина С.А., Паитова О.В., Цветкова Г.В. Триботехнические свойства наноструктурированных медно-никелевых покрытий // Современное машиностроение. Наука и образование. 2018. № 7. С. 370-382.
6. Огородникова О.М. Статический конструкционный анализ. Ansys: [Электронный ресурс] – https://mircompozitov.ucoz.ru/05_ansys_workbench.
7. Елисеев К.В., Кузин А.К., Орлов С.Г. Вычислительная механика. Вычислительный практикум в системе ANSYS: учебное пособие [Электронный ресурс] – <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/si20-389.pdf/view>

Сведения об авторах:

Иванова Галина Валерьевна – старший преподаватель Высшей школы машиностроения, Института машиностроения, материалов и транспорта», инженер-исследователь международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic»;

Ли Цзе – магистрант;

Тарасенко Елена Александровна – к.т.н., доцент Высшей школы машиностроения, Института машиностроения, материалов и транспорта.

ЗАХВАТНО-СТЫКОВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ракшин Е.А.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: мехатроника, стыковка, манипулятор, теория машин и механизмов.

Аннотация. В работе предложен вариант стыковочного механизма, выполняющий прижим стыкуемой части через плоский одноподвижный шарнирный механизм. Конструкция стыковочного агрегата предполагает работу в условиях с повышенной загрязнённостью. Выполнен кинематический анализ траектории движения зажима и проведён силовой расчёт эквивалентного напряжения привода винтовой пары. На основе проведённого анализа предполагается работоспособность предлагаемого устройства.

GRAPPLE-DOCKING DEVICE OF THE MANIPULATION SYSTEM

Rakshin E.A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg

Keywords: mechatronics, docking, manipulator, theory of machines and mechanisms.

Abstract. The article proposes a variant of the docking mechanism, which performs the grapple of the joined part through a flat single-moving hinged mechanism. The design of the docking units assumes operation in conditions with increased contamination. A kinematic analysis of the trajectory of the movement of the grapple and a dynamics calculation of the equivalent tension of the drive of the screw pair was carried out. Based on the analysis performed, the operability of the proposed device is assumed.

Введение. Конструкции распространённых в манипуляторах захватных устройств зависят от окружающих условий и требований при захвате. Помимо захвата объектов применяются стыковочные механизмы (СТМ), предназначенные для захвата профильных поверхностей с большими усилиями, обеспечивающие надёжное соединение. Сочетание обоих устройств предпочтительно и представляет собой комплексный механизм – захватно-стыковочное устройство (ЗСУ). ЗСУ может использоваться на мобильных исследовательских платформах с целью мониторинга и смены вышедшего из строя обслуживаемого оборудования. В первую очередь, подобные решения применимы в экстремальных условиях, например, в Арктике.

Стоит отметить области применения СТМ. Широко распространённые в космической технике стыковочные устройства [1] работают в условиях невесомости, что накладывает ограничения на работоспособность. Небольшие смещения могут привести к уходу стыкуемого агрегата, поэтому такие конструкции имеют сложную кинематику. Альтернативные СТМ в космосе применяются для крупных объектов, например, многозвенные устройства для стыковки космических кораблей с МКС или для соединений с малыми габаритами [2-4].

Конструкция СТМ с опорой лишена проблемы ухода пассивного модуля, по причине чего стыковка выполняется быстрее, однако появляются проблемы с

обеспечением силового отказоустойчивого соединения. В данной работе производится разработка кинематики только для стыковочного агрегата ЗСУ, так как захватное устройство представляет собой простой параллельный схват, кинематика которого опускается.

Актуальность. Стоит отметить актуальность данной темы, так как в экстремальных условиях наибольший приоритет отдаётся автономным устройствам, работающим без присутствия человека. Описываемое в данной статье устройство выполняет стыковку и захват в автономном режиме и может быть применено на мобильных робототехнических платформах.

Постановка задачи. Для редкого обслуживания удалённого оборудования в Арктической зоне, например, нефтяных станков-качалок, систем ретрансляции сигналов и т.п., предпочтительными являются автономные РТС. В труднодоступной зоне создаётся автономная база, внутри которой размещается парк из обслуживающих мобильных роботов. На базе хранятся сменные рабочие органы и расходные припасы. В ожидании экспедиции роботы находятся в свёрнутом состоянии и обеспечиваются электроэнергией и теплом.

При использовании тяжёлых инструментов для раскопки снега и земли около обслуживаемого оборудования предъявляется требование по высокой несущей способности манипулятора. Для усиления предлагается производить не только стыковку с рабочим инструментом, но также и с корневым шарниром манипулятора. Усиленный корневой шарнир может управлять наклоном рабочего органа. Такая двухсторонняя стыковка может быть применена при соединении двух одинаковых РТС или РТС с прицепом (рис. 1а). Корневой шарнир играет роль активной подвески, способной управлять взаимным положением бортовой мобильной платформы и прицепа при преодолении препятствий.

При работе устройства как стыковочного агрегата используются только стыковочные механизмы, причём последовательность зажатия ответных поверхностей происходит не одновременно. Сначала производится стыковка СТМ с инструментом, затем – с корневым шарниром. Для экономии энергии оба стыковочных агрегата и захватное устройство работают от одного привода (рис. 1б). Разную последовательность можно обеспечить с помощью передаточных отношений (кинематика) или с помощью стыковочных агрегатов, вынесенных на разное расстояние (геометрия).



СА_{1,2} – стыковочные агрегаты; Д – двигатель; ЗУ – захватное устройство

Рис. 1. Автономная РТС в сцепке с прицепом: а) вариант сцепки РТС с прицепом с помощью ЗСУ; б) функциональная схема ЗСУ

Элементы стыковки изображены на рисунке 2. Захватываемое пассивное устройство представляет собой стакан с полостью, в которое СТМ заходит внутрь, если зажимы отведены в крайнее верхнее положение. В результате перемещения гайки при вращении винта, зажимы опускаются и прижимают ответную поверхность к торцу корпуса. Уплотнение представляет собой гибкий сильфон, защищающий внутреннюю часть ЗСУ от снега, грязи и пыли. В результате получается отказоустойчивое соединение (рис. 3а), у которого осевые перемещения заблокированы зажимами, а остальные линейные и угловые перемещения блокируются штифтами, установленными на корпусе стыковочного агрегата.

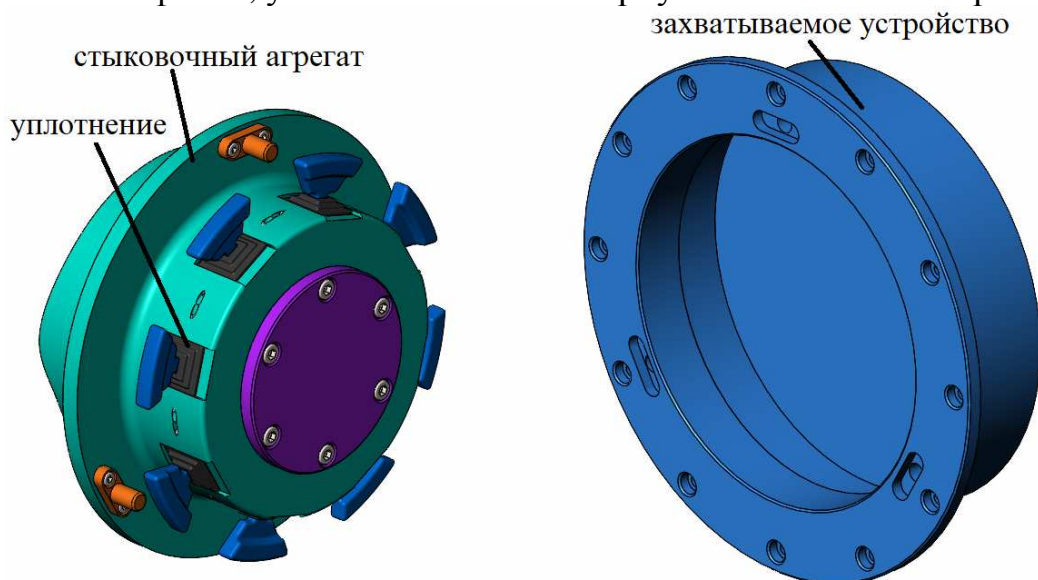


Рис. 2. Элементы стыковки, вид в изометрии

Для определения грузоподъемности получаемого соединения, произведён кинематический и силовой анализ. С учётом заданных длин звеньев зажимного механизма (рис. 3б) и параметров винтовой пары (однозаходная резьба М16, шаг 2 мм) можно определить крутящий момент на двигателе, требуемый для удержания 25 кг полезной нагрузки (приблизительный вес облегчённого ковша для землеройных работ). Стыковочный агрегат способен удерживать около 30 кг при работе двигателя с крутящим моментом 11 Н·м. Повышенная нагрузка возникает во время работы ковша, удерживающего массу снега или земли. При скорости вращения двигателя 1000 м/с стыковка производится за 1 секунду.

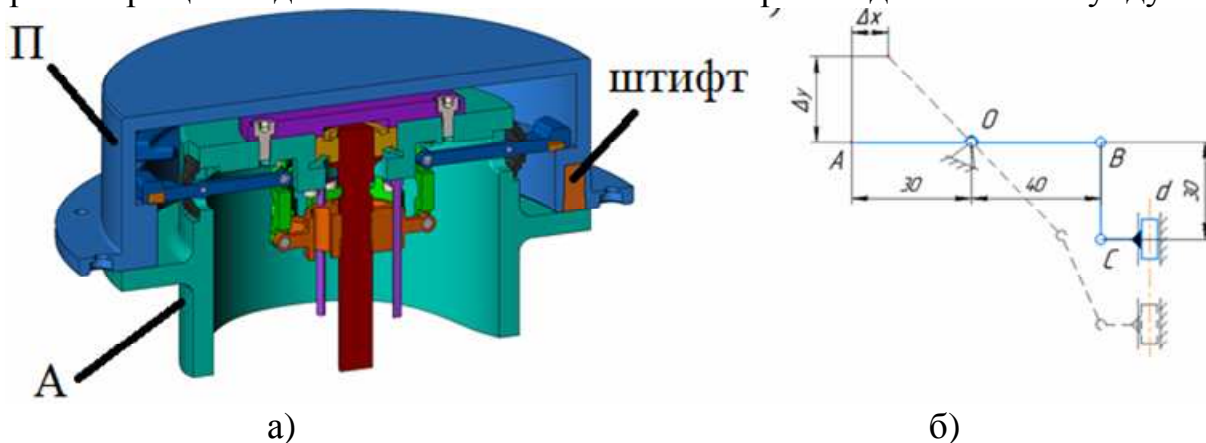


Рис. 3. Вид стыковочного агрегата в сцепке и кинематическая схема зажима:
а) часть СТМ в разрезе; б) кинематическая схема зажима

На рисунке 4 изображена траектория движения прижима. Найдено эквивалентное напряжение в опасном сечении, не превосходящее предельного значения. Таким образом, полученные данные при расчёте доказывают пригодность данного устройства для выполнения быстрого отказоустойчивого соединения.

