

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Таразский инновационно-гуманитарный университет

Севастопольский государственный университет

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Омский государственный университет путей сообщения

ISSN 2658-6185

МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ. НАУКА И ПРАКТИКА

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Санкт-Петербург, 2022

УДК 531 : 621.01
ББК 34.4
М55

М55 Механика и машиностроение. Наука и практика:
Материалы международной научно-практической конференции.
– Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – №5. – 125 с. – DOI:
10.26160/2658-6185-2022-5.

Представлены материалы V международной научно-практической конференции «Механика и машиностроение. Наука и практика» (9 декабря 2022г.). Направления работы конференции: 1) Проблемы высшей школы в области машиностроения; 2) Механика деформируемого твердого тела; 3) Теория механизмов и машин; 4) Динамика и прочность машин; 5) Мехатроника и робототехника; 6) Технология машиностроения; 7) Машины, агрегаты и процессы; 8) Аддитивные технологии и производство; 9) Экономика и организация машиностроительного производства; 10) Инновационные проекты в машиностроении.

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 – заведующий кафедрой машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, директор НИЦ «МашиноСтроение» (г.Санкт-Петербург), д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

Баубеков Сабит Джумабаевич – начальник научного отдела ТИГУ (г.Тараз), д.т.н., профессор;

Бохонский Александр Иванович – профессор кафедры «Цифровое проектирование», СевГУ (г.Севастополь), д.т.н., профессор;

Евграфов Александр Николаевич – заведующий кафедрой теории механизмов и машин СПбПУ (г.Санкт-Петербург), к.т.н., доцент;

Стихановский Борис Николаевич – профессор кафедры информатики, прикладной математики и механики ОмГУПС (г.Омск), д.т.н., профессор.

ISSN 2658-6185

© Авторы, 2022
© НИЦ МС, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Проблемы высшей школы в области машиностроения

Бушева А.Г., Феофанов А.Н. История развития квалитетного анализа	6
Прохоров В.А., Федотов А.А. Профессиональные компетенции инновационной образовательной программы машиностроения	10
Лукиенко Л.В. Проблемы организации инженерной подготовки учителей технологии при изучении курса «Прикладная механика» в рамках «Ядра педагогического образования»	14

Механика деформируемого твердого тела

Клебанов Я.М., Бражникова А.М. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния в контакте торцов ролика и борта кольца конического роликоподшипника	17
Ли Сяньшунь, Седакова Е.Б., Цзян Юйцян. Исследование влияния дисперсного наполнителя на условия образования и прочность адгезионной пленки переноса при фрикционном взаимодействии политетрафторэтилена и Ф4К20 со сталью	20
Борисова М.З. Влияние размера зерна на износостойкость металлических материалов	26

Мехатроника и робототехника

Назаров А.А. Обзор сканирующего лидара применительно к робототехническим системам	28
--	----

Технология машиностроения

Во Фан Тхань Дат, Нгуен Хань Тоан, Бурлаков И.А. Построение реологических модели алюминиевого сплава RS-356	31
Егоров М.К., Феофанов А.Н. Система управления рисками на машиностроительном предприятии	35
Васильков Д.В., Кочина Т.Б., Файзиматов Б.Н. Исследование устойчивости технологической системы при растачивании отверстий	39
Васильков Д.В., Кочина Т.Б. Регламентированные параметры и непараметрические характеристики шероховатости поверхности	44

Романенко М.Д., Баринев В.В. Влияние режимов комбинированного упрочнения на усталостную долговечность и износостойкость титанового сплава BT22	48
Пипкин Ю.В., Таровик А.Б., Лавренчук К.П. База настройки в конструкциях станочных приспособлений	50
Куфаев В.Г. Способ магнитно-абразивной обработки поверхностей бронзовых вкладышей подшипников скольжения.....	55
Сорокопуд Н.И. Магнитно-абразивная обработка алюминиевых поверхностей элегазовых трансформаторов.....	59
Магда А.В., Соколов Е.Г. Получение фасонных алмазных инструментов вакуумной пайкой твердыми припоями	63
Максимов Д.Д. Особенности формирования магнитного поля при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей.....	66

Машины, агрегаты и процессы

Кудусов Д.И. Экспериментальная установка для исследований эффективности гидроструйного насоса при работе в составе дожимной станции	68
Теплякова А.В., Лягова А.А. К вопросу об оценке влияния геометрических и эксплуатационных факторов на срок службы подводных резервуаров	71
Мальцев М.В., Власов В.В. Разработка устройства для удаления газа из жидкости	74
Речицкий С.В., Речицкий А.С. Перспектива создания рабочих органов дорожных катков с регулируемым воздействием на уплотняемый дорожно-строительный материал	77
Валеев К.В., Назипова Л.Р., Попов А.А. Установка для измельчения плодов ягод	82
Попов И.В., Дручинин Д.Ю., Попиков П.И., Говоруха А.Ю. Универсальное почвообрабатывающее орудие для подготовки посадочных мест на вырубках.....	84
Щетинин В.С., Космынин А.В., Хвостиков А.С., Смирнов А.В. Экспериментальный стенд для исследования газостатических конических опор.....	86
Хвостиков А.С., Смирнов А.В. Регулируемые газовые опоры шпиндельных узлов металлорежущих станков	89
Иванов Д.Ю. Конструктивные параметры рабочего органа дозирующей системы машины для внесения концентрированных твердых органических удобрений	92

Авцинов И.А., Суханова Н.В., Никель С.А., Елфимов С.А. Технические решения задач манипулирования штучными изделиями на устройствах с газовой смазкой.....	94
Мишанов А.П. Лабораторный светильник для выращивания растений с использованием вертикального гидропонного модуля	97

Инновационные проекты в машиностроении

Герасимова А.А., Ибрагимов Х.Ф. Разработка миниатюрных встраиваемых сенсоров температуры и механических напряжений на основе аморфных ферромагнитных микропроводов для применения в зубных имплантатах.....	99
Решетникова А.В., Феофанов А.Н. Автоматизация анализа оценки качества технической документации на изделие машиностроения.....	102
Жуков В.С., Самойлова Е.М. Схемы включения подогревателя газа на турбодетандерных установках	109
Поздняков А.К. Обзор кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа грунтомета-полосопрокладывателя на виртуальном стенде в лесных условиях	111
Лоренц А.С., Полвинен Д.А., Пономарев К.А., Комиссаров П.И., Кубинский А.Б. Установки водопонижения (устройство, типы, принципы работы)	113
Жужукин Н.В. Разработка оптимальных стратегий высева лесных семян в питомниках лесостепной зоны, настройка и управление сеялками с их компонентами для максимального увеличения урожайности во время высева.....	117
Затылкин А.В. Моделирование влияния внешних механических воздействий на стержневые конструкции радиотехнических устройств	120

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Бушева А.Г., Феофанов А.Н.

*Московский государственный технологический университет "СТАНКИН",
Москва*

Ключевые слова: квалиметрия, квалиметрический анализ, история квалиметрии.

Аннотация. В данной статье описана важность и актуальность развития квалиметрии в рамках Указов Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 гда». Рассмотрены основные этапы развития квалиметрии как науки. Представлены важнейшие определения, касающиеся данной тематики. Описаны актуальные задачи, которые решает квалиметрия.

HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF QUALIMETRIC ANALYSIS

Busheva A.G., Feofanov A.N.

Moscow state university of technology "STANKIN", Moscow

Key words: qualimetry, qualimetric analysis, history of qualimetry.

Abstract. This article describes the importance and relevance of the development of qualimetry within the framework of Decrees of the President of the Russian Federation dated May 7, 2018 No. 204 "On national goals and strategic objectives for the development of the Russian Federation for the period up to 2024" and dated July 21, 2020 No. 474 "On national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030". The main stages in the development of qualimetry as a science are considered. The most important definitions related to this topic are presented. The actual tasks that qualimetry solves are described.

Современный мир невозможно представить без автоматизации. Она представлена абсолютно во всех сферах нашей жизни.

В рамках реализации Указов Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», в том числе с целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, Правительством Российской Федерации сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7 [1].

Из этого следует, что информационные продукты, обеспечивающие автоматизацию, должны становиться доступнее, а их применение должно приобретать повсеместный характер. Решение этой задачи напрямую связано с развитием квалиметрии и квалиметрического анализа.

Квалиметрия (происходит от латинского «квали» (qualitas – качество или qualis – качественный) и греческого «метрия» (metreo – измеряю) – область

науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции. [2] Объектом квалиметрии может являться все, с чем сталкиваются люди в процессе товарообмена: продукция, услуги и информация [3].

Основная цель квалиметрии – это разработка и улучшение уже существующих методик, позволяющих выражать качество оцениваемого объекта одним числом, в зависимости от степени удовлетворения потребности. Для того, чтобы оценить качество продукции необходимо выбрать номенклатуру показателей качества, определить значения выбранных показателей и сопоставить их с базовыми. В отличие от метрологии, все измерения в квалиметрии производят на основании аналитических или экспертных методов, не прибегая к использованию технических средств [4].

Показатель качества продукции является количественной характеристикой одного или нескольких свойств продукции, которые проявляются в определенных условиях ее создания, эксплуатации и потребления [2]. Иными словами, показатель качества – это выражение свойства в конкретных условиях и позволяет судить о наличии своего свойства. При изменении свойств продукции, изменяются и показатели качества [5].

История развития квалиметрии берет свое начало с XV века до нашей эры, именно тогда гончары с острова Крит начали обозначать свою продукцию специальным знаком, который информировал о высоком качестве их продукции. Различные знаки качества до сих пор используются различными производителями.

После появления фирменных знаков распространение получил так называемый экспертный метод оценки качества продукции. Он основывается на методе учета коллективных оценок. Первый задокументированный случай применения данного метода относится к дегустации вин.

Развитие международной торговли, производств, а также увеличение числа различных товаров в XVI веке подтолкнуло к появлению такой научной дисциплины, как товароведение. Первая кафедра товароведения была организована в 1549 г. в Италии при Падуанском университете [6].

Алексей Николаевич Крылов – российский академик и кораблестроитель был первым, кто обосновал и применил аналитический метод оценки качества продукции (конец XIX века). Его метод состоял в подборе коэффициентов, с помощью которых производилась оценка качества проектов кораблей.

В период активной индустриализации 20-30-х годов XX века применение методов количественной оценки качества продукции активно развивались и получали практическое применение. Наиболее яркие представители – физик Перси Уильямс Бриджмен, доктор технических наук Аронович Марк Айзерман и священник Русской православной церкви, богослов, религиозный философ, поэт, учёный, инженер Павел Александрович Флоренский.

В годы «холодной войны», помимо военно-политической борьбы особое внимание уделялось экономической борьбе, победа в которой напрямую зависела от качества выпускаемой продукции.

Квалиметрия присутствовала во многих научных и производственных сферах, но как самостоятельная наука сформировалась лишь в конце 60-х годов

XX века. К тому моменту было разработано множество различных эмпирических, статистических и экспертных способов оценки качества. Они применялись учеными из разных стран, но единой методики, которая позволяла бы достоверно определять уровень качества не существовало, что затрудняло оценку качества выпускаемой продукции. Между тем квалиметрия охватывает все новые сферы, не только оценка качества выпускаемой продукции, но и оценка качества объектов любой природы, в том числе социально-экономические объекты, такие как качество жизни [3].