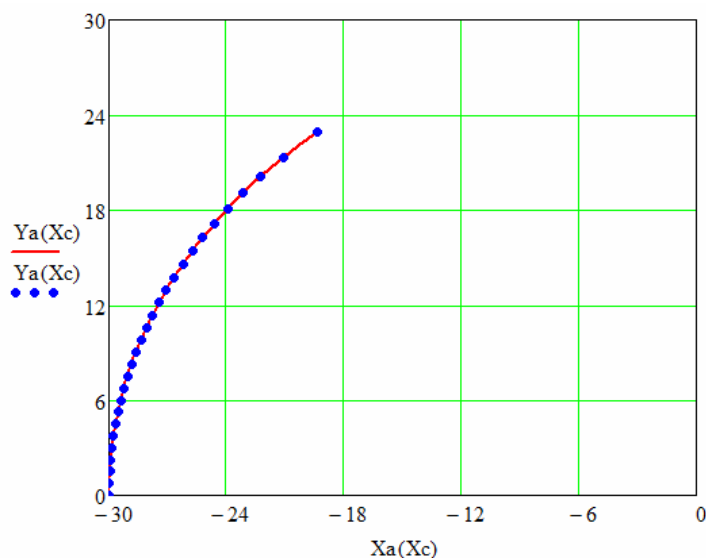


Рис. 4. Траектория движения прижима, мм

Выводы. В данной статье было рассмотрено стыковочное устройство для работы в Арктических условиях. Изучены типовые стыковочные агрегаты. Разработана принципиальная схема стыковочного агрегата автономной робототехнической платформы. Проведён кинематический анализ стыковочного механизма, подобраны габариты его звеньев и найдены основные параметры привода, выполнен прочностной расчёт винтовой пары. Применение только одного привода в ЗСУ с целью экономии электроэнергии предполагает усложненную кинематику, которая позволит провести стыковку с различной последовательностью. Так как циклограмма работы механизмов задаётся различными передаточными отношениями от двигателя и не представляет новизны, расчёт кинематики передаточных механизмов и захватного устройства был опущен.

Список литературы

1. Yan X-T, Brinkmann *et al* (2018) Integrated Mechanical, Thermal, Data, and Power Transfer Interfaces for Future Space Robotics. *Front. Robot. AI* 5:64. doi: 10.3389/frobt.2018.00064
2. NASA Docking System Block 1: NASA's New Direct Electric Docking System Supporting ISS and Future Human Space Exploration / Justin McFatter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180004167>
3. Robotic Transfer and Interfaces for External ISS Payloads [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140008717/downloads/20140008717.pdf?attachment=true>
4. W. Shen *et al* "SINGO: A single-end-operative and genderless connector for self-reconfiguration, self-assembly and self-healing," 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009, pp. 4253-4258, doi: 10.1109/ROBOT.2009.5152408.

Сведения об авторе:

Ракшин Егор Александрович – студент.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РОБОТА-ПОГРУЗЧИКА

Красило М.С.

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: алгоритм работы, робот-погрузчик, блок-схема, позиционирование.

Аннотация. В данной статье разрабатывается и анализируется алгоритм работы робота-погрузчика. Так же делаются предположения о том, какие информационные устройства необходимы для обеспечения перемещения робота-погрузчика по складской территории. В статье рассматривается и обосновывается применение датчиков давления и энкодеров. В статье приводится блок-схема алгоритма работы робота-погрузчика.

INFORMATION SYSTEM OF THE ROBOT FORKLIFT

Krasilo M.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: algorithm of operation, robot forklift, block diagram, positioning.

Abstract: this article develops and analyzes the algorithm of the robot forklift. Assumptions are also made about what information devices are needed to ensure the movement of the robot forklift through the warehouse area. The article discusses and justifies the use of pressure sensors and encoders. The article presents a block diagram of the algorithm of the robot forklift.

По окончанию проработки кинематики и гидравлики [1], а также расчета приводов перемещения [2], появилась задача по созданию алгоритма работы разрабатываемого робота-погрузчика (рис. 1).

Следуя алгоритму, робот будет находиться в зоне зарядки до тех пор, пока на него не придет сигнал о перемещении груза. После этого, погрузчик начнет движение в зону погрузки (выгрузки), где уже ориентируясь при помощи системы технического зрения производится проверка QR-кода груза, в котором указано место, куда этот груз необходимо переместить. Если же код на грузе не обнаружен, робот сообщает об этом оператору склада и ожидает дальнейших указаний. При наличии кода, робот отвозит груз в заданное место столько раз, сколько это было указано в команде оператора и возвращается в зону подзарядки.

Исходя из алгоритма, перед платформой стоит задача по выполнению ряда действий, таких как:

- 1) определять направление движения;
- 2) определять расстояния до объектов, как габаритные, так и для рабочего органа (вилы);
- 3) иметь возможность определять тип груза, чтобы корректно его доставлять [3].

Точное перемещение кроме задач позиционирования, включает в себя и задачу обнаружения как статических препятствий, так и внезапно возникших (люди, другие транспортные средства и т.д.) на пути движения робота-погрузчика осложняется тем, что робот может двигаться как передней частью, так и задней, и боковыми. Так же немаловажна скорость реакции платформы на возникшее

препятствие. При скорости движения платформы в 8 км/ч по асфальтобетонному покрытию, тормозной путь составит 0,5 м. Так же стоит учитывать, что управляющему устройству нужно время на принятие, обработку информации о наличии препятствия, необходимо время на подачу сигнала на тормозное устройство, и необходимо время на срабатывание тормозного устройства. Для выполнения вышеперечисленных задач оптимально использовать камеру глубины. Изображение с камеры обрабатывается на микрокомпьютере, обнаруживая выделенную цветом дорогу (края дороги, по которой движется робот следует выделить контрастными линиями), а встроенные ИК датчики будут определять расстояние до объектов и наличие препятствий.

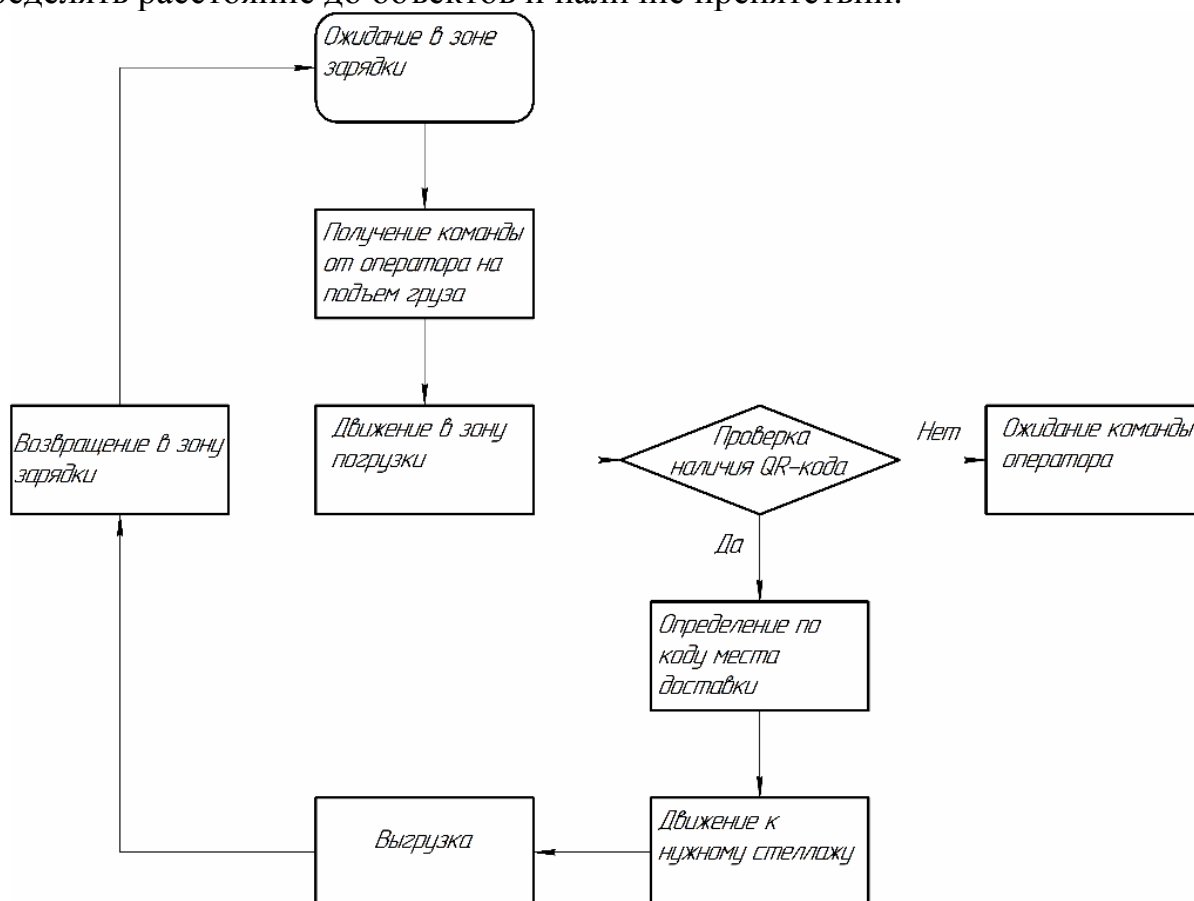


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы робота погрузчика

Для контроля скорости каждого колеса в отдельности (для возможности компенсации проскальзывания) и возможности реализации одометрии (оценка передвижения по данным от приводов) необходимо использовать энкодеры, которые будут считывать обороты каждого колеса в отдельности.

Для выполнения задачи по определению типа груза, появляется необходимость снабжать груз QR – кодом, а робота снабжать камерой, способной распознавать QR – коды. Так же, у платформы должна быть опись всего складского помещения. Благодаря наличию соответствующих кодов на стеллаж склада, погрузчик будет доставлять груз в нужную зону складского помещения. Само складское помещение должно быть снабжено маркерами, которые бы обозначали ключевые объекты, такие как полосу движения робота, зону погрузки, зону зарядки и сами ряды стеллажей. Это необходимо для упрощения задачи позиционирования.

Выгрузка груза на складе может осуществляться на разных высотах, т.к. исполнительный механизм робота (вилы) перемещается гидроприводом, то изменение высоты подъема груза осуществляется изменением давления жидкости. Для контроля данного процесса в контур гидропривода необходимо встроить датчик давления жидкости [4].

Составив и проанализировав алгоритм функционирования робота-погрузчика становится возможным оценить его безопасность для персонала склада.

Список литературы

1. Красило М.С., Израелян Г.М., Назаров А.А. Конструкционные изменения робота-погрузчика // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2021. – №8 – С. 11-14.
2. Гурин И.В., Израелян Г.М., Красило М.С. Расчет электродвигателя для робота-погрузчика // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12-11 (80). С. 73-75.
3. Тугенгольд А.К., Богуславский И.В., Лукьянов Е.А., Мартынов В.В., Череватенко В.А., Носенков Д.А. Введение в мехатронику. Учебное пособие – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2010. – 255 с.
4. Нагорный В.С., Денисов А.А. Устройства автоматизации гидро- и пневмосистем. – М.: Высш. шк., 1991 – 367 с

Сведения об авторе:

Красило Михаил Сергеевич – студент.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ РОБОТА-ПОГРУЗЧИКА

Красило М.С.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: безопасность, анализ безопасности, робот-погрузчик.

Аннотация. В данной статье автор описывает возможные аварийные ситуации, которые могут возникнуть во время эксплуатации робота-погрузчика методом «древа отказа». В ходе анализа были составлены древа отказов для всех ситуаций, а также произведен расчет значения рисков и определен метод снижения как частных, так и общих рисков.

SYSTEM ANALYSIS OF ROBOT FORKLIFT SAFETY

Krasilo M.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: safety, safety analysis, robot forklift.

Abstract. In this article, the author describes possible emergency situations that may occur during the operation of a robot loader using the "failure tree" method. During the analysis, failure trees were compiled for all situations, as well as risk values were calculated and a method for reducing both private and general risks was determined.

По окончанию проработки кинематики и гидравлики [1], а также расчета приводов перемещения [2], появилась возможность проанализировать безопасность взаимодействия робота погрузчика и персонала склада.

В настоящее время широкую популярность приобрел метод, получивший название «дерево отказов». Данный метод имеет следующие преимущества: сравнительная простота построения, дедуктивный характер выявления причинно-следственных связей исследуемых явлений, направленность на их существенные факторы, легкость преобразования таких моделей, наглядность реакции изучаемой системы на изменение структуры, декомпозируемость "дерева" и процесса его изучения, возможность качественного анализа исследуемых процессов, легкость дальнейшей формализации и алгоритмизации, приспособленность к обработке на средствах ЭВТ, доступность для статистического моделирования и количественной оценки изучаемых явлений, процессов и их свойств [3].

В первую очередь перечисляются нежелательные события – аварийные ситуации, которые должны быть предотвращены:

- А) наезд на человека;
- Б) столкновение с элементами складского помещения;
- В) поражение человека током;
- Г) воспламенение погрузчика из-за перегрузки двигателей.

Далее производится разделение на независимые группы. Так события «А» и «Б», тесно связаны между собой, т.к. являются следствием проблемы нарушения ориентирования робота в пространстве. События «В» и «Г», как могут быть вызваны одной причиной, так и разными, поэтому стоит рассмотреть их, как

отдельные события. В последствии составляется дерево отказов для каждого из головных событий, схемы представлены на рисунках 1-3.

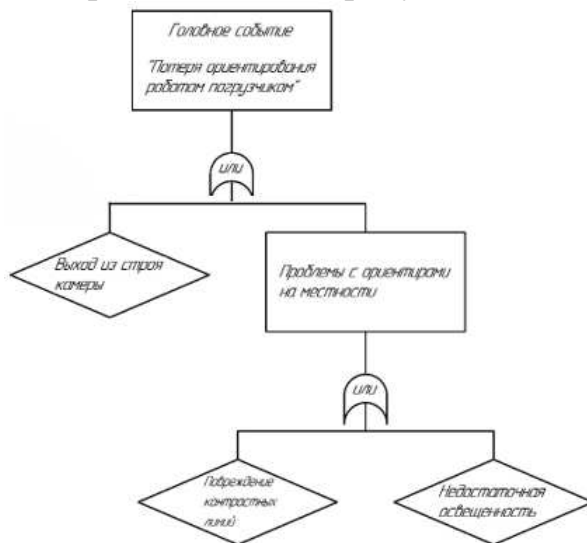


Рис. 1. Дерево отказов для 1, 2 события

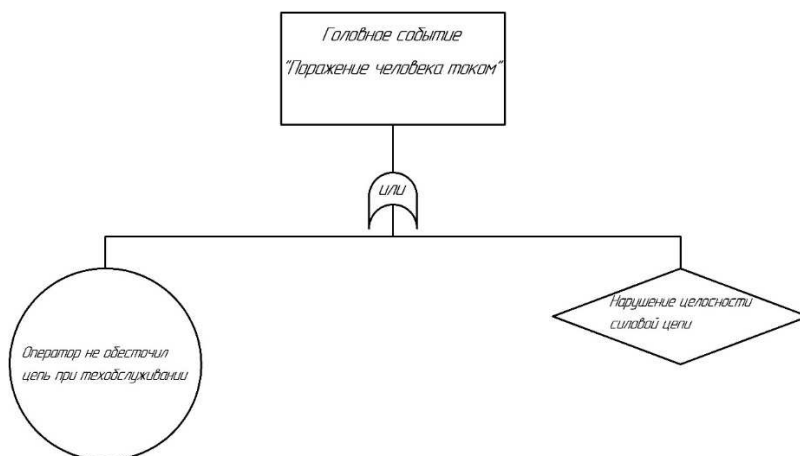


Рис. 2.. Дерево отказов для 3 события

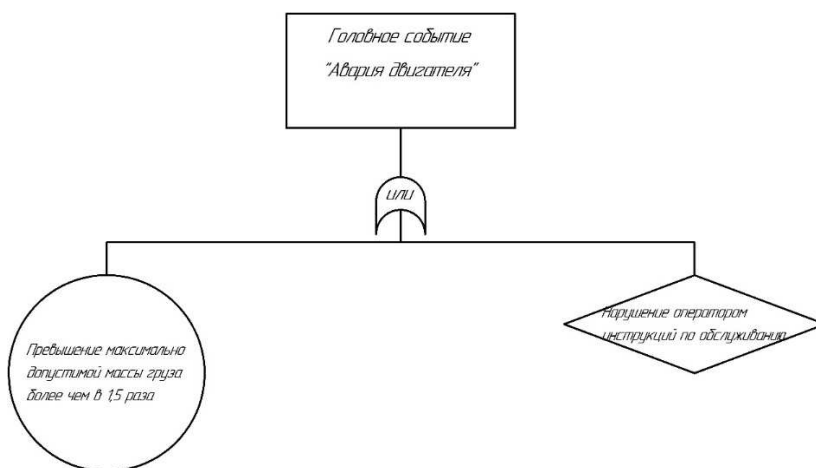


Рис. 3. Дерево отказов для 4 события

Для сравнительной оценки значение риска (R) определяется по формуле:

$$R = P_{on} \cdot (1 - P_{ис}) \cdot U, \tag{1}$$

где P_{on} – вероятность ошибки оператора; $P_{ис}$ – вероятность исправления ошибки оператора; U – величина, измеряющая последствия ошибки.

Рассчитаем вероятность ошибки для каждой из ситуаций.

1) Выход из строя камеры (В1) (И3):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,1) * 5 = 0,000495.$$

Метод снижения риска – Регулярное техобслуживание.

2) Повреждение контрастных линий (В1) (И1):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,5) * 5 = 0,00025.$$

Метод снижения риска – Регулярная проверка линий.

3) Недостаточная освещенность (В1) (И4):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,01) * 10 = 0,000999.$$

Метод снижения риска – Регулярное техобслуживание освещения

4) Оператор не обесточил цепь при техобслуживании (В1) (И2):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,2) * 25 = 0,002.$$

Метод снижения риска – Световая и звуковая сигнализация при открытии технического люка с не обесточенной сетью

5) Нарушение целостности силовой цепи (В1) (И3):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,1) * 25 = 0,00225.$$

Метод снижения риска – Организация рабочего места с целью недопущения повреждения рабочих узлов.

6) Превышение максимально допустимой массы груза более чем в 1,5 раза(В1) (И1):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,5) * 35 = 0,00175.$$

Метод снижения риска – Проведение обучения оператора.

с использованием тренажера

7) Нарушение оператором инструкций по обслуживанию (В1) (И2):

$$R = 0,0001 * (1 - 0,2) * 25 = 0,002.$$

Метод снижения риска – Обучение персонала инструкциям.

Список литературы

1. Красило М.С., Израелян Г.М., Назаров А.А. Конструкционные изменения робота-погрузчика // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2021. – №8 – С. 11-14.
2. Гурин И.В., Израелян Г.М., Красило М.С. Расчет электродвигателя для робота-погрузчика // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12-11 (80). С. 73-75.
3. Богданова И.В. Системный анализ безопасности. Вероятностные методы оценки безопасности. Дерево отказов. – Ростов-на-Дону, 2017 – 11 с.

Сведения об авторе:

Красило Михаил Сергеевич – студент.

УДК 621.9-05

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НУЛЕВОГО БАЗИРОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Колесниченко С.Д.¹, Щёлокова П.Ю.²

¹*ООО «Арморика», Пермь;*

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва*

Ключевые слова: система нулевого базирования, внедрение комплексных решений на промышленных предприятиях, проблемы внедрения технологической оснастки, комплексная технологическая оснастка.

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы внедрения на промышленных предприятиях систем нулевого базирования. Проблема устаревших подходов к написанию технологических процессов снижает полезный эффект от применения современной технологической оснастки. Низкое качество расходных материалов и недостаточное развитие культуры производства препятствуют распространению системы нулевого базирования и комплексной технологической оснастки.

PROBLEMS OF IMPLEMENTING A ZERO-BASED SYSTEM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES TITLE OF THE ARTICLE

Kolesnichenko S.D.¹, Shchelokova P.Yu.²

¹*Armorica LLC, Perm;*

²*Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

Keywords: zero-based system, implementation of integrated solutions at industrial enterprises, problems of technological equipment implementation, complex technological equipment. words, phrases.

Abstract. The main problems of the introduction of zero systems in industrial enterprises are considered. The problem of outdated approaches to writing technological processes reduces the positive effect of using modern technological equipment. Poor quality of consumables and insufficient development of production culture prevent the spread of a zero system and complex technological equipment. The text of the annotation.

Автоматизация технологического процесса производства является одним из приоритетных направлений развития отечественной промышленности. Требование стабильности процесса изготовления деталей и повторяемости полученных технических параметров с заданной точностью обеспечивается в том числе используемой технологической оснасткой.

Система нулевого базирования (Zero Point) представляет собой приспособление (устройство), выполняющее роль разъёмного переходного элемента между столом металлообрабатывающего станка и непосредственно зажимным приспособлением, заготовкой (рис. 1).

За счет своей конструкции система нулевого базирования обеспечивает:

- точное позиционирование обрабатываемой заготовки;
- возможность вынести настройку и закрепление заготовки в зажимном приспособлении из рабочей зоны станка, снижая простои оборудования;

- быструю смену заготовок, что повышает производительность оборудования;
- уменьшение количества переустановов заготовки в процессе работы.

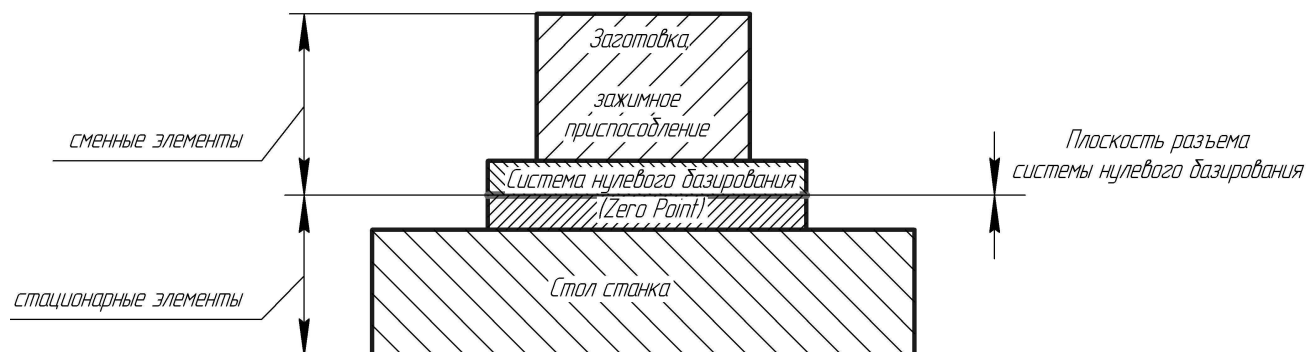


Рис. 1. Принцип системы нулевого базирования

Одним из производителей систем нулевого базирования является отечественная компания ООО «Арморика», представляющая на российском рынке станкоинструментальной продукции комплексную модульную систему технологической оснастки под маркой BriBase.

В процессе внедрения нулевой системы BriBase на различных промышленных предприятиях был выявлен ряд проблем, отражающих общее состояние производственных предприятий России и требующих системного решения как на уровне отдельных подразделений, так и на уровне промышленной отрасли в целом.

1. Устаревший подход к написанию технологических процессов обработки [1]

Данная проблема крайне остро встает в случае перехода от существующего технологического процесса к автоматизированному. Прямая замена ранее используемой технологической оснастки на оснастку со встроенной системой нулевого базирования не всегда позволяет значительно повысить производительность и качество получаемой продукции. Сложность решения указанной проблемы заключается в необходимости инновационного подхода к формированию маршрута обработки; поиске вариантов, выходящих за рамки ранее разработанных шаблонов, что представляет собой существенную проблему для заводов и предприятий. В качестве рекомендаций в данном случае можно обозначить следующее.