Все это привело к тому, тогда группа советских ученых, убедившись в методической общности существующих разнообразных способов количественных оценок разных объектов, решила осуществить теоретическое обобщение этих способов путем разработки самостоятельной научной дисциплины под названием «квалиметрия».

Группа советских ученых в составе военного инженера-строителя Г.Г. Азгальдова, инженеров-машиностроителей З.Н. Крапивенского, Ю.П. Кураченко и Д.М. Шпекторова, экономистов в области авиастроения А.В. Гличева и В.П. Панова, а также архитектора М.В. Федорова опубликовало статью в январском номере «Стандарты и качество» (1968 год) с представлением квалиметрии. Статья сообщала о том, что квалиметрия, как наука изучает проблематику измерений качеств и разрабатывает методологии и методы количественной оценки качества объектов любой природы: материальных и нематериальных, одушевленных и неодушевленных, предметов и процессов, продуктов труда и природы и т.д. В статье доказывалась принципиальная возможность выражать качество объекта одним количественным показателем, несмотря на множественность его различных свойств и признаков [6].

Квалиметрия, по сравнению с другими науками, считается достаточно новой наукой, но вне зависимости от этого имеет связи с различными научными областями.

Актуальность развития квалиметрии состоит в том, что она позволяет решать следующие задачи:

- проверка на соответствие качества продукции требуемому, для дальнейшей оценки целесообразности его повышения [7];
- решение задач, связанных с оптимизацией качества продукции, т.е. определение оптимальных характеристик, позволяющих обеспечить максимально эффективное использование продукции по назначению при минимально возможных затратах ресурсов и соблюдении принятых норм безопасности и охраны окружающей среды [7];
- модернизация технологии производства [7];
- управление качеством продукции, оно включает в себя нахождение оптимального управляющего воздействия [7];
- сравнение различных видов продукции [7];
- сокращение номенклатуры продукции (сырья, материалов и др.) до некоторого рационального минимума, необходимого и достаточного для удовлетворения основных потребностей в различных сферах ее применения, что создает предпосылки для концентрации и специализации ее производства [8].

При этом, пожалуй, самым важным является то, что количественная оценка обеспечивает возможность оптимизации качества продукции на стадии ее проектирования и тем самым обеспечивает уверенность в том, что проблемы предупреждаются, а не выявляются после возникновения [9].

Перспективы развития квалиметрии безграничны, т.к. производители всегда будут бороться за повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции, а покупатели будут выбирать продукцию, информация о которой полная и достоверная.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>.
2. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1979-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 21 с.
3. Гончарова А.М. Понятие квалиметрии // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 215-217.
4. Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Метрология и квалиметрия: вопросы идентификации // Мир измерений. – 2010. – № 1. – С. 4-7.
5. Соколова Е.А. Количественная оценка качества или квалиметрия // Международный академический вестник. – 2019. – № 9(41). – С. 24-26.
6. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П., Гличев А.В. О квалиметрии. – М.: Стандартиздат, 1973. – 172 с.
7. Вихтинская А.Р. Перспективы развития квалиметрии // IX Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство", Белгород, 01-10 октября 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 2000-2004.
8. Швандар В.А., Панов В.П., Купряков Е.М. Стандартизация и управление качеством. – М.: Юнити, 2000. – 487с.
9. Волковинский В.В., Грюнталь С.Б. Сертификация // Стандарты и качество. – 2003. – №6. – С. 76-77.

Сведения об авторах:

Бушева Анна Геннадьевна – аспирант;

Феофанов Александр Николаевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной графики.

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Прохоров В.А., Федотов А.А.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, Якутск

Ключевые слова: автоматизация машиностроения, профессиональные стандарты, профессиональные компетенции.

Аннотация. Устанавливается цель проектирования образовательной программы как подготовка кадров для продвижения разработки и внедрения инновационных автоматизированных технологий и производств. Проанализированы профессиональные стандарты машиностроительного комплекса и за основу приняты и сформулированы профессиональные стандарты и области профессиональной деятельности.

PROFESSIONAL COMPETENCIES OF THE INNOVATIVE EDUCATIONAL MECHANICAL ENGINEERING PROGRAM

Prokhorov V.A., Fedotov A.A.

North-Eastern Federal University, Yakutsk

Keywords: automation of mechanical engineering, professional standards, professional competencies.

Abstract. The goal of designing an educational program is set as training of personnel for the promotion of development and introduction of innovative automated technologies and productions. The professional standards of engineering complex have been analyzed and professional standards and fields of professional activity have been formulated as the basis.

Современное машиностроительное производство характеризуется комплексно автоматизированным производственным процессом. Машиностроительный комплекс, являющийся объектом настоящего исследования, связан со всеми отраслями экономики, так как его продукция используется как средства производства. Укрупненная структура автоматизированного производства состоит из: машин (механизмы, оборудования), средств программирования, телекоммуникационных систем. Следовательно, современное автоматизированное машиностроение является чрезвычайно наукоемкой, сложно-компонентной областью деятельности, требующей знаний в таких направлениях, как механика, электроника, информационные и физико-технические технологии.

Поставленной задаче – проектирование образовательной программы автоматизированного производства на основе профессиональных стандартов машиностроения – наиболее близко соответствующим является бакалаврское образовательное направление «Прикладная механика», входящее в укрупнённое направление «Машиностроение». Проведем краткий обзорный анализ ФГОСЗ++ «Прикладная механика». В образовательном стандарте приведены следующие области профессиональной деятельности: ракетно-космическая промышленность, автомобилестроение, авиастроение, сквозные виды профессиональной деятельности, а также в смежных сферах, в которые можно включить такие, как

судостроение, горное дело, производство электрооборудования, сельское хозяйство, обрабатывающая промышленность и другие. Перечисленные сферы промышленности содержат в себя машины, оборудования, и это стержневое положение объединяет все множество перечисленных сфер деятельности. Для данных областей деятельности устанавливается единое образовательное направление: «надежность деталей, узлов и механизмов». Как приведено в стандарте, общепрофессиональным направлением прикладной механики является базовое образование по проектированию деталей машин и механизмов, инвариантное сферам инженерной деятельности.

Базовыми положениями проектирования конкретной образовательной программы являются компетентностный принцип формирования ООП и ориентация на профессиональные стандарты. Компетентностная парадигма рассматривается как центральная методология построения образовательной программы и отвечает требованиям инновационного развития экономики, потребностям общества и личности [1-3]. Количество и сущность профессиональных компетенций, определяющих количество и содержание дисциплин вариативной части учебного плана, вузы устанавливают самостоятельно на основе положений профессиональных стандартов, требований работодателей и «иных источников». Анализ содержания профессиональных стандартов показывает, что они содержат множество обобщенных трудовых функций без конкретного прикрепления к области деятельности. Т.е., стандарты составлены для специалистов со средним и высшим специальным, бакалаврским и магистерским образованием без конкретизации трудовых функций для них. Обобщенные трудовые функции, приведенные в стандартах, требуют разные трудовые действия, умения и знания. Сравнительный анализ показывает, что требования стандартов далеко не равнозначны содержанию РУП технического высшего образования. Для приобретения какой-либо функции исполнительского характера достаточно прохождение дополнительной профессиональной подготовки. Функции, связанные с проектированием, рассчитаны для специалистов с магистерским образованием. Это приводит к пониманию того, что подготовка таких специалистов, согласно данным профессиональным стандартам, должна формироваться поэтапно. Освоение функций проектирования и конструирования автоматизированных производств возможно при уровневой подготовке кадров через бакалавриат и магистратуру. Даже в одной области требуются различные профессиональные компетенции в зависимости от должности. Компетенции, заложенные в профессиональных стандартах, из-за многофункциональности инженерной деятельности невозможно реализовать только в пределах бакалавриата. Следовательно, по каждой образовательной программе профессиональные компетенции следует составлять обобщенно, с учетом потребностей в знаниях и умениях всех образовательных уровней.

Согласно цели построения образовательной программы по автоматизации производственного процесса, в работе проанализированы профессиональные стандарты машиностроительного комплекса и за основу приняты следующие области профессиональной деятельности: 28 – Производство машин и оборудования (28.008 и 28.033); 32.004 – Специалист по прочностным расчетам

авиационных конструкций; 40 – Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (40.083 – Автоматизированное проектирование технологических процессов). Из просмотренных профессиональных стандартов конкретно ПС 32.004 ориентирован на подготовку специалиста по прочностным расчетам. Перечень необходимых знаний (дисциплин) соответствует образовательной программе «Прикладная механика», которая определена как базовая ОП, указаны возможные должности: инженер механик, инженер конструктор. В профессиональные стандарты по машиностроению, проанализированные выше, включен широкий спектр инженерных функций, в том числе конструирование и проектирование. Обобщая и укрупняя профессиональные потребности базовой профессиональной компетенции, предлагается принять ПК как «Способность проводить расчеты по обеспечению надежности деталей, узлов и механизмов машин с использованием цифровых технологий, и программных средств». Данная компетенция, как профессиональное ядро, является необходимой для освоения функции проектирования сложных машин любого назначения во всех сферах производства. Выпускник бакалавра по данной программе будет обладать теоретической подготовкой для поступления в магистратуру по направлению машиностроения: атомная промышленность, ракетно-космическая промышленность, производство машин и оборудования, производство электрооборудования, судостроение, автомобилестроение, авиастроение и другие. В рекомендуемые профессиональные стандарты по машиностроению включены положения по механизации и автоматизации промышленного производства, включающие трудовые функции по автоматизированному проектированию технологических процессов с требуемыми знаниями по основным принципам работы САД-систем. Согласно поставленным целям проектирования образовательной программы выделенная основная профессиональная компетенция дополняется сформулированными профессиональными компетенциями, затрагивающими автоматизацию технологических процессов и развивающими способности к инновационной деятельности по решению поставленных задач образовательной программы. Сформулированные компетенции внутри себя включают формирование у студентов компетенций, связанных с инновацией, и являются основой выбора соответствующих дисциплин. В заключении, приводим предлагаемые обобщенные профессиональные компетенции данной образовательной программы:

- способность проводить расчеты по обеспечению надежности деталей, узлов и механизмов машин и проектировать машиностроительные изделия с использованием цифровых технологий и программных средств;

- способность использовать автоматизацию и механизацию в технологических процессах;

- способность анализировать различные источники информации научно-инновационного характера и использовать их при решении творческих задач в прикладной механике.

Таким образом, первая из них обеспечивает профессионально ориентированное образование по укрупнённому направлению машиностроение, второе – физико-технологическое профессионально направленное образование и является основной компетенцией для продолжения образования по направлению автоматизированного производства, третье – направлено на развитие инновационных способностей.

Список литературы

1. Горб В.Г. Компетентностный подход в высшем образовании: проблемы и решения // Вопросы Управления. – 2018. – №6(55). – С. 216-223.
2. Мальчик А.Г., Жигалов В.Н. Модель формирования профессиональных компетенций студентов в системе многоуровневого непрерывного профессионального образования // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – С. 262.
3. Микиденко Н.Л., Сторожева С.П., Харламов А.В. Особенности реализации компетентностной модели высшего инженерного образования в условиях современного рынка труда // Science for Education Today. – 2019. – Т. 9., №3. – С. 169-184.