- При написании технологического маршрута следует исходить из принципа сохранения баз с минимально возможным количеством переустановов.
- Рекомендуются выбрать поверхность с наименее ответственными и конструктивными элементами для расположения технологического припуска, даже если предыдущей технологией изготовления технологический припуск не предусматривался.
- При внедрении новой технологической оснастки необходимо проводить обучение всех задействованных сотрудников: от инженерно-технических работников до операторов непосредственно на станках.

2. Низкое качество используемых отечественными предприятиями технологических сред и иных расходных материалов

По опыту внедрения технологической оснастки на отечественных производствах данная проблема является крайне актуальной. Стремление сэкономить на расходных материалах оборачивается коррозией технологической оснастки и узлов металлообрабатывающего оборудования, что приводит к потерям точности, поломкам и преждевременному выходу из строя используемых приспособлений [2].

Единственным решением данной проблемы является использование качественных расходных материалов, предварительное тестирование новых продуктов в рабочих условиях и оценка их воздействия на установленную в рабочей зоне станка технологическую оснастку и сами узлы станка.

3. Недостаточно высокая культура производства [3]

Наиболее частой причиной выхода из строя системы нулевого базирования является отсутствие культуры производства.

– Недостаточные знания о принципах работы технологической оснастки, в связи с чем возникают проблемы с базовыми поверхностями и наиболее уязвимыми узлами приспособлений (забоины, задиры, царапины, засорение стружкой, грязью).

– Недостаточные знания о принципах работы приспособлений и, как следствие, неполноценное использование возможностей технологической оснастки на стадии написания технологии обработки и управляющей программы для станков ЧПУ.

– Перенос старых принципов работы с технологической оснасткой на современные комплексные системы, включая систему нулевого базирования, что исключает положительный эффект от использования современных комплексных решений VriBase.

– Отсутствие ухода за технологической оснасткой в процессе работы и в конце смены.

– Неправильная транспортировка и хранение.

Ввиду специфики отечественного машиностроения сами производители технологической оснастки стремятся минимизировать последствия указанных проблем на этапе проектирования. Рабочие поверхности изготавливают из нержавеющей стали. Конструкция приспособлений предусматривает автоматический режим очистки наиболее ответственных поверхностей. В конструкцию приспособлений включают дополнительные контрольные элементы и системы, осуществляющие мониторинг состояния технологической оснастки в процессе работы в автономном режиме.

Все вышеперечисленные методы способствуют повышению долговечности и надежности системы нулевого базирования, но наравне с этим увеличивают себестоимость их изготовления и повышают рыночную цену.

В качестве вывода следует заметить, что локальное отставание промышленных предприятий, высокий процент брака и низкая производительность связаны не только с проблемами недостаточного технического оснащения производства, нехваткой кадров, но также и с

системным отсутствием готовности предприятия (структурного подразделения) использовать современную систему нулевого базирования и комплексную систему технологической оснастки для решения текущих задач и выхода на качественно новый уровень развития производства.

По опыту внедрения систем нулевого базирования на отечественных предприятиях, к сожалению, до настоящего момента имеют место быть случаи, когда закупленная система нулевого базирования и комплексные решения BriBase по оснащению станка после нескольких попыток внедрения остаются лежать на складе, а производство продолжает изготавливать детали по традиционному технологическому процессу с необоснованно большим количеством переустановов, потерей точности обработки и завышенной себестоимостью обработки.

Список литературы

1. Истоцкий В.В., Юдин С.В. Инструментальное производство: проблемы и пути решения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 3. С. 219-226.
2. Макарова Е.В. Экономическая эффективность внедрения инновационного технологического оборудования: факторы, риски, управленческие решения // Вестник ТГУ. Гуманитарные науки. Экономика. 2013. № 9(125). С.70-76.
3. Фролова И.И., Садртдинова Н.В. Культура организации производства // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2017. №5(23). С.148-153.

Сведения об авторах:

Колесниченко Святослав Дмитриевич – технический специалист;

Щёлокова Полина Юрьевна – ассистент кафедры МТ13 «Технологии обработки материалов».

УДК 621.757

О НОВОМ ПОДХОДЕ К АНАЛИЗУ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Хващевская Л.Ф.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск*

Ключевые слова: высокоточные изделия, погрешности изделий, геометрические допуски расположения, геометрический анализ точности, конфигурационная геометрическая модель размерной цепи, винты допусков расположения.

Аннотация. Предложен новый подход к обеспечению геометрической точности изделий с учётом источников вариаций, приводящих к погрешностям в геометрии изделий, основанный на использовании аппарата винтового исчисления. Разработаны инструменты для геометрического анализа точности расположения геометрических элементов изделий в трёхмерном пространстве. Предлагаемый подход позволит обеспечить точность ключевых геометрических характеристик расположения элементов изделия, а, следовательно, достичь высокого качества изготовления изделий и обеспечить их собираемость.

ON A NEW APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE GEOMETRIC ACCURACY OF PRODUCTS

Khvashevskaya L.F.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

Keywords: high-precision products, product errors, geometric location tolerances, geometric accuracy analysis, configuration geometric model of a dimensional chain, location tolerance screws.

Abstract. A new approach is proposed to ensure the geometric accuracy of products, taking into account the sources of variations that lead to errors in the geometry of products, based on the use of the screw calculus. Tools for geometric analysis of the accuracy of the location of geometric elements of products in three-dimensional space have been developed. The proposed approach will ensure the accuracy of the key geometric characteristics of the location of the elements of the product and, consequently, achieve a high quality of manufacturing products and ensure their assembly.

Современное машиностроение характеризуется высоким уровнем применения компьютерных технологий во всех сферах производства, что способствует интеграции проектирования и изготовления. Существующие в настоящее время организация и применяемые методы проектирования и разработки новых изделий не соответствуют требованиям скоростного создания высокотехнологичных конструкций. Современные же условия требуют перехода к скоростным высокоэкономичным методам создания изделий и проектированию их технологических характеристик.

Важнейшей составляющей процесса создания изделия должна стать возможность учитывать вариационную геометрию сборочных единиц уже на ранней стадии проектирования.

Проблема обеспечения геометрической точности изделия с учётом допусков на компоненты предполагает в первую очередь решение проблемы

геометрической точности исполнительных поверхностей, а также точности взаимного положения геометрических элементов изделия.

Анализ исследований по проблемам обеспечения геометрической точности изделий показывает, что проблема является сложной, недостаточно изученной [1].

Основанием для оценки геометрической точности изделий с использованием аппарата винтового исчисления [2] служит тот факт, что источниками погрешностей сборки являются как производственные источники (приводят к размерным и геометрическим погрешностям), так и контактные (приводят к небольшим кинематическим сдвигам точек геометрических элементов изделия). Для полноценного анализа размерных связей в изделиях с учётом допусков необходимо комплексно учитывать источники погрешностей, а также взаимосвязи угловых отклонений и позиционных.

Конфигурационной геометрической моделью (коротко КГМ РЦ) размерной цепи называем размерную цепь, образованную векторами-звеньями, совокупностью контрольных точек и кумулятивными винтами допустимых отклонений расположения в контрольных точках.

Под контрольными точками (коротко К-точки) понимаем те точки геометрических элементов изделия, от расположения которых зависит точность ключевых геометрических характеристик элементов изделия.

Точность расположения конечного звена КГМ РЦ с учётом пространственных допустимых отклонений расположения геометрических элементов деталей, входящих в размерную цепь, определяем двумя параметрами: $\Psi_{\Delta\Sigma}$ – величиной кумулятивной допустимой ошибки истинного эйлера перемещения (или конечного перемещения в случае линеаризованной оценки); $\Phi_{\Delta\Sigma}$ – величиной кумулятивной допустимой ошибки истинного эйлера поворота (или конечного поворота в случае линеаризованной оценки).

Допуск расположения определяется винтом допуска расположения и геометрически представлен двумя векторами кумулятивных допустимых ошибок расположения $[\overline{\Phi}_{\Delta\Sigma}, \overline{\Psi}_{\Delta\Sigma}]$ конечного звена КГМ РЦ: вектором $\overline{\Psi}_{\Delta\Sigma}$ кумулятивной допустимой ошибки месторасположения конечной точки КРЦ; вектором $\overline{\Phi}_{\Delta\Sigma}$ кумулятивной допустимой ошибки ориентации конечного звена КРЦ.

При оценке точности расположения ключевых точек геометрических элементов в трёхмерном пространстве используем следующие соотношения:

$$\overline{\Psi}_{\Delta\Sigma} = \overline{\Phi}_{\Delta\Sigma} + \overline{\Phi}_{\Delta\Sigma}^0,$$

где $\overline{\Phi}_{\Delta\Sigma}^0$ – вектор кумулятивных допустимых ошибок поступательного перемещения контрольной точки вдоль оси эйлера винта кумулятивных допустимых ошибок расположения; $\overline{\Phi}_{\Delta\Sigma}$ – вектор кумулятивных допустимых ошибок ориентации.

Номинальной геометрии изделия соответствуют нулевые векторы кумулятивных допустимых ошибок расположения, то есть: $\bar{\Psi}_{\Delta\Sigma} = \bar{\mathbf{0}}$, $\bar{\Phi}_{\Delta\Sigma} = \bar{\mathbf{0}}$.

Получены вычислительные формулы для расчёта параметров, характеризующих точность расположения конечного звена КГМ РЦ, дана геометрическая интерпретация допуска расположения, а также геометрическая интерпретация интегральной оценки геометрической точности при проведении геометрического анализа.

Геометрическая точность изделия будет обеспечена, если будет обеспечена точность всех ключевых геометрических характеристик элементов изделия с учётом допусков расположения.

Список литературы

1. Хвощевская Л.Ф. О проблемах пространственного размерного анализа на современном этапе развития машиностроения // Материалы X Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири». – Иркутск, 2018. – С. 241-247.
2. Котельников А.П. Винтовое счисление и некоторые приложения его к геометрии и механике. – М.: КомКнига, 2006. – 224 с.

Сведения об авторе:

Хвощевская Любовь Фёдоровна – программист кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств.

УДК 621.791.927.5 + 620.178.165

РЕМОНТ НАПЛАВКОЙ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ГАЗОАБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

*Прияткин Д.В., Артемьев А.А., Алеханов Д.А.,
Альхасан Сара Абдулкарим Духайм, Динь Ван Тамм
Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

Ключевые слова: электродуговая наплавка, наплавленный металл, износостойкость, газоабразивное изнашивание, упрочняющие фазы, склерометрия.

Аннотация. В работе показана актуальность разработки новых наплавочных сплавов для упрочнения деталей оборудования, работающего в условиях газоабразивного изнашивания. Исследован структурно-фазовый состав экспериментального сплава системы легирования Fe-C-Cr-Ni-Mn-Mo-Ti-Nb. Произведена оценка его стойкости к абразивному износу методом склерометрии. Показаны пути дальнейшего повышения его износостойкости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90168.

REPAIR BY SURFACING OF PARTS SUBJECT TO GAS-ABRASIVE WEAR

*Priyatkin D.V., Artem'ev A.A., Alekhanov D.A.,
Alhasan Sarah Abdulkarim Duhaim, Dinh Van Tamm
Volgograd State Technical University, Volgograd*

Keywords: arc surfacing, weld metal, wear resistance, gas abrasive wear, precipitate particles, sclerometry.

Abstract. The paper shows the relevance of developing new surfacing alloys for hardening parts of equipment operating under conditions of gas-abrasive wear. The structural-phase composition of the experimental alloy of the Fe-C-Cr-Ni-Mn-Mo-Ti-Nb alloying system was studied. Its resistance to abrasive wear was evaluated by sclerometry. The ways of further increase of its wear resistance are shown.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number № 20-33-90168.