Сведения об авторах:

Прохоров Валерий Афанасьевич – д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика» Инженерно-технического института;

Федотов Андрей Андреевич – старший преподаватель кафедры «Прикладная механика» Инженерно-технического института.

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА» В РАМКАХ «ЯДРА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Лукиенко Л.В.

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

Ключевые слова: инженерная подготовка, прикладная механика.

Аннотация. В работе рассмотрены проблемы организации инженерной подготовки учителей технологии при изучении курса «Прикладная механика» в рамках «Ядра педагогического образования». Показано, что в условиях острого дефицита времени контактной работы в аудитории обеспечить качественное изучение курса можно при использовании расширенного лабораторного практикума с использованием натуральных образцов.

PROBLEMS OF THE ORGANIZATION OF ENGINEERING TRAINING OF TECHNOLOGY TEACHERS WHEN STUDYING THE COURSE "APPLIED MECHANICS" WITHIN THE FRAMEWORK OF THE "CORE OF PEDAGOGICAL EDUCATION"

Lukienko L.V.

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

Keywords: engineering training, applied mechanics.

Abstract. The paper considers the problems of organizing engineering training of technology teachers when studying the course "Applied Mechanics" within the framework of the "Core of pedagogical Education". It is shown that in conditions of an acute shortage of contact work time in the classroom, it is possible to ensure a high-quality study of the course using an extended laboratory workshop using full-scale samples.

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого проводит подготовку учителей по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки): Технология и Безопасность жизнедеятельности и Технология и Экономика. В соответствии с направлением подготовки предполагается, что выпускники этого направления подготовки могут работать в средней школе учителями технологии. Для того, чтобы понимать принцип работы машин и механизмов студенты изучают дисциплины Инженерная и компьютерная графика, Материаловедение и новые материалы, Прикладная механика, Мехатроника и робототехника, 3D-моделирование и прототипирование. Одной из базовых дисциплин инженерной подготовки студентов, обучающихся по этому направлению, является Прикладная механика. Различным аспектам преподавания дисциплины Прикладная механика в университет уделено внимание в работах [1-4]. В соответствии с Ядром высшего педагогического образования объём курса равен 3 зачётных единицы со сдачей зачёта по окончанию изучения. Целью внедрения ядра высшего педагогического образования является обеспечение единого методического подхода к подготовке будущих специалистов в любом ВУЗе страны.

В связи с резким дефицитом аудиторного времени, выделенным на такой сложный предмет, представляется целесообразным чётко определить объём необходимого и достаточного теоретического материала, который необходимо сопровождать изучением лабораторно-практических работ.

Основное содержание курса можно представить следующими разделами: Понятия механизма и машины и их классификация. Элементы механизмов: звенья, кинематические пары, кинематические цепи. Степень подвижности механизма. Понятие о степенях свободы. Кинематическая схема механизма. Для лучшего освоения этого материала его лучше сопровождать лабораторной работой по изучению кинематических характеристик кривошипно-ползунного механизма графическими и аналитическими методами.

Для оценки прочностных параметров проектируемых механизмов необходимо изучить основные законы сопротивления материалов, понятия деформации изгиба, кручения, растяжения и сжатия, а также инженерные качества объектов техники: прочность, устойчивость, динамичность, габаритные размеры, технические данные. Для лучшего усвоения материала его нужно сопровождать лабораторно-практическими работами: определение модуля упругости второго рода, характеристик прочности и пластичности образцов при деформации растяжения – сжатия, определение перемещения элементов двухопорной балки при деформации изгиба.

При изучении раздела Детали машин необходимо затронуть изучение следующих вопросов: механические передачи и их классификация. Передаточное отношение. Детали машин и их соединения. Основные критерии работоспособности и расчета деталей машин. Средства и формы графического отображения объектов и процессов при конструировании, проектировании и моделировании изделий (при изучении материала этого вопроса необходимо уделить особое внимание выполнению несложных проектных заданий в программе КОМПАС, особое внимание уделив при этом возможности пространственного моделирования проектируемых деталей и сборочных единиц).

Необходимо отметить, что изучение и понимание такого сложного материала, который представлен в разделе Детали машин, весьма затруднено без сопровождения, излагаемой в лекциях теоретической части лабораторным практикумом. Для изучения этого раздела могут быть предложены лабораторные работы: определение геометрических параметров зубчатых передач; определение коэффициента полезного действия в паре винт-гайка; изучение основных видов подшипников скольжения и их характеристик; изучение основных конструкций и характеристик муфт в приводах деталей машин.

Как известно, ни одна машина не будет работать без привода. Именно поэтому, в завершающем разделе курса Прикладная механика в соответствии с ядром педагогического образования представлены следующие темы: механика жидкости и газа; свойства жидкостей и газов (краткая характеристика жидкостей и газов, используемых в технических системах); законы движения жидкости и газа (закон Паскаля, закон Архимеда, силы давления жидкости на стенки); принцип работы гидравлических машин (гидроцилиндры, гидромоторы, гидронасосы, устройства распределения жидкости).

В работе рассмотрены методические особенности преподавания курса прикладная механика в условиях острого дефицита аудиторного времени при подготовке бакалавров по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) в Тульском педагогическом университете им. Л.Н. Толстого.

Список литературы

1. Калашников Г.О., Складенко С.А. Методика преподавания дисциплины «Прикладная механика» в рамках формирующейся формы тотального дистанционного образования // Молодой ученый. – 2014. – №1 (60). – С. 532-533. – URL: <https://moluch.ru/archive/60/8829/>
2. Грядунова Е.Н., Горин А.В. Токмакова М.А., Токмаков Н.В. Содержательный аспект предмета прикладная механика в университете // Ученые записки Орловского государственного университета. – 2020. – №2 (87). – С. 161-164.
3. Чупин Д.Ю., Волчек М.Г. Организационно-содержательные аспекты подготовки будущих учителей технологии к применению образовательной робототехники в профессиональной деятельности // Мир науки. Педагогика и психология. – 2021. – Т. 9, №6. – С. 1-12.
4. Мирзабекова О.В., Михайлова М.А. Методика формирования базовых знаний теоретической механики и методов решения задач у студентов технических вузов с применением мультимедийных средств обучения // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 1. – С. 153-158. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35512>.

Сведения об авторе:

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

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В КОНТАКТЕ ТОРЦОВ РОЛИКА И БОРТА КОЛЬЦА КОНИЧЕСКОГО РОЛИКОПОДШИПНИКА

Клебанов Я.М., Бразжникова А.М.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: конический роликовый подшипник, модель напряженно-деформированного состояния, торец ролика, торец внутреннего кольца, контактное взаимодействие, контактная сила, приведенный радиус, конечно-элементное моделирование.

Аннотация. В настоящей статье рассматривается контактное взаимодействие торца ролика и борта внутреннего кольца конического роликового подшипника. Моделирование напряженно-деформированного состояния выполняется методом конечных элементов. Полученные в результате конечно-элементных расчетов поля контактных давлений позволили определить значения предельной контактной силы в зависимости от величины приведенной кривизны контактирующих торцов.

FINITE ELEMENT MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE RIB-ROLLER END CONTACT IN A TAPERED ROLLER BEARING

Klebanov I.M., Brazhnikova A.M.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: tapered roller bearing, stress-strain model, roller end, inner ring end, contact interaction, contact force, reduced radius, finite element modeling.

Abstract. This article discusses the contact interaction of rib-roller end a tapered roller bearing. Simulation of the stress-strain state is performed by the finite element method. The contact pressure fields obtained as a result of finite element calculations made it possible to determine the values of the limiting contact force depending on the value of the reduced curvature of the contacting ends.

Метод конечных элементов позволяет адекватно учитывать сложную геометрию детали, распределение внешних нагрузок и физические свойства материала. Однако его применение к анализу напряженного состояния в контакте торцов роликов и бортов конических роликоподшипников представлено лишь в ограниченном числе работ [1-3]. Целью данной работы явилось исследование напряженно-деформированного состояния контактирующих поверхностей торцов роликов и колец конического роликоподшипника при повышенных контактных нагрузках, возникающих при перегрузке подшипников.

В работе рассматривается двухрядный конический роликовый подшипник, каждый ряд подшипника состоит из 23 роликов. Основные размеры подшипника, использованные при моделировании, следующие: внутренний диаметр подшипника 150 мм, наружный диаметр подшипника 250 мм, угол контакта $10^{\circ}4'$, угол конусности ролика $53'$, длина ролика 50 мм и его средний диаметр 21,4 мм.

Моделирование выполнялось методом конечных элементов в пакете САЕ ANSYS. Разработанная конечно-элементная модель включает сектор половины ширины внутреннего кольца, выделенный двумя продольными плоскостями симметрии, охватывает ее $1/46$ часть. Из ролика взята $1/8$ часть. Для задания

механических свойств подшипниковой стали использовалась билинейная диаграмма деформирования [4].

Геометрия контактирующих поверхностей оценивалась по величине приведенной кривизны [5]:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{рол}} \pm \frac{1}{R_{БК}}, \quad (1)$$

где R – приведенный радиус, $R_{рол}$ – радиус сферической поверхности торца ролика, $R_{БК}$ – радиус торообразной поверхности торца внутреннего кольца. Знак «+» берется для выпуклой поверхности, «-» – для вогнутой.

Значения приведенной кривизны для расчетных случаев составили $0,3125 \text{ м}^{-1}$, $0,4514 \text{ м}^{-1}$, $0,5625 \text{ м}^{-1}$, $0,6534 \text{ м}^{-1}$, $0,7292 \text{ м}^{-1}$, $0,7933 \text{ м}^{-1}$, $1,5625 \text{ м}^{-1}$ и $2,4716 \text{ м}^{-1}$, соответственно.

При правильной системе смазки в контакте между поверхностями возможно образование масляной пленки [6]. Когда граница пятна контакта достигает границы области проекции друг на друга контактирующих торцевых поверхностей, возникновение между ними режима жидкостного трения становится невозможным.

В результате проведенных численных исследований получена зависимость предельного значения контактной силы между торцами роликов и бортом внутреннего кольца от приведенной кривизны контакта для рассмотренного типоразмера конического роликового подшипника (рис. 1).

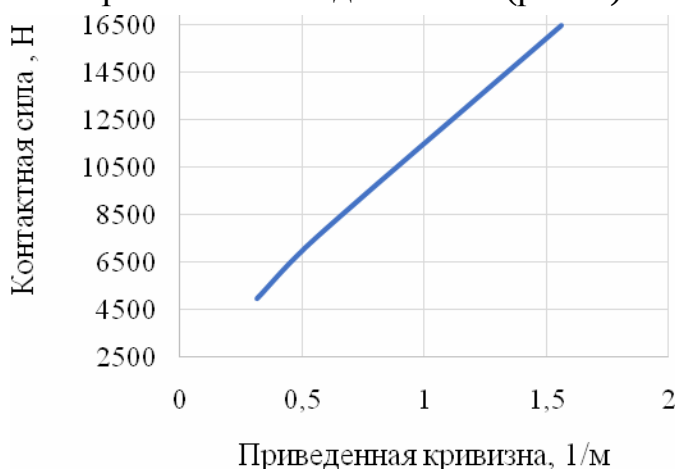


Рис. 1. График зависимости предельной контактной силы от приведенной кривизны

Предельное значение контактной силы характеризуется тем, что границы пятна контакта достигают границы области проекции друг на друга контактирующих торцевых поверхностей, что делает невозможным возникновение между ними режима жидкостного трения.

Список литературы

1. Mason M.A., Cartin C.P. Shahidi P., Speich J. E., Hargraves J. Contact Stress Modeling in Railway Bearings for Imperfect Contact Geometries // Joint Rail Conference, JRC 2015. DOI: 10.1115/JRC2015-5808.
2. Гришфельд А.М., Симсон Э.А. Моделирование и оптимизация внутренней конструкции кассетных подшипников для пространства колеи 1520 // Вестник Национального

- технического университета «ХПИ». Серия «Машиностроение и САПР». – 2020. – №1. – С. 10-18.
3. Zhang H., Shi W., Liu G., Chen Z. A Method to Solve the Stiffness of Double-Row Tapered Roller Bearing // Mathematical Problems in Engineering. 2019, pp. 1-13.
 4. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 26 с.
 5. Harris T.A., Kotzalas M.N. Essential Concepts of Bearing Technology. Rolling bearing analysis. Taylor & Francis. 2006, 376 p.
 6. Colin F., Chevalier F., Chaomleffel J., Dalmaz G., Mul J.D. Starved Elastohydrodynamic Lubrication of the Rib Roller End Contact in Tapered Roller Bearings: Film Thickness // Tribology and Interface Engineering Series. 1998, vol. 34, pp. 253-263.

Сведения об авторах:

Клебанов Яков Мордухович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Механика»;

Бражникова Александра Максимовна – аспирант, ассистент кафедры «Механика».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОЧНОСТЬ АДГЕЗИОННОЙ ПЛЕНКИ ПЕРЕНОСА ПРИ ФРИКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И Ф4К20 СО СТАЛЬЮ

Ли Сяньшунь¹, Седакова Е.Б.², Цзян Юйцян¹

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;*

²*Институт проблем машиноведения Российской Академии наук,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: молекулярно-динамическое моделирования, адгезия, слой переноса, изнашивание, политетрафторэтилен, литейный кокс, композит.

Аннотация. Применен метод молекулярно-динамического моделирования для исследования причин образования и адгезионной прочности слоев переноса политетрафторэтилена и его композита Ф4К20 на стальном контртеле. Построены молекулярные модели этих материалов, проведено моделирование их фрикционного взаимодействия со стальным контртелом. Получены численные значения скоростей движения молекул в исследуемых материалах и значения энергии межмолекулярного взаимодействия между слоем полимерного материала и контртелом. Получено, что скорость движения молекул ПТФЭ выше, чем Ф4К20, в противоположность этому, среднее значение энергии межмолекулярного взаимодействия меньше в ПТФЭ, по сравнению с Ф4К20.

STUDY OF DISPERSE FILLER EFFECT ON THE FORMATION CONDITION AND STRENGTH OF ADHESIVE TRANSFER FILM IN FRICTIONAL INTERACTION OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND F4K20 WITH STEEL

Li Xianshun¹, Sedakova E.B.², Jiang Yuqiang¹

¹*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University;*

²*Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences,
Saint-Petersburg*

Keywords: molecular dynamic modeling, adhesion, transfer layer, wear, polytetrafluoroethylene, foundry coke, composite.

Abstract. The method of molecular dynamic modeling is applied to study the reasons of formation and adhesive strength of transfer layers of polytetrafluoroethylene and its composite F4C20 on steel counterbody. To simulate the frictional interaction with the steel counterbody, molecular models of these materials were built. The numerical values of velocities of molecules in the studied materials and the values of energy of intermolecular interaction between polymer layer and counterbody layer were obtained. It was obtained that the velocity of PTFE molecules is higher than that of F4K20; in contrast, the average value of energy of intermolecular interaction is lower in PTFE compared to in F4C20.

Введение. Известно, что политетрафторэтилен (ПТФЭ) и композиты на его основе широко используются в качестве антифрикционных материалов для изготовления деталей трибосопряжений, используемых в машиностроении, химической и фармацевтической промышленности. Развитие технологий получения наполнителей микро- и наноразмеров позволяет исследователям

создавать значительное количество вариаций композитов, многие из которых могут успешно работать в узлах трения. Однако при создании композиционного материала, кроме определения технологического процесса введения наполнителя, выбора оптимальных размеров и концентраций наполнителя, необходимо оценивать и его триботехнические свойства, которые бывает трудно предвидеть без проведения трудоемких триботехнических испытаний. Триботехническое поведение материалов зависит от множества факторов, среди которых можно выделить различные условия работы узла трения, а также возможность протекания трибохимических процессов в зоне контакта.

Существенным достоинством полимерных материалов является их способность к образованию слоев переноса на поверхности контртела, которые, как отмечается в [2-4], играют важную роль в улучшении трибологических характеристик полимерных композитов. К основным причинам возникновения слоев переноса относят особенности надмолекулярной структуры полимерных материалов, топологические характеристики поверхности контртела, а также возможность наступления равновесного состояния системы полимер-сталь при фрикционном взаимодействии с позиции неравновесной термодинамики [5]. Применяемые методы микроскопии позволяют только констатировать наличие или отсутствие слоев переноса. Таким образом, до настоящего времени механизмы образования пленок переноса и их связь с трибологическими характеристиками полимеров остаются ещё до конца не изученными. В [6, 7] отмечено, что в случае формирования однородной, тонкой и обладающей высокой адгезионной прочностью пленки существенно улучшаются трибологические свойства узла трения. Основным источником формирования пленок переноса являются частицы износа полимерного материала [8-12]. Поэтому изучение морфологических характеристик продуктов износа и их распределения по размерам может быть полезным для получения дополнительных сведений о механизмах изнашивания.

В настоящее время все более широкое применение в трибоматериаловедении находит метод молекулярно-динамического моделирования, позволяющий построить молекулярные модели исследуемых материалов, исследовать причины формирования адгезионных слоев, а также изучить особенности влияния наполнителя на способность композита к образованию адгезионных слоев. В результате использования метода молекулярной динамики возможно получение численных значений величин энергии межмолекулярного взаимодействия на границе раздела сталь – адгезионный слой в условиях изнашивания, а так же средней скорости движения молекул.

Целью исследований является изучение на молекулярном уровне влияния наполнителя из литейного кокса на образование и адгезионную прочность пленок переноса композита на основе ПТФЭ.

Метод исследования. Метод молекулярно-динамического моделирования является эффективным вычислительным методом, который в последнее время стал использоваться для исследования триботехнических свойств полимерных композиционных материалов [13-14]. В настоящей работе применён этот метод

для моделирования процесса изнашивания ПТФЭ и его композита в паре трения с металлическим контртелом [1], определения скоростей движения молекул в исследуемых материалах и величин энергии межмолекулярного взаимодействия между слоем переноса и контртелом. Сравнительные исследования проводились для промышленного композита Ф4К20, состоящего на 80 об.% из ПТФЭ и на 20 об.% из литейного кокса, а также для чистого ПТФЭ. Были построены трехслойные молекулярные модели, в одной из которых в качестве материала среднего слоя был использован ПТФЭ, в другой – Ф4К20. Нижний и верхний слои в моделях состояли из атомов железа. Примеры трехслойных моделей, полученных с использованием компьютерной программы MATERIALS STUDIO, приведены на рисунке 1 [1]. Моделирование образования слоев переноса полимерного материала на контртеле в результате трения проводилось за счет сдвига двух крайних слоев модели друг относительно друга.

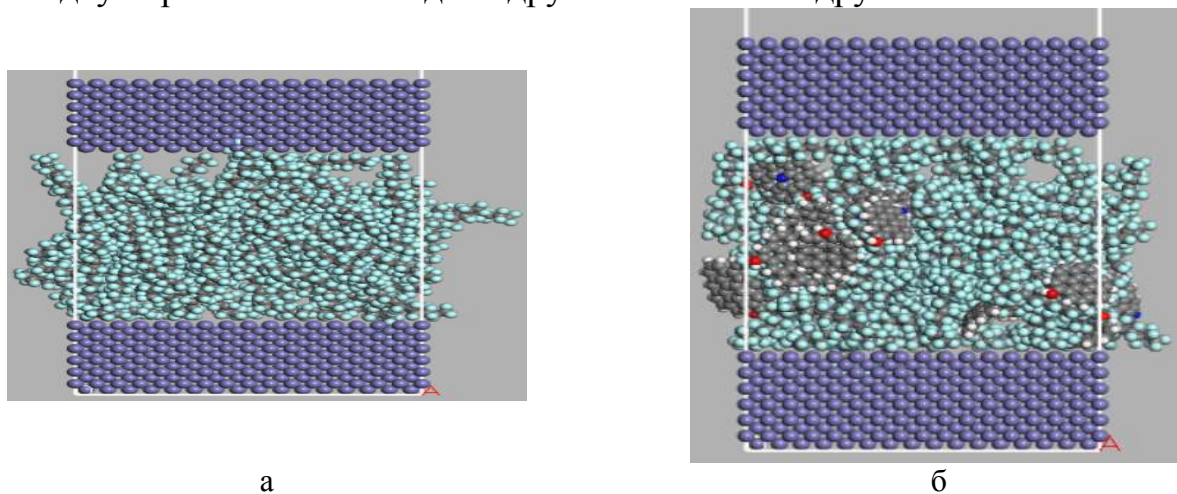


Рис.1. Исходные трехслойные модели: а – модель с ПТФЭ; б – модель с Ф4К20:

■ – атом железа; ■ – атом углерода; ■ – атом фтора; ■ – атом кислорода;
 ■ – атом азота

Для определения энергий межмолекулярного взаимодействия применялось силовое поле COMPASS, которое, доказало свою эффективность при исследовании поверхностного разрушения полимерных материалов [13-15]. Более подробная информация о силовом поле изложена в работе [15].

Величина энергии межмолекулярного взаимодействия в построенных моделях рассчитывалась, по уравнению

$$U_{inter} = U - U_m - U_{Fe} \quad (1)$$

где U – полная энергия модели; U_m – энергия моделей ПТФЭ или Ф4К20; U_{Fe} – энергия атомарных слоев железа.

При моделировании анализировались ансамбли NVT , где N – заданное количество атомов в рассматриваемой модели, V – заданный объём; T – заданная температура.

Результаты исследований и их обсуждение. Конечные визуализации результатов моделирования изнашивания показаны на рисунке 2 [1].