Преждевременное разрушение лопаток вентиляторов и дымососов металлургических производств, газоочистных сооружений и тепловых электростанций в большинстве случаев происходит под воздействием абразивных частиц, содержащихся в транспортируемом газе, что отражается не только на снижении аэродинамических характеристик, но и, зачастую, приводит к полному разрушению лопаток [1].

Интенсивность износа зависит от температуры газовой среды, размеров абразивных частиц, скорости газоабразивного потока, угла атаки газоабразивной струи относительно рабочей поверхности (для рабочих поверхностей роторов тягодутьевых машин наиболее вероятны углы атаки в диапазоне 25...35°), а также соотношения твердости абразивной частицы и изнашиваемой поверхности [1, 2]. Известно [1, 3], что независимо от температуры для хрупких материалов наиболее сильный износ наблюдается при угле атаки 90°, а для пластичных – диапазоне 20...30°. Это можно объяснить тем, что разрушение материала при углах атаки близких к 90° происходит с образованием микротрещин и сколов

упрочняющих фаз, а при малых углах преимущественно за счет скольжения и микрорезания [4].

Наиболее рационально восстанавливать изношенные поверхности электродуговой наплавкой износостойкими сплавами, однако промышленные сплавы дороги за счет чрезмерного легирования, склонны к трещинообразованию при наплавке [5].

Цель работы – исследование экспериментального наплавочного сплава системы легирования Fe-C-Cr-Ni-Mn-Mo-Ti-Nb, а также определение его износостойкости методом склерометрии.

Содержание легирующих элементов рассчитывалось с целью получения эвтектической матрицы, состоящей из γ -Fe, упрочненной карбидной фазой. Для обеспечения минимального объема наплавленного металла состав шихты порошковой проволоки рассчитывался с учетом обеспечения выхода на требуемый химический состав в 1 слое, что предотвращает утяжеление лопаток.

Установлено, что микроструктура наплавленного металла эвтектическая с равномерно распределенными карбидами. Результаты проведенного рентгенофазового анализа показали, что твердый раствор карбидной эвтектики состоит из γ -Fe. Упрочняющая твердая фаза представлена карбидами $(Fe,Cr)_x C_y$, комплексными карбидами $(Ti,Nb,Mo)_x C_y$, и монокарбидами $Mo_x C$.

Исследования износостойкости металла, наплавленного опытным и промышленным сплавом Weartrode 65T (ESAB), методом склерометрии, позволяющим смоделировать режущее воздействие абразивной частицы, ускоряемой газовым потоком, по методике, изложенной в [6], показали, что опытный сплав по своей износостойкости сопоставим с высоколегированным промышленным сплавом, но при этом в два раза дешевле. Это достигается формированием в наплавленном металле большой объемной доли железохромистых карбидов $(Fe,Cr)_x C_y$, и высокотвердых комплексных карбидов $(Ti,Nb,Mo)_x C_y$ и монокарбидов $Mo_x C$, оказывающих значительное сопротивление пластической деформации сплава в процессе микрорезания.

Дальнейшие исследования сплавов данной системы легирования для повышения их износостойкости могут быть направлены на выявление оптимальных соотношений между содержанием углерода и карбидообразующих элементов с целью увеличения объемной доли карбидной фазы высокой твердости.

Список литературы

1. Manish R. Elevated temperature erosive wear of metallic materials // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2006. – No. 39. – P. 101-124.
2. Брук А.Д. Дымососы газоочистных сооружений. – М.: Машиностроение, 1984. – 144 с.
3. Javaheri V. Slurry erosion of steel – Review of tests, mechanisms and materials // Wear Volumes 408–409, 15 August 2018, pp. 248-273.
4. Stachowiak G. Engineering tribology / G. Stachowiak, A.W. Batchelor. – 4th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 852 p.
5. Анализ наплавочных сплавов для работы в условиях газоабразивного изнашивания при повышенных температурах / Д.В. Прияткин и др. // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2020. – №. 10. – С. 49-55.

6. Диагностика износостойкости наплавленного металла методом склерометрии / Г.Н. Соколов и др. // Сварка и диагностика. – 2012. – № 2. – С. 34-39.

Сведения об авторах:

Пряткин Дмитрий Вячеславович – аспирант;

Артемьев Александр Алексеевич – к.т.н., доцент;

Алеханов Дмитрий Алексеевич – магистрант;

Альхасан Сара Абдулкарим Духайм – магистрант;

Динь Ван Тамм – магистрант.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

Лебедева К.Н., Порозова С.Е., Старков Д.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь*

Ключевые слова: лазерная наплавка, нихром, диоксид циркония, композиционное покрытие.

Аннотация. В работе исследована микроструктура полученного лазерной наплавкой композиционного покрытия на основе нихрома, содержащего 0,5 % (масс.) диоксида циркония, стабилизированного 7 % (масс.) оксида иттрия. По результатам исследования микроструктуры лазерной наплавки наблюдается малое количество пор и равномерное распределение порошка диоксида циркония, что свидетельствует о хорошей адгезии частиц и достаточно плотной структуре покрытия.

RESEARCH OF THE MICROSTRUCTURE OF THE COMPOSITE COATING

Lebedeva K.N., Porozova S.E., Starkov D.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Keywords: laser cladding, nichrome, dioxide zirconia, composite coating.

Abstract. In this work, the microstructure of a nichrome-based composite coating obtained by laser cladding containing 0.5% (mass) zirconium dioxide stabilized by 7% (mass) yttrium oxide was studied. According to the results of the study of the microstructure of laser cladding, a small number of pores and a uniform distribution of zirconium dioxide powder are observed, which indicates good particle adhesion and a fairly dense coating structure.

Одна из важнейших задач машиностроения – ремонт и увеличение ресурса работы деталей введенной в эксплуатацию техники [1]. Для восстановления и повышения прочностных свойств деталей машин наряду с другими методами применяется лазерная порошковая наплавка чистых металлических порошков или их композиций [2, 3]. Особый интерес представляют композиции с керамическими порошками, позволяющие существенно улучшать эксплуатационные характеристики наплавленных покрытий.

К сожалению, меньшая по сравнению с металлами плотность керамических порошков и, в большинстве случаев, плохая адгезия наплавляемого металла к поверхности керамических порошков не позволяют получить композиционные покрытия с равномерным распределением компонентов. Одним из вариантов улучшения адгезии может являться модификация поверхности частиц керамического порошка. Ранее было показано положительное влияние нанесения оксидов никеля и металлического никеля на субмикронный порошок диоксида титана на пористость наплавленного композиционного покрытия на основе нихрома [4].

Цель работы – исследование микроструктуры полученного лазерной наплавкой композиционного покрытия на основе нихрома, содержащего 0,5% (масс.) диоксида циркония.

Наплавку выполняли на обрабатывающем центре фирмы Trumpf (Германия) в защитной среде аргона. Материалом подложки служила сталь марки 12X18H10T. В качестве наплавляемого материала использовали порошок марки ПХ20Н80 (нихром) со средним размером частиц 40-80 мкм с добавлением 0,5% (масс.) керамического промышленного порошка диоксида циркония марки ЦИО-7-10-80 ТУ 1-595-2-659-2002 (ООО «ТСП», г. Екатеринбург). Порошок с осколочной формой частиц и удельной поверхностью $17 \text{ м}^2/\text{г}$ содержал 7% (масс.) стабилизирующей добавки оксида иттрия. На поверхность порошка по описанной ранее методике [5] наносили водный раствор соли хрома, в результате получая на поверхности смесь оксидов хрома и соединение YCrO_4 (рис. 1).

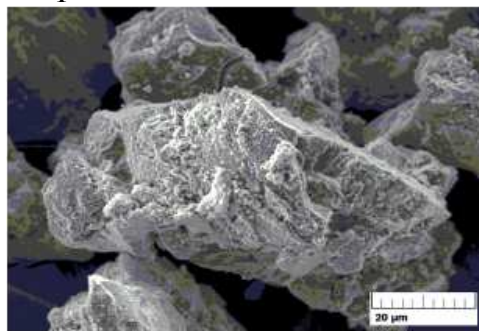


Рис. 1. СЭМ-изображение частиц порошка ЦИО-7-10-80 после модификации

В работе использовали сканирующий электронный микроскоп *VEGA3 TESCAN* (*TESCAN*, Чехия). Микроструктуру образцов исследовали с помощью цифрового инвертированного микроскопа *Axiovert 40MAT* (*Carl Zeiss*, Германия) с системой визуализации и фотодокументирования с использованием программы «ВидеоТест-Мастер: Структура». Для выявления микроструктуры проводили травление полированных микрошлифов реактивом, содержащим HNO_3 , HCl и глицерин в соотношении 1:3:6 в соответствии с методическими рекомендациями [6].

На рисунке 2 приведена микроструктура шлифа композиционного покрытия на основе нихрома, содержащего 0,5 % (масс.) диоксида циркония.

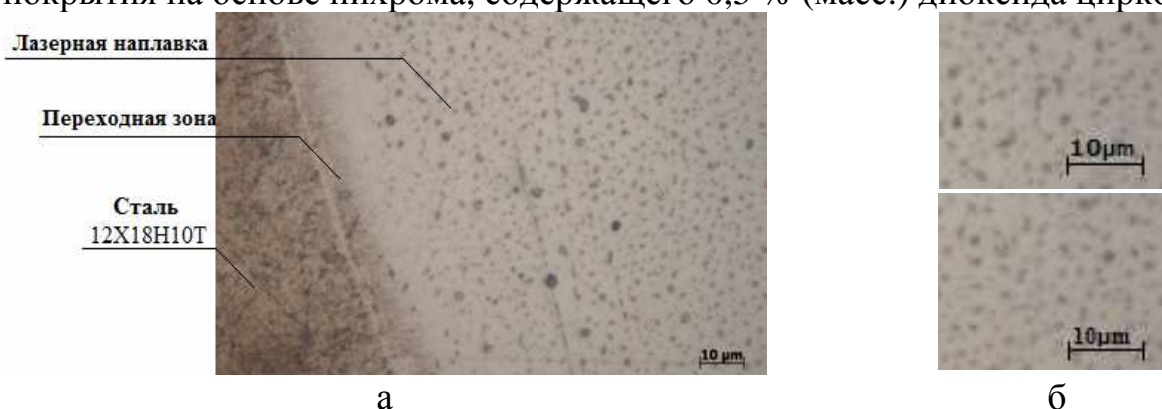


Рис. 2. Микроструктура лазерной наплавки композиционного покрытия:
а – общий вид шлифа; б – увеличенное изображение зоны наплавки

По результатам исследования микроструктуры лазерной наплавки наблюдается достаточно равномерное распределение порошка диоксида циркония по всей поверхности, что говорит о хорошей адгезии частиц. Наличие малого количества пор свидетельствует о достаточно плотной структуре

керамического покрытия. Таким образом, предложенный вариант модификации поверхности керамического порошка перспективен для использования при нанесении композиционных никельсодержащих покрытий.

Список литературы

1. Бирюков В.П. Повышение долговечности работы пар трения скольжения при лазерной наплавке порошковых материалов // Тяжелое машиностроение. 2013. №9. С. 14-17.
2. Берtrand Ф., Мовчан И., Самодурова М.Н., Джигун Н.С. Лазерная наплавка как перспективный метод упрочнения штамповой оснастки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №2. С. 44-52.
3. Афанасьева Л.Е., Раткевич Г.В. Лазерная наплавка покрытия NiCrBSiFe-WC с помощью многоканального лазера // Письма о материалах. 2018. Т.8. №3. С. 268-273.
4. Порозова С.Е., Старков Д.А. Влияние добавки диоксида титана на пористость наплавленного материала на основе порошка жаропрочного никелевого сплава // Конструкции из композиционных материалов. 2019. № 1. С. 3-6.
5. Порозова С.Е., Старков Д.А., Лебедева К.Н. Модификация поверхности ультрадисперсных порошков ZrO₂ оксидными соединениями хрома // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2021. Т. 23, № 2. С. 5-12. DOI: 10.15593/2224-9877/2021.2.01.
6. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов: Пер. с нем. – М.: Металлография, 1988. – 320 с.