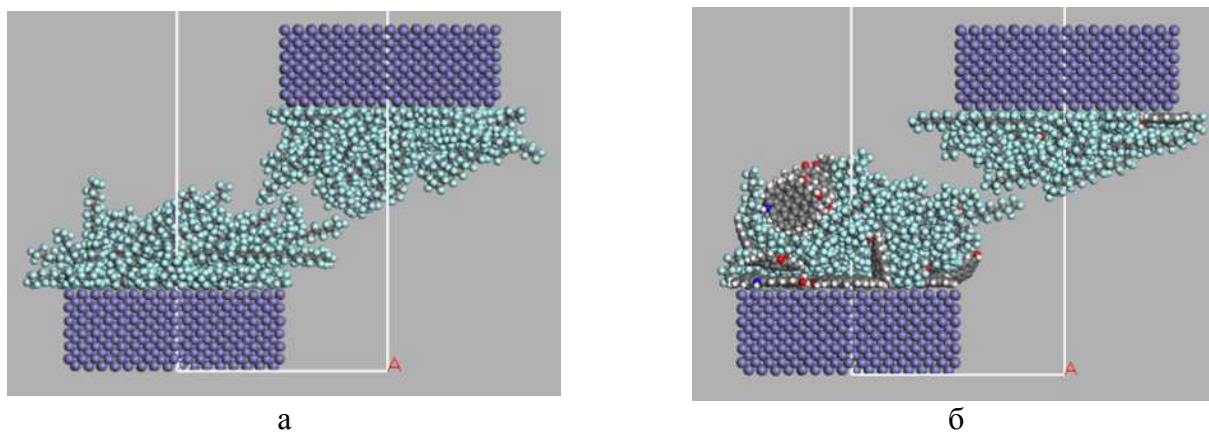


Рис. 2. Визуализаций изменений, произошедших в построенных трехслойных моделях в результате моделирования изнашивания с образованием слоев переноса полимерного материала [1]: а – модель с ПТФЭ; б – модель с Ф4К20:

 — атом железа; — атом углерода; — атом фтора; — атом кислорода;
 — атом азота

В результате моделирования получено, что молярная масса объема ПТФЭ, в области контакта с верхним металлическим слоем после сдвига приблизительно на 30% выше, чем молярная масса Ф4К20 в этой же области (рис. 2) [1].

На рисунке 3 приведены значения скоростей движения молекул в зависимости от их координаты в направлении сдвига в моделях ПТФЭ и Ф4К20.

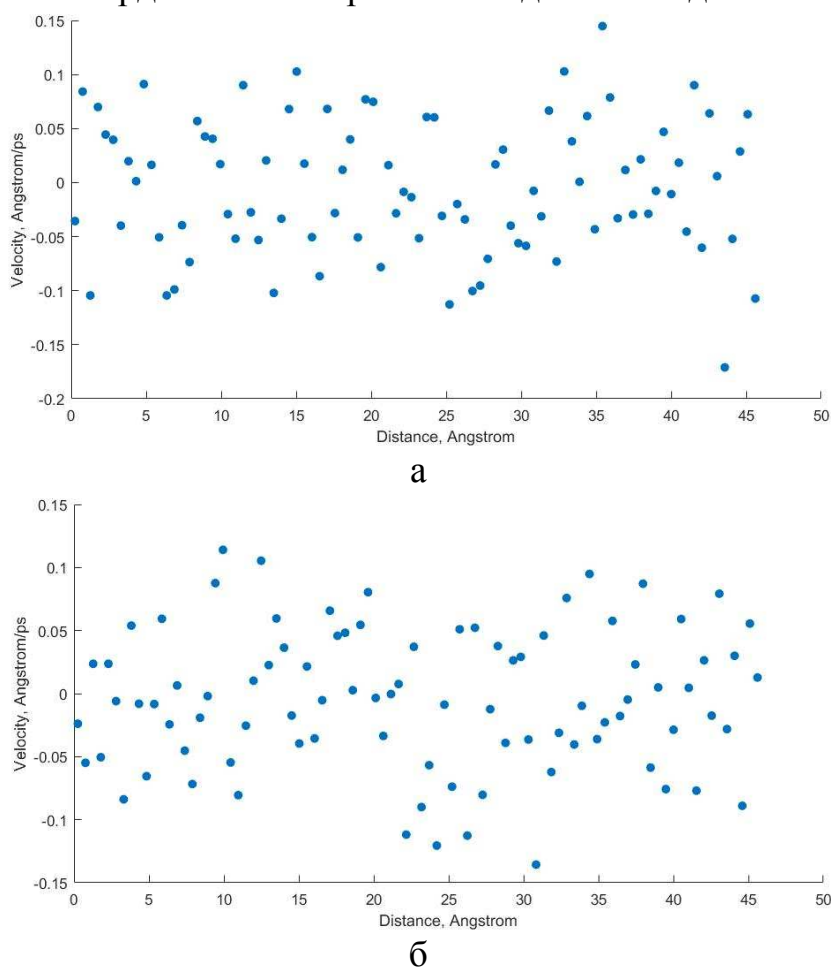


Рис. 3. Значение скоростей движения молекул в зависимости от координаты их положения в направлении сдвига. а) – в модели ПТФЭ; б) – в модели Ф4К20

Как следует из рисунке 3, максимальная скорость движения молекул ПТФЭ превышает скорость движения молекул Ф4К20. При этом средние значения скоростей движения молекул ПТФЭ и Ф4К20 составляют 0,052 и 0,045Å/пс, соответственно. Таким образом, среднее значение скорости движения молекул ПТФЭ приблизительно на 16% выше, чем средняя скорость движения молекул Ф4К20. Этот результат может дополнительно свидетельствовать о том, что при введении литейного кокса в матрицу ПТФЭ происходит повышение сил межмолекулярного взаимодействия [16].

В результате моделирования определена величина энергии межмолекулярного взаимодействия между полимером и слоем металла при сдвиге. Используя выражение (2) получено, что величины средней энергии межмолекулярного взаимодействия, определенные между слоями полимера и металла в моделях ПТФЭ и Ф4К20 составляют $-5.11E+03$ и $-5.87E+03$ ккал/моль, соответственно. Таким образом, энергия межмолекулярного взаимодействия между полимерным и металлическим слоями в модели с ПТФЭ приблизительно на 15% меньше, чем в модели с Ф4К20. Это может быть причиной различий в адгезионной прочности пленок переноса при изнашивании Ф4К20 и ПТФЭ.

Выводы. 1. Проведено компьютерное моделирование образования слоев переноса на металлическом контртеле при изнашивании ПТФЭ и Ф4К20 с определением скоростей движения молекул и величин энергии межмолекулярного взаимодействия между слоем переноса полимерного материала и контртелом.

2. Показано, что введение литейного кокса в ПТФЭ приводит к снижению на 16% среднего значения скорости движения молекул.

3. Установлено, что введение литейного кокса в ПТФЭ приводит к повышению среднее на 15% энергии межмолекулярного взаимодействия между слоем переноса и контртелом.

Список литературы

1. Li S., Sedakova E.B. Application of Molecular Dynamic Modeling to Study the Structural Changes During Adhesive Wear of Polytetrafluoroethylene and Its Composite // *Advances in Mechanical Engineering*. 2022, pp. 70-77.
2. Sawyer W.G., Freudenberg K.D., Bhimaraj P., et al. A Study on the Friction and Wear Behavior of PTFE Filled with Alumina Nanoparticles // *Wear*. 2003, vol. 254(5), pp. 573-580.
3. Schwartz C.J., Bahadur S. Studies on the Tribological Behavior and Transfer Film-counterface Bond Strength for Polyphenylene Sulfide Filled with Nanoscale Alumina Particles // *Wear*. 2000, vol. 237(2), pp. 261-273.
4. Vande V.J., Bahadur S. The Growth and Bonding of Transfer Film and the Role of Cus and PTFE in the Tribological Behavior of PEEK // *Wear*. 1995, vol.181-183(1), pp. 212-221.
5. Kozyrev Yu.P., Sedakova E.B. Application of a Thermodynamic Model of Wear Resistance of Materials // *Journal of Machinery, Manufacture and Reliability*. 2008, vol. 37, no.1, pp. 60-62.
6. Ye J., Khare H.S., Burris D.L. Transfer Film Evolution and Its Role in Promoting Ultra-Low Wear of a PTFE Nanocomposite // *Wear*. 2013, vol. 297(1-2), pp. 1095-1102.
7. Burris D.L., Boesl B., Bourne G.R., et al. Polymeric Nanocomposites for Tribological Applications // *Macromol. Mater. Eng.* 2007, vol. 292(4), pp. 387-402.
8. Plumlee K.G., Schwartz C.J. Surface Layer Plastic Deformation as a Mechanism for UHMWPE Wear, and Its Role in Debris Size // *Wear*. 2013, vol. 301(1-2), pp. 257-263.
9. Williams P.A., Clarke I.C. Understanding Polyethylene Wear Mechanisms by Modeling of Debris Size Distributions // *Wear*. 2009, vol. 267(1-4), pp. 646-652.

10. Lapcikova M., Slouf M., Dybal J., et al. Nanometer Size Wear Debris Generated from Ultra High Molecular Weight Polyethylene in Vivo // *Wear*. 2009, vol. 266(1-2), pp. 349-355.
11. Ge S., Wang S., Gitis N., et al. Wear Behavior and Wear Debris Distribution of UHMWPE against Si₃N₄ Ball in Bi-Directional Sliding // *Wear*. 2008, vol. 264(7-8), pp. 571-578.
12. Jacko M.G., Tsang P.S., Rhee S.K. Wear Debris Compaction and Friction Film Formation of Polymer Composites // *Wear*. 1989, vol. 133(1), pp. 23-38.
13. Onodera T., Nunoshige J., Kawasaki K., et al. Structure and function of transfer film formed from PTFE/PEEK polymer blend // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2017, vol. 121(27), pp. 14589-14596.
14. Chawla R., Sharma S. A molecular dynamics study on Young's modulus and tribology of carbon nanotube reinforced styrene-butadiene rubber // *Journal of molecular modeling*. 2018, vol. 24(4), pp. 1-9.
15. Sun H., Jin Z., Yang C., et al. COMPASS II: extended coverage for polymer and drug-like molecule databases // *Journal of molecular modeling*. 2016, vol. 22(2), pp. 1-10.
16. Ли С., Седакова Е.Б. Применение метода молекулярно-динамического моделирования для анализа износостойкости композита в сравнении с исходной полимерной матрицей // *Вопросы материаловедения*. – 2022. – №1(109). – С. 126-133.

Сведения об авторах:

Ли Сяньшунь – аспирант;

Седакова Елена Борисовна – д.т.н., руководитель лаборатории трения и износа;

Цзян Юйцян – магистр.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Борисова М.З.

*Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук;
Институт физико-технических проблем Севера им В.П. Ларионова Сибирского
отделения Российской академии наук, Якутск*

Ключевые слова: ультрамелкозернистая структура, интенсивная пластическая деформация, равноканальное угловое прессование, трение, износ, поверхность трения.

Аннотация. Интенсивное пластическое деформирование (ИПД) позволяет получать материалы с ультрамелкозернистой структурой. Такие материалы обладают высокими показателями твердости и прочности. Изменение соотношения предела прочности к пределу текучести изменяет износостойкость в несколько раз. Показана перспективность методов ИПД для повышения износостойкости металлических материалов.

GRAIN SIZE EFFECT ON WEAR RESISTANCE OF METAL MATERIALS

Borisova M.Z.

*Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
Institute of Physical-Technical Problems of the North Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk*

Keywords: ultra-fine-grained structure, severe plastic deformation, equal-channel angular pressing, friction, wear, friction surface.