Сведения об авторах:

Лебедева Ксения Николаевна – магистрант;

Порозова Светлана Евгеньевна – д.т.н., доцент, профессор кафедры механики композиционных материалов и конструкций;

Старков Дмитрий Александрович – инженер отдела разработки перспективных технологий ремонта АО «ОДК – Авиадвигатель».

Трибологическое покрытие типа «латуни», полученное методом газодинамического напыления

Архипов В.Е., Москвитин Г.В., Пугачев М.С.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: газодинамическое напыление, покрытие типа «латуни», диффузия, фазовый состав, трибологические и механические свойства.

Аннотация. В работе показано, что при газодинамическом напылении смеси частиц меди, цинка и оксида алюминия происходит диффузия меди в цинк с аномально высоким значением коэффициента диффузии $\approx 1,14 \times 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$, что позволяет формироваться в покрытии соединениям: CuZn_3 и Cu_5Zn_8 (ϵ - и γ -фазы), присущим сплавам меди и цинка. Покрытие типа «латуни», имеет градиентную по твёрдости и фазовому составу структуру на основе меди твёрдостью $\approx 106\text{HV}$, цинка $\approx 50\text{HV}$ и соединений электронного типа $\approx 170\text{HV}$. В результате сравнительных испытаний двух газодинамических покрытий на основе меди и медь-цинк (типа «латуни») в условиях масляного голодания установлено, что интенсивность изнашивания покрытия меди почти в 4 раза больше, чем у покрытия типа «латуни».

TRIBOLOGICAL COATING OF THE "BRASS" TYPE OBTAINED BY GAS-DYNAMIC SPRAYING

Arkhipov V.E., Moskvitin G.V., Pugachev M.S.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: gas-dynamic spraying, "brass" type coating, diffusion, phase composition, cohesion, tribological properties.

Abstract. It is shown that during gas-dynamic spraying of a mixture of copper, zinc and aluminum oxide particles, copper diffuses into zinc with an abnormally high diffusion coefficient value of $\approx 1.14 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, which allows the formation of compounds in the coating: CuZn_3 and Cu_5Zn_8 (ϵ - and γ -phases) inherent in copper and zinc alloys. The "brass" type coating has a gradient in hardness and phase composition structure based on copper with a hardness of $\approx 106\text{HV}$, zinc $\approx 50\text{HV}$ and compounds of the electronic type $\approx 170\text{HV}$. As a result of comparative tests of two gas-dynamic coatings based on copper and copper-zinc (of the "brass" type) under conditions of oil starvation, it was found that the wear intensity of the copper coating is almost 4 times greater than that of the "brass" type coating.

Поверхности трения скольжения в результате эксплуатации изнашиваются, и их восстановление может быть достаточно эффективно осуществлено газодинамическим напылением покрытия типа «латуни». Из-за некоторых технологических особенностей метода напыления происходит диффузия цинка в медь с высокой скоростью ($K_{\text{Zn}} \approx 1,14 \times 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$), в результате чего формируется градиентная структура с соединениями присущими латуням: CuZn_3 и Cu_5Zn_8 (ϵ и γ -фазы). Твёрдость основных структур составляет: меди ($\approx 106 \text{ HV}$), цинка ($\approx 50\text{HV}$) и соединения $\approx 170 \text{ HV}$ при когезионной прочности покрытия не менее 78 МПа [1-3].

Сравнительные испытания в условиях масляного голодания показали, что интенсивность изнашивания покрытия меди почти в 4 раза больше, чем у покрытия типа «латуни» [4]. При этом, интенсивность изнашивания контртела в паре с покрытием типа «латуни» на несколько порядков меньше, что связано с эффектом массопереноса.

Выводы

1. Газодинамическое напыление смеси частиц меди, цинка и оксида алюминия (корунда) позволяет сформировать градиентное по фазовому составу и твёрдости покрытие типа «латуни».

2. Сравнительные испытания в условиях масляного голодания выявили низкий износ (в 4 раза) покрытия типа латуни и контртела, интенсивность изнашивания которого на несколько порядков меньше, что связано с эффектом массопереноса.

3. Необходимо более широко исследовать триботехнические характеристики покрытия типа «латуни» для оценки их характеристик и области применения технологии газодинамического нанесения покрытий.

Список литературы

1. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Шкалей И.В. Влияние технологических параметров газодинамического напыления на структурно - фазовые превращения в покрытии типа «латуни» // Упрочняющие технология и покрытия. – 2020. – №12. – С. 554-560.
2. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Щербакова О.О. Нанесение покрытия латуни методом газодинамического напыления // ФИХОМ. – 2020. – №2. – С.18-25.
3. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Щербакова О.О. Структура и свойства газодинамических покрытий и оценка использования их в парах трения скольжения // Упрочняющие технология и покрытия. – 2020. – №6. – С. 260-266.
4. Сачек Б.Я., Мезрин А.М., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф. Модифицирование поверхностей трибосопряжений напылением металлических покрытий как средство повышения их фреттингостойкости // Трение и износ. – 2018. – Т. 39. – №4. – С. 24-28.

Сведения об авторах:

Архипов Владимир Евгеньевич – к.т.н., в.н.с.;

Москвитин Геннадий Викторович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией;

Пугачев Максим Сергеевич – н.с.

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛА ЛИСТОВ И ПЛИТ ИЗ СПЛАВА АМГ6

Головкин П.А.
АО «Плутон», Москва

Ключевые слова: алюминиево-магниевый сплав, металлический материал, горячекатаные листы и плиты, интерметаллические соединения, горячая обработка, температура, коррозионная стойкость.

Аннотация. Рассматривается связь между составом и количественным содержанием интерметаллидных фаз в материалах из алюминиевых сплавов группы АМг, с их структурой и свойствами. На примере сплава АМг6 показано, что наибольшее влияние на коррозионные свойства материалов оказывают интерметаллические соединения, формируемые исключительно из основных компонентов сплава, и которые можно классифицировать как фазы горячей обработки. Утверждается, что действенным инструментом сдерживания количественного содержания интерметаллидных фаз (КСИФ) в металлическом материале является повышение равномерности и снижение температуры его горячей обработки.

INFLUENCE OF QUANTITATIVE CONTENT OF INTERMETALLIC PHASES ON CORROSION RESISTANCE OF MATERIAL OF SHEETS AND PLATES OF “АМГ6” ALLOY

Golovkin P.A.
Pluton JSC, Moscow

Keywords: aluminium-magnesium alloy, metal material, hot-rolled sheets and plates, intermetallic compounds, hot working, temperature, corrosion resistance.

Abstract. The relationship between composition and quantitative content of intermetallic phases in materials of aluminium alloys of AMg group, with their structure and properties is considered. By the example of alloy “АМГ6” it is shown that intermetallic compounds formed solely from the main components of the alloy and which can be classified as hot work phases have the greatest effect on the corrosion properties of materials. It is argued that an effective tool to contain the quantitative content of intermetallic phases (ICOIF) in a metallic material is to increase the uniformity and reduce its hot working temperature.

Общие положения

Имеющие место в материалах из алюминиевых сплавов группы АМг [1] интерметаллические фазы, можно условно разделить на две основные группы. Первую группу образуют соединения, образующиеся, преимущественно, в процессе приготовления исходного расплава. Они состоят из соединений основных компонентов сплава и неизбежных примесей Fe, Si, Cr и Cu, и включают Mg_2Si , $AlFeSi$, $AlFeSiMn$, Fe_2SiAl_8 , $CuMg_4Al_6$, $(CrFe)_4Si_4Al_{13}$, $(FeMn)Al_{16}$ и другие [2, 3]. Общее содержание этих фаз в существенной мере определяется химической чистотой сплава.

Вторую группу соединений образуют интерметаллиды Mg_2Al_3 и Mg_5Al_8 [2, 3]. Их особенность состоит в том, что они образуются исключительно из

основных компонентов сплава, и потому ресурс их возникновения теоретически не ограничен. Образуюсь преимущественно при горячей деформации материала, эти соединения дают основание классифицировать себя как фазы горячей обработки, которые количественно наиболее многочисленны, и оттого оказывают существенное влияние на его структуру и свойства.

Образующиеся в неравновесных условиях деформации, эти электроотрицательные относительно твёрдого раствора фазы образуют с ним эвтектическую систему [2, 3], располагаясь по границам зёрен в виде оторочек и цепочек отдельных включений. Для развития процесса достаточно нахождения в материале от 1% магния, при содержании его более 3...4% формирование фаз обработки существенно усиливается [3], и происходит тем активнее, чем выше температура и неравномерность деформации [4, 5], и чем большую роль в процессе деформации играет её межзёренный механизм [6].

Для учёта соединений, как первого, так и второго типа, целесообразно использовать показатель количественного содержания интерметаллидных фаз – КСИФ, выражаемый в процентах по массе от общей массы металлического материала [7].

Алюминиды магния Mg_2Al_3 и Mg_5Al_8 , имеют температуры плавления 450 и 452⁰С соответственно, плавятся конгруэнтно [2, 3], и однажды образовавшись, уже не могут быть удалены из металлического материала. Это значит, что повышенное содержание этих соединений, с учётом их электроотрицательности [8, 9], представляет существенную угрозу коррозионной стойкости металлического материала [10]. Для её ослабления температура деформации сплава АМгб не должна превышать 380...400⁰С, при её превышении следует применять гомогенизирующий отжиг [8, 9]. Такой отжиг снижает уровень напряжений в материале, и в частности, между интерметаллическими включениями и окружающей их матрицей, но не может разрушить или растворить их, и поэтому центры развития коррозионных повреждений в нём сохраняются. Однако действующие стандарты недостаточно учитывают этот момент. Так, для поковок и штамповок, верхний предел температуры деформации ограничивается величиной 450⁰С [11].

Металлографические исследования материала горячекатаных листов и плит из сплава АМгб показывают кратное колебание этого показателя не только в рамках различных партий материала, но и в высотном направлении одного полуфабриката, тем существеннее, чем больше его толщина.

Определение количественной зависимости между значением КСИФ и показателями коррозионной стойкости листов и плит требует существенного объёма изысканий, однако можно обратить внимание на следующее: материал зерна стремится повысить свою упорядоченность, вытесняя вовне разного рода дефекты и примеси, тем и образуя границы [12]. Это значит, что с ростом размера зерна увеличивается зернограничное содержание эвтектики. Но это означает также и то, что материал с одинаковым размером зерна может обладать различными прочностными и коррозионными характеристиками в зависимости от показателя его КСИФ. Большее содержание фаз обработки делает ярко

выраженной строчечную структуру материала листов [13] и плит [14], способствуя их коррозионному повреждению [15].

Пример повреждённого листа из сплава АМгб толщиной 10 мм (8...10 балл по [10]) после нахождения в течение нескольких месяцев в условиях не отапливаемого помещения приведён на рисунке 1. Вид коррозионных повреждений на поверхности аналогичного листа после 10 лет нахождения в отапливаемом производственном помещении представлен на рисунке 2.

Повышенное значение показателя КСИФ предопределяет склонность материала к коррозионным повреждениям, и наоборот. В частности, горячекатаные листы и плиты со строчечной структурой материала и повышенным значением КСИФ, подвержены ускоренному разрушению по механизму расслаивающей коррозии, как это показано на рисунках 1 и 2. Важно, что нанесение специальных покрытий на поверхность получаемых из алюминий-магниевого сплавов деталей, также не гарантирует их достаточную коррозионную стойкость [15]. Это значит, что искомая цель повышения коррозионной стойкости металлического материала должна достигаться другими методами, а именно, специальным образом построенным порядком технологических воздействий в процессе его изготовления.