Abstract. Severe plastic deformation makes it possible to obtain materials with an ultra-fine-grained structure. Such materials have high levels of hardness and strength. Changing the ratio of the tensile strength to the yield strength changes the wear resistance several times. The prospects of SPD methods for increasing the wear resistance of metal materials are shown.

Металлические материалы со ультрамелкозернистой структурой обладают повышенной прочностью, в том числе и при низких температурах. Уменьшение размера зерна увеличивает предел текучести, предел прочности, твердость и усталостную прочность [1-2]. Это хорошо укладывается в классические представления о дислокационной природе деформации, но природа изнашивания гораздо сложнее и не может оцениваться только изменением твердости материала. К основным параметрам, определяющим износостойкость металлических материалов, относят высокое сопротивление растяжению, сжатию, изгибу, сдвигу и срезу, твердость, сохранение уровня механических свойств при воздействии высоких температур и давлений в условиях изнашивания. В наибольшей степени износостойкость связана с твердостью и пластичностью. В процессе изнашивания формируются слои наклепа, которые удаляются с поверхности трения в виде отдельных чешуек, размер которых коррелируется с микротвердостью структуры [3]. Чем выше микротвердость материала, тем меньше чешуйки и меньше интенсивность изнашивания. Однако стали с одинаковой твердостью при одинаковых условиях испытания могут иметь

разные значения износостойкости. Выявлена связь износостойкости закаленных сталей с приближением значения предела текучести к пределу прочности. Считается, что при одинаковой твердости износостойкость выше там, где отношение предела прочности (σ_B) к пределу текучести ($\sigma_{0,2}$) минимально. При этом уменьшении соотношения $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ с 1,2 до 1,05 износостойкость повышается в 2-3 раза. Уменьшение размера зерна в ходе интенсивной пластической деформации (ИПД) приводит к формированию структур с рекордным уровнем прочности [4]. При этом значения предела текучести и предела прочности таких материалов близки. Таким образом формирование ультрамелкозернистой структуры методами ИПД позволяет получать материалы с высокими показателями износостойкости и прочности.

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
2. Козлов Э.В., Жданов А.Н., Конева Н.А. Измельчение размера зерна как основной ресурс повышения предела текучести // Вестник Тамбовского университета. – 2003. – Т. 8, №4. – С. 509-513.
3. Zhou L., Liu G., Han Z., Lu K. Grain size effect on wear resistance of a nanostructured AISI52100 steel // Scripta Materialia. 2008, vol. 58, pp. 445-448. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2007.10.034.
4. Figueiredo R.B., Langdon T.G. Effect of grain size on strength and strain rate sensitivity in metals. // J Mater Sci. 2022, 57:5210-29.

Сведения об авторе:

Борисова Мария Захаровна – к.т.н., старший научный сотрудник.

ОБЗОР СКАНИРУЮЩЕГО ЛИДАРА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

Назаров А.А.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: робот, датчик, ориентация, система технического зрения, сканирующий лидар.

Аннотация. Развитие научно-технического прогресса приводит к созданию все более функциональных и низких по стоимости различных устройств. В частности, робототехнические системы могут найти свое применение при решении обширного круга задач. Однако, для должного функционирования и успешного решения поставленной роботом задачи необходимо наличие средств обратной связи, которые, в большинстве случаев, представлены измерительными системами (датчиками). В рамках статьи рассматриваются сканирующий лидар и принципы его работы, а также некоторые особенности их применения.

OVERVIEW OF SCANNING LIDAR AS APPLIED TO ROBOTICS SYSTEMS

Nazarov A.A.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: robot, sensor, direction, vision system, scanning lidar.

Abstract. The development of scientific and technological progress leads to the creation of more and more functional and lower cost various devices. In particular, robotic systems can find their application in solving a wide range of tasks. However, for proper functioning and successful solution of the task set for the robot, it is necessary to have feedback means, which, in most cases, are represented by measuring systems (sensors). Within the framework of the article the scanning lidar and the principles of its operation, as well as some features of their application are considered.

На сегодняшний день одним из ведущих направлений робототехники является построение мобильных роботов различных типов [1]. Зачастую, мобильные роботы, применяющиеся для решения конкретной задачи (круг задач), имеют обратную связь с окружающим его пространством. Своевременная и качественная реакция на внешние события возможна путём применения таких элементов связи как измерительные устройства (датчики). Существует множество подходов к измерению и дальнейшей классификации среды. Поэтому, целью данной статьи – ознакомить читателей с способами регистрации окружающей обстановки, а также формирование у читателей базового представления о машинном зрении и его возможностях.

Существует множество датчиков, помогающих робототехнической установке ориентироваться в пространстве. С помощью датчиков становится возможным создание полноценной автономной системы управления. Все измерительные устройства делятся на разные классы в зависимости от их области применения и технических характеристик.

Бесконтактные датчики очувствления регистрируют объекты на расстоянии. Возможности применения таких измерительных устройств обширны: обнаружение, определения расстояния и классификация препятствия,

определение материала, массы, размера окружающих объектов, ориентирование в глобальном и локальном пространстве. Датчики находят широкое применение на промышленных предприятиях для автоматизации различных процессов. Все вышеперечисленное используется в том числе в робототехнике для выполнения разнообразных задач и целей.

LiDAR (Light Identification Detection and Ranging) – система технического зрения, которая служит для обнаружения и определения дальности до объекта (рис. 1). Принцип работы лидара заключается в генерации инфракрасного лазера, получении отраженного и дальнейшей обработки по задержке прихода (фазовый сдвиг).

Поэтому принцип действия лидара можно описать с помощью следующих величин: D – измеренное расстояние, c – скорость света, f – частота сканирующих импульсов, $\Delta\varphi$ – фазовый сдвиг [2].

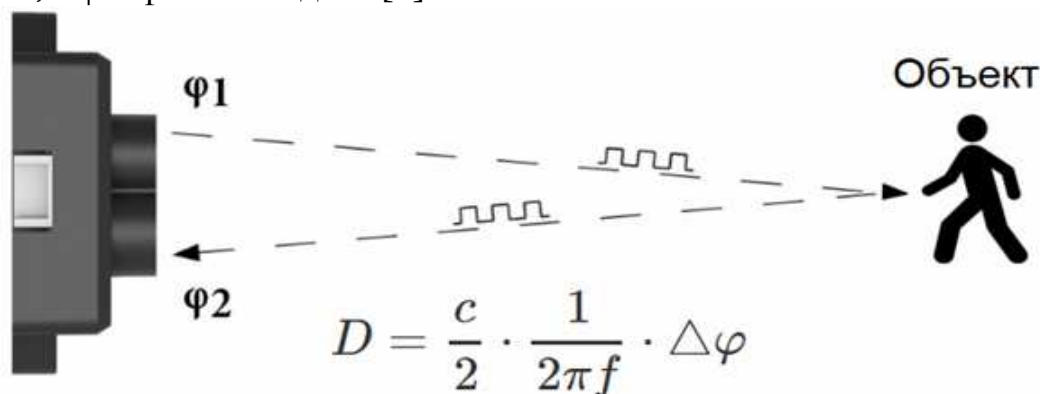


Рис. 1. Принцип работы лидара

Существует множество видов лидаров, предназначенных для разных целей.

1. Лидар с круговым обзором. Он исследует пространство, вращаясь в горизонтальной плоскости на 360° , что позволяет построить трехмерную карту помещения и позволяет робототехнической установке “видеть” объекты в пространстве примерно так же, как и человек [3].

2. Лидарная камера. Она исследует определённую область (зону), что позволяет фиксировать изменения поверхности земли или отрисовывать географическую карту местности.

3. Оптический дальномер. Основной функцией лидаров является определение расстояния при помощи скорости света, поэтому некоторые оптические дальномеры работают по принципу лидара и находят широкое применение в своей области задач.

Лидары находят применение в разных сферах деятельности, однако также является наиболее перспективной идеей для робототехнических систем [4].

У лидаров также, как и у других устройств есть плюсы и минусы их использования. Из минусов можно выделить, что если использовать лидар для сканирования местности во время дождя или в пустынном месте, то точной картины местности не получится. В следствие того, что инфракрасные датчики (в том числе сканирующий лидар) видят капли дождя и пыль как препятствия, то использование лидара становится невозможным в связи со спецификой местности. Однако плюсы использования, сканирующего лидара полностью

покрывают его минусы. Благодаря быстрому сбору и обработке данных эти устройства являются фаворитами среди всех датчиков технического зрения, однако именно быстрая скорость реакции и надёжность сканирующего лидара является основной причиной использования этого датчика в современных изобретениях.

В настоящее время, сканирующий лидар находит широкое применение в различных сферах деятельности человека. Например, беспилотные транспортные системы используют лидар как основу для системы технического зрения, однако это не означает что это устройство предназначено только для крупной техники. Сканирующие лидары находят свое применение в таких областях как робототехника: с помощью сканирующих лидаров становится возможным фиксация и ориентирование в нетривиальных и динамически изменяющихся пространствах. Например, роботы-пылесосы для построения карты комнаты используют различные измерительные устройства, в том числе и лидары, чтобы определять своё положение в пространстве, и, даже, регистрировать зоны уборки по наличию характерных для комнат препятствий.

Список литературы

1. Егунов В.А., Королева И.Ю., Типаев Д.В. Алгоритмы движения мобильного робота с построением карты местности в реальном времени // ИВД. – 2022. – №4 (88). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-dvizheniya-mobilnogo-robota-s-postroeniem-karty-mestnosti-v-realnom-vremeni>.
2. Сайт амперка “Что такое лидар” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amperka.ru/page/lidar-sensors-guide>.
3. Сайт vc.ru “лидары – глаза роботов” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/tech/350362-lidary-glaza-robotov>.
4. Урваев И.Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – №1. – (35). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/navigatsiya-mobilnogo-robota-na-osnove-metodov-lazernoy-dalnometrii>.

Сведения об авторе:

Назаров Алексей Александрович – студент.

ПОСТРОЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА RS-356

*Во Фан Тхань Дат, Нгуен Хань Тоан, Бурлаков И.А.
Московский политехнический университет, Москва*

Ключевые слова: алюминиевый сплав, испытание на сжатие, кривая текучести, компьютерное имитационное моделирование, QFORM, постановка обратной задачи, горячая изотермическая штамповка.

Аннотация. В статье рассмотрено применение методики построения "изотермической" кривой текучести на примере обработки экспериментальных данных, собранных контрольно-измерительной аппаратурой универсальной испытательной машины по результатам осесимметричной осадки цилиндрических образцов в диапазоне температур от 20 до 450 градусов и скоростях деформации $0,001 \text{ с}^{-1}$; $0,01 \text{ с}^{-1}$; $0,4 \text{ с}^{-1}$. Обработка результатов экспериментов предполагает применение инверсионного метода для получения "изотермических" кривых текучести, которые могут быть использованы для компьютерного моделирования технологий обработки давлением изделий из сплава RS-356.

CONSTRUCTION OF RHEOLOGICAL MODELS OF RS-356 ALUMINUM ALLOY

*Vo Phan Thanh Dat, Nguyen Khanh Toan, Burlakov I.A.
Moscow polytechnic university, Moscow*

Key words: aluminum alloy, compression test, yield curve, computer simulation, QFORM, inverse problem statement, hot isothermal stamping.