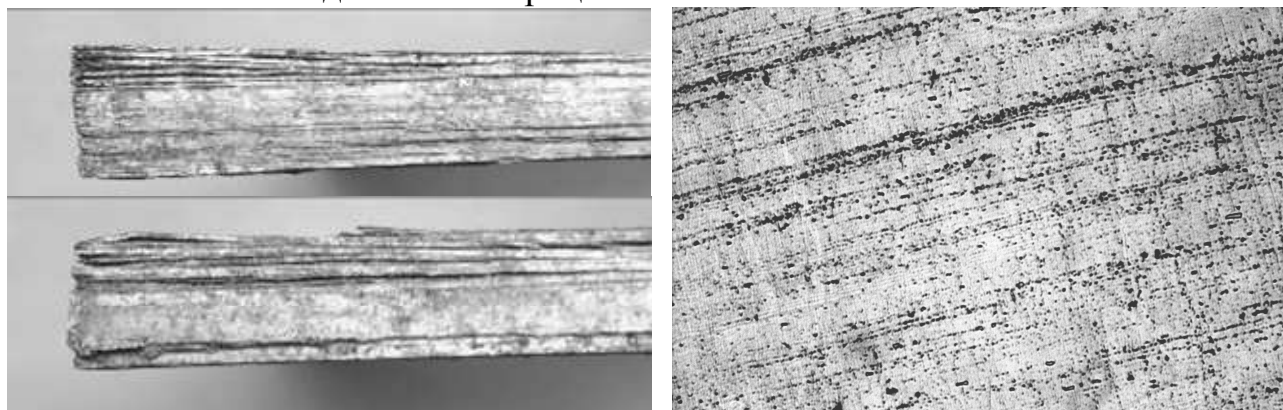


Рис. 1. Коррозионное расслоение материала листа из сплава АМгб толщиной 10мм и его строчечная микроструктура до разрушения, 120[×]

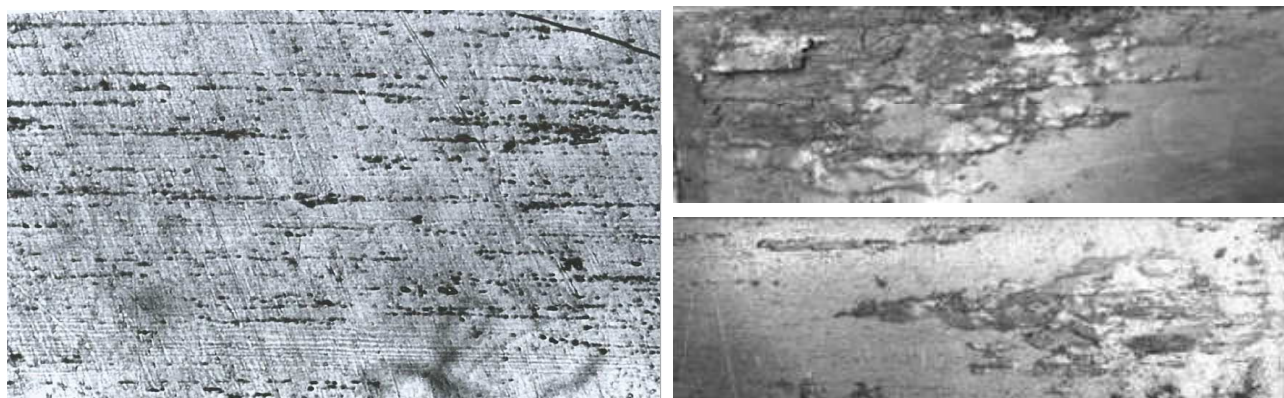


Рис. 2. Строчки интерметаллидов в материале листа (слева, 240[×]) и строчечное коррозионное поражение его поверхности (справа, 2[×])

Таким образом, КСИФ, и в частности, количественное содержание фаз горячей обработки, представляет собой один из комплексных показателей качества материала [15]. Он является функцией от условий технологических

переделов, которым он подвергался, и в то же время, определяет такой его показатель, как коррозионная стойкость. Поэтому в процессе получения проката, в материале которого, в отличие, например, поковок [5, 7, 15], очень сложно обеспечить ненаправленную структуру материала, следует уделять особое внимание равномерности его деформационной проработки, получению по возможности мелкозернистой структуры, и равномерному распределению фаз горячей обработки. На основании рекомендаций [8, 9], целесообразно ограничивать температуру нагрева заготовок перед горячей прокаткой величиной 380...400⁰С.

Выводы

1. Особенностью алюминиево-магниевых сплавов группы АМг является склонность к образованию в процессе деформационной обработки интерметаллических соединений, состоящих исключительно из основных компонентов твёрдого раствора, а именно, Mg₂Al₃ и Mg₅Al₈. Количественно их образование теоретически не ограничено, и напрямую связано с интенсивностью и неравномерностью деформационной обработки металлического материала.

2. Поскольку образование соединений Mg₂Al₃ и Mg₅Al₈ слабо связано с чистотой химического состава металлического материала, для обособления от других интерметаллидов, образование которых связано с содержащимися в исходном расплаве примесями, их целесообразно классифицировать как фазы горячей обработки, таким образом, подчёркивая природу их возникновения.

3. Количественное содержание интерметаллидных фаз в металлическом материале целесообразно учитывать в виде одноимённого показателя КСИФ. В зависимости от величины этого показателя, материалы с одинаковым размером зерна могут существенно различаться по своим свойствам, в частности, стойкости к развитию коррозионных повреждений.

4. Для наилучшей сопротивляемости коррозионным процессам материала горячекатаных листов и плит из алюминиево-магниевых сплавов, и в частности, сплава АМг6, необходимо обеспечить по возможности наименьшее значение КСИФ и наиболее равномерное их распределение в металлическом материале, при этом температуру нагрева заготовок перед прокаткой следует ограничивать величиной 380...400⁰С.

Список литературы

1. ГОСТ 4784-2019 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. – М.: Стандартинформ, 2019. – 31 с.
2. Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.Н. и др. Металловедение алюминия и его сплавов / Справ. под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
3. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. Головкин П.А. Влияние режимов горячей деформации на коррозионные свойства сплавов АМг3 и АМг6 // Коррозия: материалы, защита. 2005. №7. С. 2-5.
5. Головкин П.А. Управление деформированной структурой алюминиево-магниевых сплавов // Технология металлов. 2005. №11. С. 10-16.
6. Галкин В.И., Головкин П.А. О влиянии механизмов деформации на структуру и свойства металлического материала // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. №5. С. 207-214.

7. Головкин П.А. Повышение качества корпусов микросборок управлением структуры их материала // Тезисы докл. междунар. научн.-практ. конф. «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению». Секция 5 «Прогрессивные технологии и процессы в машиностроении». – Комсомольск-на-Амуре: КнАГУ, 2022. – С. 353-355.
8. Синявский В.С., Истомина В.В., Уланова В.В. Исследование термомеханической обработки сплавов системы Al-Mg с целью повышения их коррозионной стойкости // Коррозионностойкие конструкционные сплавы. Труды ВИАМ. 1975. Вып. 7. С. 93-103.
9. Амбарцумян С.М., Кондратьева Н.Б. и др. Коррозионная стойкость свариваемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg // Алюминиевые сплавы. Свариваемые сплавы. Труды ВИАМ. 1969. Вып. 6. С. 27-36.
10. ГОСТ 9.904-82. Единая система защиты от коррозии и старения. Сплавы алюминиевые. Метод ускоренных испытаний на расслаивающую коррозию / Взамен ГОСТ 9.018-74 с 01.07.1983г. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.
11. ОСТ 92-1619-87. Заготовки штампованные из алюминиевых сплавов. Типовой технологический процесс горячей объемной штамповки. – М.: ЦНИИТМаш, 1987. – 44 с.
12. Бокштейн Б.С., Капецкий Ч.В., Швиндлерман Л.С. Термодинамика и кинетика границ зёрен в металлах. – М.: Металлургия, 1986. – 224 с.
13. ГОСТ 21631-76. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2008. – 29 с.
14. ГОСТ 17232-99. Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 12 с.
15. Головкин П.А. Повышение качества корпусов микросборок электронных СВЧ-приборов с использованием ковочных операций // Технология машиностроения. 2020. №9. С. 5-7.

Сведения об авторе:

Павел Александрович Головкин – к.т.н., начальник лаборатории входного контроля материалов.

УДК 006.072

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ СТАНДАРТИЗАЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕЙСТВУЮЩИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ И ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СТАНКОСТРОЕНИЯ

Сафин Э.В., Беляева Д.В.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

Ключевые слова: национальная и межгосударственная стандартизация, технический комитет по стандартизации, программа национальной стандартизации, металлорежущие станки, деревообрабатывающие станки, аспекты стандартизации.

Аннотация. В статье оцениваются перспективы стандартизации в станкостроении в современных условиях развития отрасли и на основе выполненного укрупненного анализа действующих межгосударственных и национальных стандартов на металлорежущие и деревообрабатывающие станки по годам утверждения стандартов, по аспектам стандартизации, а также по принятой основе для разработки стандартов.

EVALUATION OF THE PROSPECTS FOR STANDARDIZATION OF MACHINE TOOLS AND WOODWORKING MACHINES BASED ON AN ANALYSIS OF EXISTING NATIONAL AND INTERSTATE STANDARDS AND THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE MACHINE TOOL INDUSTRY

Safin E.V., Belyaeva D.V.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

Keywords: national and interstate standardization, technical committee for standardization, national standardization program, machine tools, woodworking machines, aspects of standardization.

Abstract. The article evaluates the prospects for standardization in the machine tool industry in the current conditions of the industry development and on the basis of a comprehensive analysis of the current interstate and national standards for metal-cutting and woodworking machines by the years of approval of the standards, by the aspects of standardization, as well as by the accepted basis for the development of standards.

Данное исследование было выполнено в рамках работ технического комитета по стандартизации ТК 070 «Станки» [1, 2]. Кроме текущей работы по пересмотру и разработке стандартов, крайне важным является понимание перспектив стандартизации в конкретной предметной области. Основным документом, в котором определены долгосрочные целевые значения развития станкостроения в России на сегодняшний день является Стратегия развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года [3].

Для оценки перспектив стандартизации в станкостроении, нами был выполнен укрупненный анализ более чем трехсот действующих межгосударственных и национальных стандартов на металлорежущие и деревообрабатывающие станки по годам утверждения стандартов, аспектам стандартизации и принятой основе для разработки стандартов.

По результатам выполненного анализа был сделан вывод о том, что более 75% действующих на территории РФ стандартов на станки были разработаны, утверждены и введены в действие в 1970-х – 1990-х годах 20 века. Это свидетельствует о том, что существенная часть их содержания устарела, а сами стандарты, безусловно, требуют пересмотра. Основными аспектами стандартизации традиционно являются параметры, размеры и ряды самих станков, их основных элементов; безопасность; методы проверки и испытаний; терминология; номенклатура показателей качества и другие аспекты. В этой связи представляется актуальной как разработка стандартов с теми же аспектами стандартизации, но применительно к инновационным станкам, так и реализация новых аспектов стандартизации, связанных с развитием цифровизации, формированием Индустрии 4.0 и другими современными направлениями развития промышленности и, в частности, станкостроения.

Можно отметить, что в отечественной практике применяются стандарты, разработанные либо на основе международных и региональных стандартов (ИСО, МЭК, ЕН), либо на базе отечественных разработок. Межгосударственные и национальные стандарты, принятые и введенные в действие 2000-х – 2010-х годах, более чем на две трети являются переводами международных и региональных стандартов. С одной стороны, это является положительным моментом, связанным с обеспечением соответствия выпускаемой продукции международным требованиям, а с другой – свидетельствует об острой нехватке современных отечественных разработок в сфере станкостроения.