Abstract. The article considers the application of the technique of constructing an "isothermal" yield curve on the example of processing experimental data collected by the control and measuring equipment of a universal testing machine based on the results of axisymmetric precipitation of cylindrical samples in the temperature range from 20 to 450°C and deformation rates of 0.001 s^{-1} ; 0.01 s^{-1} ; 0.4 s^{-1} . Processing of the experimental results involves the use of an inversion method to obtain "isothermal" yield curves, which can be used for computer modeling of pressure treatment technologies of RS-356 alloy products.

Современные темпы развития промышленности, авиационных и аэрокосмических технологий, машиностроения предъявляют все более высокие требования к конструкционным материалам, поэтому в настоящее время большое количество исследований посвящено разработке качественно новых материалов и оптимизации структуры и свойств уже разработанных сплавов [1, 2]. В связи с этим за прошедшее столетие было получено огромное количество экспериментальных данных, требующих унификации и определенной систематизации.

Для сбора данных о сопротивлении деформации конструкционных материалов, подвергаемых пластической деформации, необходимо проведение лабораторных испытаний [3]. Например, в качестве лабораторного испытания металлических материалов может быть применено испытание на сжатие, методика проведения которого, в целом, описана в ГОСТ 25.503-97.

Цель данной работы заключается в построении «изотермической» кривой текучести алюминиевого сплава RS-356 при различных температурно-скоростных условиях его деформирования.

В качестве исследуемого материала рассматривается алюминиевый сплав RS-356 (AlSi7Mg). Заготовки для проведения исследований представляли собой цилиндры диаметром и высотой 10 мм, полученные электроэрозионной резкой. Испытание на сжатие проводили на машине модели мод. LFM250 со скоростями деформации $\dot{\varepsilon} = 4 \cdot 10^{-1}$, 10^{-2} и 10^{-3} с^{-1} при температурах 20, 300, 400 и 450°C.

На основе проведенного анализа, в качестве прототипов для построения математических моделей исследуемых сплавов выбрана эмпирическая модель Хензеля-Шпиттеля (формула 2). Уравнение представляет собой зависимость напряжения текучести от температуры, накопленной деформации и скорости деформации.

$$\sigma_i = A \exp(m_1 T) T^{m_2} \varepsilon_i^{m_3} \exp(m_4 / \varepsilon_i) (1 + \varepsilon_i)^{m_5} \exp(m_7 \varepsilon_i) \dot{\varepsilon}_i^{m_3} \dot{\varepsilon}_i^{m_8 T}, \quad (1)$$

где A , m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 , m_7 , m_8 , m_9 – коэффициенты.

Значения неизвестных коэффициентов в формуле (1) находят из решения задачи оптимизации. В качестве исходных данных для решения этой задачи используют результаты натурных экспериментов; в данной работе – данные, представленные на рисунке 1. Определение неизвестных коэффициентов модели (1) выполнялось методом Левенберга-Маркарда в программе MATLAB, который реализован в стандартной функции «lsqcurvefit»; результаты представлены в таблице 1.

Табл. 1. Коэффициенты математической модели сопротивления деформации сплава RS-356

Тип деформации	A	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_7	m_8	m_9
20-450°C	276.6529	-0.0033	-0.04569	-0.01802	-0.05088	-0.00174	0.22563	0.000215	0.103307

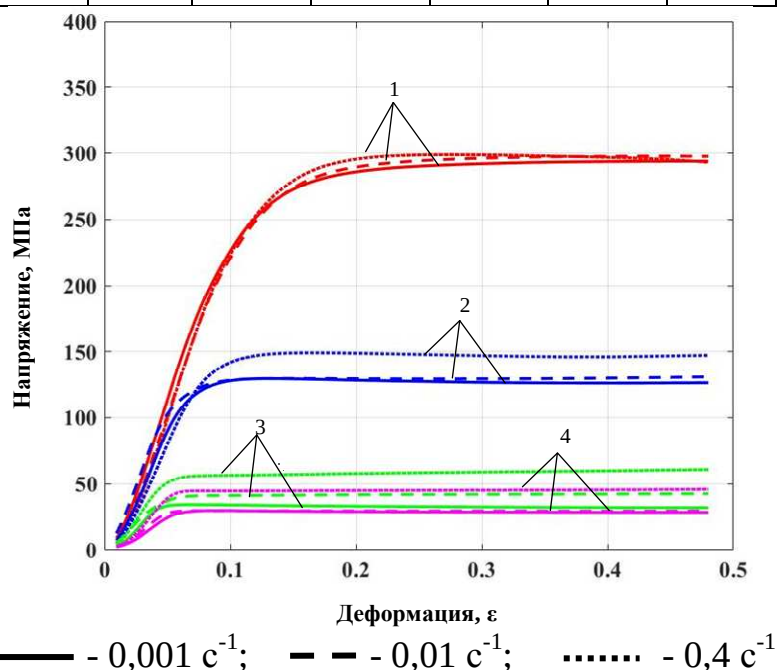


Рис. 1. «Изотермические» кривые с учетом КЭМ:
1 - 20°C; 2 - 300°C; 3 - 400°C; 4 - 450°C

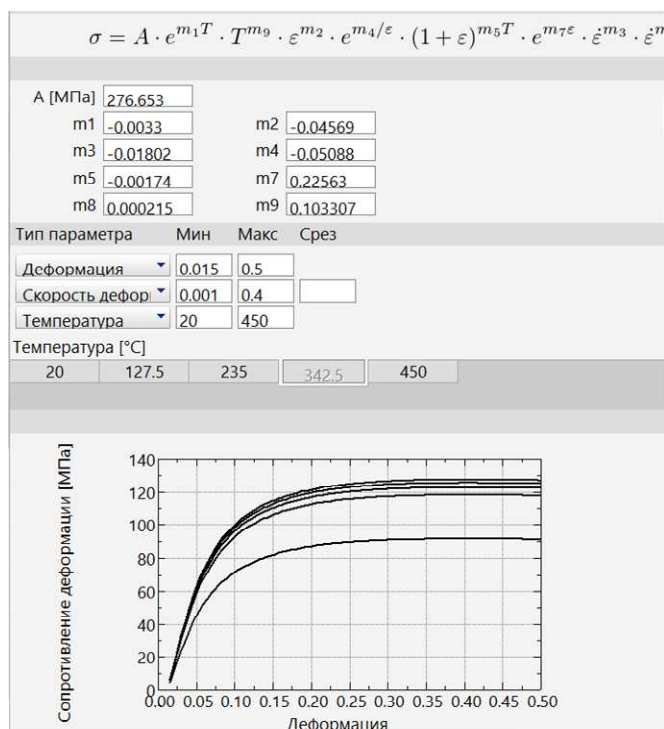


Рис. 2. Способ проверки и задания коэффициентов математической модели в программу QFORM для моделирования процессов объемной штамповки результаты эксперимента с полученной реологической моделью

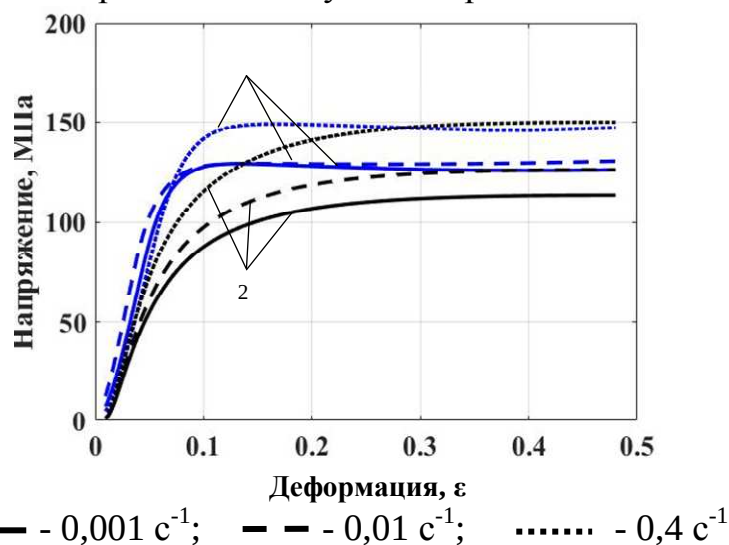


Рис. 3. Сравнение результатов эксперимента с полученной реологической моделью при температуре 300 °C: 1 – эксперимент; 2 – данные расчета с применением реологической модели

Проверка проводится по средней абсолютной ошибкой рассчитывается как среднее абсолютных разностей между целевыми значениями и значениями, предсказанным моделью на данном обучающем примере в процессе обучения:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|, \quad (2)$$

где N – число примеров обучающей выборки, y_i – целевое значение i -го примера, $\hat{y}_i$ – предсказанное моделью значение.

Найденная модель сопротивления деформации позволяет получать результаты моделирования с средней абсолютной ошибкой до 0,929 и дает возможность применять полученные модели сопротивления деформации для моделирования процессов формообразования заготовок из порошкового алюминиевого сплава RS-356.

Вывод Погрешность полученной модели напряжения текучести сплава RS356 с средней абсолютной ошибкой до 0,929 для всей области значений: температуры – $[20; 450] ^\circ\text{C}$; скорости деформации – $[0,001; 0,4] \text{ c}^{-1}$. Математическая модель сплава (см. формулу (1) и табл. 1) может быть использована для компьютерного моделирования операций обработки давлением сплава RS356, например, технологии горячей изотермической штамповки либо штамповки с кручением.

Список литературы

1. Салищева Г.А., Тихоновой М.С., Щиголева Е.А. Структура и свойства высокоэнтропийных сплавов и покрытий: Техническая программа и тезисы школы молодых ученых (г. Белгород, 9-11 октября 2019г.). – Белгород: ООО «Эпицентр», 2019. – 72 с.
2. Рябов Д.К., Грушин И.А., Сеферян А.Г. Некоторые особенности формирования структуры и свойств новых алюминиевых сплавов при аддитивном производстве // Станкоинструмент. – 2022. – № 1(26). – С. 44-51.
3. Szeliga D., Gawad J., Pietrzyk M. Inverse analysis for identification of rheological and friction models in metal forming // Computer methods in applied mechanics and engineering. 2006, vol. 195, pp. 6778.

Сведения об авторах:

Во Фан Тхань Дат – аспирант;

Нгуен Хань Тоан – аспирант;

Бурлаков Игорь Андреевич – главный специалист производственного комплекса «Салют» АО «ОДК».

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Егоров М.К., Феофанов А.Н.

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва*

Ключевые слова: контроль, риски, методы, качество, стандартизация, система.

Аннотация. В данной статье описываются основные цели и задачи системы управления рисками сфере машиностроения. Анализируются методы в зависимости от их назначения. Объясняется принцип функционирования систем управления рисками. Описываются этапы процесса управления рисками и типовые инструменты, применяемые на машиностроительном предприятии. А также приводится общая схема процесса управления рисками.

RISK MANAGEMENT SYSTEM AT THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

Egorov M.K., Feofanov A.N.

Moscow state technological university «STANKIN», Moscow

Keywords: control, risks, methods, quality, standardization, system.