Список литературы

1. ГОСТ Р 1.1–2020 Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации и проектные технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности. [Электронный ресурс]. – URL: <http://consultant.ru>.
2. ГОСТ Р 1.14–2017 Стандартизация в Российской Федерации. Программа национальной стандартизации. Требования к структуре, правила формирования, утверждения и контроля за реализацией [Электронный ресурс]. – URL: <http://consultant.ru>.
3. Распоряжение Правительства РФ от 05.11.2020 N 2869-р «Об утверждении Стратегии развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. – URL: <http://consultant.ru>.

Сведения об авторах:

Сафин Эдуард Вилардович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой стандартизации и метрологии;

Беляева Дарья Вячеславовна – инженер кафедры стандартизации и метрологии.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТУЛЬСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПЕДАГОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМ. Л.Н. ТОЛСТОГО

Лукиенко Л.В.

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула

Ключевые слова: конкурентоспособные специалисты, комплексная подготовка, сочетание теоретической и практической подготовки, научно-исследовательская работа студентов.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы подготовки конкурентоспособных технических специалистов в условиях Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого. Показано, что решить эту важную народно-хозяйственную задачу возможно только при тесном сочетании теоретической и практической составляющей обучения. При этом теоретическая подготовка специалиста должна иметь комплексный характер, обусловленный острым дефицитом аудиторного времени и значительным объёмом необходимых знаний. Обоснована важность участия обучающихся в научно-исследовательской работе.

MODERN PROBLEMS OF TRAINING COMPETITIVE TECHNICAL SPECIALISTS AT THE TOLSTOY TULA STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

Lukienko L. V.

Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy, Tula

Keywords: competitive specialists, comprehensive training, combination of theoretical and practical training, research work of students.

Abstract. The article deals with the issues of training competitive technical specialists in the conditions of the Tolstoy Tula State Pedagogical University. It is shown that it is possible to solve this important national economic task only with a close combination of the theoretical and practical components of training. At the same time, the theoretical training of a specialist should be of a complex nature, due to an acute shortage of classroom time and a significant amount of necessary knowledge. The importance of students' participation in research work is substantiated.

Вопросам подготовки конкурентоспособных специалистов с техническим образованием в настоящее время уделяется значительное внимание в трудах российских учёных Подрезова К.А. [1], Задорожной Е.К. [2], Соловьёва В.П. [3] и других учёных [4]. В своих работах они рассматривали вопросы подготовки специалистов в условиях стабильного развития. Однако, вопросам подготовки конкурентоспособных специалистов в условиях быстро меняющихся требований производства и острой нехватки аудиторного фонда времени уделено недостаточно внимания. Современный конкурентоспособный специалист должен стремиться к постоянному совершенствованию уровня своей подготовки, к достижению качественного конечного результата выполняемой производственной задачи, уметь отстаивать своё мнение и, самое главное, уметь отвечать за принятые решения.

Кафедра Агроинженерии и техносферной безопасности ТГПУ им. Л.Н. Толстого проводит подготовку бакалавров и магистров по направлениям подготовки «Агроинженерия» и «Техносферная безопасность». Востребованность этих специалистов для предприятий Тульской области, обладающей весьма развитым промышленным производством и агропромышленным комплексом не вызывает сомнений. В связи с ростом потребности продукции агропромышленного и промышленно-технологического комплекса отечественного производства подготовка специалистов не мыслима без тесного контакта с представителями производства. Это обусловлено также и необходимостью соответствовать требованиям профессиональных стандартов для выше указанных профилей подготовки. Студенты кафедры помимо теоретической части подготовки знакомятся с условиями практического производства на предприятиях агропромышленного комплекса Тульской области (ЗАО Заря, ЭкоНива – Техника, СПК Приупские зори, ООО Ордена Ленина Племзавод Новая жизнь, ЗАО Газон), а также на промышленных предприятиях (АО Тулачермет, Тульский завод РТИ, Росприроднадзор по Тульской области, МЧС, ОАО Пластик). При выполнении практической части обучения студенты знакомятся с особенностями производственного процесса, а также задачами, которые необходимо ежедневно решать специалистам тех направлений подготовки, по которым они проходят обучение.

За время подготовки студенты в соответствии с учебными планами проходят полную базовую инженерную подготовку, изучая теоретическую механику (4 зачётных единицы), эксплуатационные материалы (3 з.е.), метрологию, стандартизацию и сертификацию (3 з.е.) с выполнением лабораторных работ (изучение методов работы с штангенциркулем и микрометром, определение шероховатости поверхности с использованием профилометра, расчёт посадок и назначение полей допусков, изучение методов расчёта размерных цепей, нормирование точности метрической резьбы, шпоночных и шлицевых соединений, отклонений формы и поверхностей деталей машин), материаловедение (5 з.е.), сопротивление материалов (6 з.е.) с выполнением комплекса лабораторных работ (определение характеристик прочности и пластичности материала при испытании на растяжение, определение характеристик прочности материала при испытании на кручение), теорию механизмов и машин (4 з.е.) с выполнением лабораторных работ (определение кинематических характеристик стержневых механизмов методом планов и диаграмм, определение к.п.д. пары «винт-гайка», изучение кинематических характеристик кулачковых механизмов, установление геометрических параметров зубчатых передач, определение качественных параметров зубчатых передач, методы статической балансировки механизмов) детали машин (с выполнением курсового проекта) (5 з.е.).

С целью развития студентами умения излагать свои мысли и отстаивать своё мнение по выполняемому техническому заданию кафедра приветствует участие в различных научных конференциях и конкурсах. Подтверждением высокого уровня подготовки студентов, обучающихся на кафедре Агроинженерии и техносферной безопасности являются дипломы победителей в

конкурсе на лучшую научную работу по охране труда и безопасности жизнедеятельности, проводимом Министерством труда и социальной защиты Тульской области.

В конце обучения, при подготовке выпускной квалификационной работы (ВКР), студентам предлагается для решения задание, имеющее практическое значение для предприятия, в соответствии с производственными условиями которого выполняется ВКР.

Список литературы

1. Подрезов К.А. Научно-исследовательская работа студентов ТГПУ им. Л.Н. Толстого: грани, возможности, перспективы // *Время науки*. ТГПУ им. Л.Н. Толстого. 2015. №4. С. 9-11.
2. Задорожня Е.К., Масыч М.А., Паничкина М.В. Проблемы подготовки конкурентоспособных специалистов // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. №3(92). С. 94-103.
3. Соловьев В.П., Крупин Ю.А., Перескокова Т.А. Использование модели профессиональной среды для подготовки инженеров // *Высшее образование сегодня*. 2015. №3. С. 9-15.
4. Подготовка конкурентоспособного специалиста как цель современного образования: материалы международной научно-практической конференции 20-21 ноября 2011 года. – Пенза – Улан-Удэ – Семей: Научно-издательский центр «Социосфера», 2011. – 249 с.
5. Лукиенко Л.В. Обучение предметам общетехнического профиля с использованием современных педагогических технологий: из опыта работы преподавателя ТГПУ им. Л.Н. Толстого // *Известия Тульского государственного университета. Педагогика*. 2021. № 2. С. 20-24.

Сведения об авторе:

Лукиенко Леонид Викторович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой.

КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ

Бирюкова И.П.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж

Ключевые слова: высшее инженерное образование, физический практикум, компетентностно-ориентированные задания.

Аннотация. В докладе описывается разработанная система компетентностно-ориентированных заданий, направленная на изучение упругих деформаций и упругих волн в анизотропных материалах с использованием математического моделирования. Представленные задания рекомендуются для формирования и диагностики исследовательских компетенций в рамках физических практикумов на младших курсах инженерных вузов.

COMPETENCE-ORIENTED TASKS IN A PHYSICAL PRACTICUM

Biryukova I.P.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh

Keywords: higher engineering education, physical practicum, competence-oriented tasks.

Abstract. The report describes the developed system of competence-oriented tasks aimed at studying elastic deformations and elastic waves in anisotropic materials using simulation. The presented tasks are recommended for the formation and diagnosis of research competencies in physical workshops at junior courses of engineering universities.

Реализация компетентностного подхода на всех этапах обучения является необходимым условием обеспечения качества современного высшего инженерного образования. В частности, изучение физики на младших курсах дает возможность развития у студентов компетенций в сфере применения законов и методов данной науки для решения профессиональных задач. Большим потенциалом для этого обладает физический практикум, позволяющий дополнять традиционные лабораторные работы компетентностно-ориентированными заданиями, которые рассматривают изучаемые физические явления и закономерности в контексте будущей профессиональной деятельности. При существующих ограничениях на содержание компетентностно-ориентированных заданий вследствие сложности теоретического описания физических процессов в реальных технических системах и недостаточным развитием у студентов младших курсов навыков проведения экспериментальных исследований и работы со сложным измерительным оборудованием целесообразно использовать математическое моделирование.

Объектами деятельности специалистов технического и технологического профилей часто являются многокомпонентные неоднородные материалы, обладающие существенной анизотропией. Изучение теоретического описания таких материалов выходит за рамки большинства курсов общей физики, но

целесообразность рассмотрения анизотропных сред для ряда инженерных специальностей не вызывает сомнений.

В качестве примера рассмотрим компетентностно-ориентированные задания, которые могут быть рекомендованы для студентов, обучающихся по специальностям и направлениям подготовки, связанным с деревообработкой. Данные задания предполагают создание компьютерных моделей и исследование с их помощью механических свойств древесины [1].

Компетентностно-ориентированное задание, направленное на изучение упругих свойств древесины, предназначено для ознакомления обучающихся с методами расчета физических величин, характеризующих упругие деформации анизотропных материалов. Применяемая физическая модель основана на обобщенном законе Гука. При этом тензоры упругой жесткости и упругой податливости составляются по справочным данным средних значений модулей упругости, сдвига и коэффициентов поперечной деформации в продольном, радиальном и тангенциальном направлениях для различных пород древесины [2]. Предлагается рассчитать относительные деформации, возникающие вдоль главных осей анизотропии древесины, а также в произвольных направлениях, по известным напряжениям различного вида. Студенты учатся правильно выбирать системы координат в зависимости от поставленной задачи, преобразовывать составляющие тензоров деформаций, напряжений, жесткости и податливости при переходе от одной системы координат к другой.

При выполнении задания на исследование упругих волн в древесине моделируется процесс распространения упругих гармонических волн, и вычисляются фазовые скорости и составляющие векторов поляризации для различных направлений распространения фронта волны относительно главных осей анизотропии. По результатам моделирования выявляются особенности упругих волн в анизотропных средах [3].

Представленные компетентностно-ориентированные задания рекомендуются как для формирования компетенций в сфере моделирования и исследования свойств анизотропных материалов, так и для оценивания уровней сформированности данных компетенций.

Список литературы

1. Бирюкова И.П. Комплект программ «Упругие деформации и упругие волны в древесине»// Инновации в науке и образовании. – 2007. – №5. – С. 10.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине/ Под. ред. Б.Н. Уголева. – М: Лесн. пром-ть, 1989. – 293 с.
3. Петрашень А.Ю. Распространение звука в анизотропных средах. – Л: Наука. Ленингр. отделение, 1980. – 280 с.

Сведения об авторе:

Бирюкова Ирина Петровна – к.п.н., доцент, доцент кафедры физики и химии.

Научное периодическое издание

Машиностроение: ИННОВАЦИОННЫЕ аспекты развития:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 4,01.
Подписано в печать 26.04.22г. Заказ №22-08.
<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2022-5>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,
г.Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.
<http://srcms.ru>
E-mail: spbf@srcms.ru