Abstract. This article describes the main goals and objectives of the risk management system in the field of mechanical engineering. Methods are analyzed depending on their purpose. The principle of operation of risk management systems is explained. The stages of the risk management process and typical tools used in a machine-building enterprise. And provides a general outline of the risk management process.

Введение

Система управления рисками представляет собой совокупность организационных мер, методик, процедур, норм корпоративной культуры и действий, предпринимаемых на машиностроительном предприятии для достижения оптимального баланса между прибыльностью и ущербом от наступления рисков, для обеспечения финансовой устойчивости, эффективного ведения хозяйственной деятельности, обеспечения сохранности активов, соблюдения законодательства, устава и внутренних документов, своевременной подготовки достоверной отчетности.

Управление рисками – это процесс, осуществляемый советом директоров, исполнительными органами, руководителями структурных подразделений и сотрудниками машиностроительного предприятия, который затрагивает все аспекты деятельности, направлен на определение событий, которые вызывают наступление риска, на идентификацию, оценку, обработку риска и управление им систематическим, действенным, всесторонним способом по возможности экономически эффективными методами.

Основными целями системы управления рисками являются:

- обеспечение устойчивого развития машиностроительного предприятия в рамках реализации стратегии развития интегрированной структуры;
- обеспечение гарантии достижения стратегических и операционных целей;

– своевременное и полное информационное и аналитическое обеспечение процессов принятия управленческих решений и планирования деятельности предприятия.

Задачами системы управления рисками являются:

- выявление, оценка и мониторинг рисков;
- определение уровня предпочтительного и допустимого риска;
- разработка антирисковых мероприятий;
- обеспечение соответствия уровня допустимого риска предпочтительному риску.

Принципы функционирования системы управления рисками

Управление рисками способствует достижению целей и непрерывному улучшению деятельности, является неотъемлемой частью всех организационных процессов. Помогает лицам, принимающим решения, делать обоснованный выбор, определять приоритетность действий и проводить различия между альтернативными направлениями действий [1].

Управление рисками основывается на совокупности наилучшей доступной информации. Источниками информации могут быть исторические данные, опыт, обратная связь от заинтересованных сторон, наблюдения, прогнозы и экспертные оценки.

Управление рисками является процессом динамичным, итеративным и реагирующим на изменения. Как только происходит внешнее или внутреннее событие, контекст или знания изменяются, осуществляется мониторинг и пересмотр рисков, новые риски появляются, некоторые изменяются, другие исчезают. Систематический, регулярный и структурированный подход к управлению рисками способствует эффективности деятельности и достижению устойчивых, сравнимых и надежных результатов.

Управление рисками учитывает возможности, восприятия и намерения людей за пределами и внутри предприятия, которые могут способствовать или затруднять достижение целей. Соответствующее и своевременное вовлечение заинтересованных сторон и, в частности, лиц, принимающих решения, на всех уровнях управления гарантирует, что управление рисками остается на надлежащем уровне и отвечает современным требованиям [2]. Это позволяет заинтересованным сторонам быть уверенными в том, что их мнение принимается во внимание в процессе установления критериев и уровня риска.

Этапы процесса управления рисками

Основными этапами процесса управления рисками являются:

Установление ситуации. Общая оценка рисков (идентификация риска, анализ риска, сравнительная оценка риска). Обработка риска (выбор возможных методов реагирования на риск, разработка мероприятий по управлению рисками). Мониторинг и пересмотр рисков.

Общая схема процесса управления рисками на машиностроительном предприятии представлена на рисунке 1.

В рамках процесса управления рисками используются следующие типовые инструменты: классификатор рисков, паспорт риска, карта рисков, матрица риска, реестр риска.

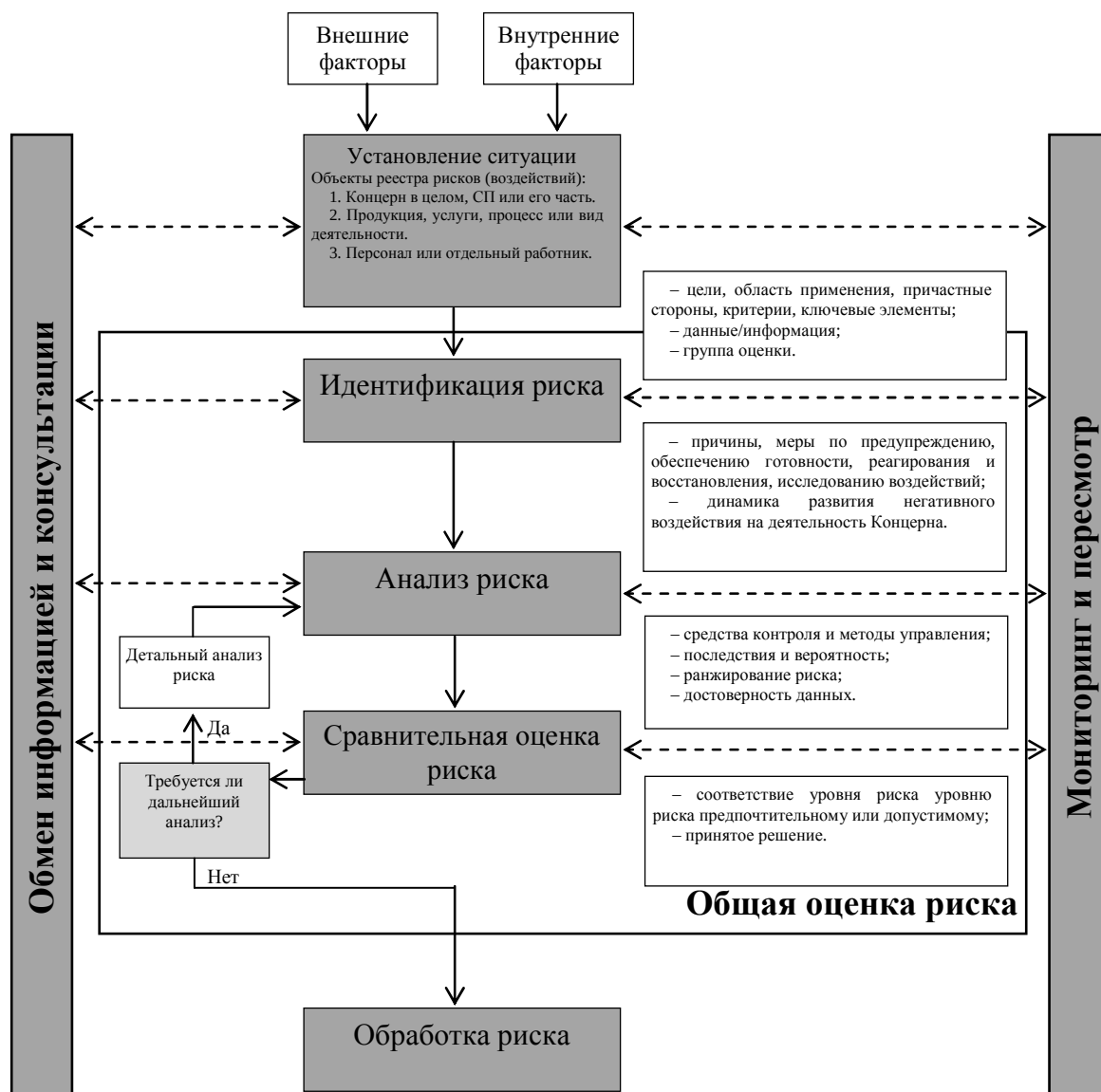


Рис. 1. Схема процесса управления рисками

Классификатор рисков – в классификаторе рисков представлены направления деятельности машиностроительного предприятия, в рамках которых выявляются и учитываются возникающие риски.

Паспорт риска – сведения о выявленных рисках и их владельцы документируются в соответствующие разделы паспорта риска, для последующей обработки.

Карта рисков – основной целью процесса формирования карты рисков является получение перечня рисков. Перечень рисков сопровождается построением графика, на котором риски располагаются в соответствии с вероятностью их возникновения и силой воздействия на деятельность машиностроительного предприятия.

Матрица риска – матрица последствий и вероятностей является средством объединения качественных или смешанных оценок последствий и вероятностей и применяется для определения и ранжирования рисков, их источников и мер по обработке риска на основании уровня риска.

Реестр риска – реестр риска содержит данные об идентификации и оценке риска, данные о возможных последствиях воздействия этого риска на

деятельность машиностроительного предприятия, а также оценку выполнения мероприятий по обработке риска.

Установление ситуации включает в себя: выявление и анализ событий, которые могут привести к возникновению риска; исследование взаимосвязи нескольких событий при совместном их появлении; определение критериев и уровня предпочтительного риска.

Антирисковые мероприятия разрабатываются на основании одного из следующих методов обработки рисков.

1. Уклонение от риска – подразумевает отказ от совершения тех или иных действий, отказ от активов, характеризующихся высоким уровнем риска. Уклонение от риска применяется в исключительных случаях и используется, когда стоимость антирисковых мероприятий слишком высока, либо такие мероприятия не приведут к снижению уровня риска до уровня предпочтительного или допустимого риска, а также когда риск невозможно или неэффективно передать третьей стороне.

2. Перенос, перераспределение риска – передача или частичная передача риска другой стороне (например, путем заключения договоров страхования, хеджирования, аутсорсинга и др.), позволяющая уменьшить негативное влияние на деятельность предприятия.

3. Смягчение риска – воздействие на риск путем снижения вероятности наступления риска и снижения негативных последствий в случае возникновения риска в будущем.

Заключение

Многие риски очевидны и требуется только сформировать план мероприятий по минимизации их уровня, а также план действий на случай наступления данных рисков (пока последствия возникновения риска не достигли максимального эффекта) [3].

Наилучшей стратегией работы с крупными рисками является их разбиение на более мелкие риски. Для систематической и последовательной оценки риска, разрабатывается матрица риска. Матрица рисков применяется в качестве средства предварительной оценки, если было выявлено несколько видов риска, например, для определения того, какой риск требует дальнейшего или более подробного анализа, какой риск необходимо обрабатывать в первую очередь, а какой следует рассматривать на уровне руководства предприятия.

Список литературы

1. Клейнер Г.Б. Предприятие в нестабильной экономической среде, риски, стратегии, безопасность. – М.: Перспектива, 2007. – 286 с.
2. Вяткин В.Н., Гамза В.А., Екатеринославский Ю.Ю., Иванушко П.Н. Управление рисками фирмы: программы интерактивного риск – менеджмента. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 365 с.
3. Гранатуров В.М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения. – М.: «Дело и сервис», 2002. – 150 с.

Сведения об авторах:

Егоров Михаил Константинович – аспирант;

Феофанов Александр Николаевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Инженерная графика».

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАСТАЧИТВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

Васильков Д.В.¹, Кочина Т.Б.², Файзиматов Б.Н.³

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург;*

²*Нижегородский государственный университет, Нижегородск;*

³*Андижанский машиностроительный институт, Андижан, Узбекистан*

Ключевые слова: устойчивость, технологическая система, растачивание, отверстие, динамическая модель, критерий Гурвица, граница устойчивости.

Аннотация. В статье утверждается, что важной критериальной характеристикой, определяющей возможность спокойного резания, является граница области устойчивости. Для ее построения принята одномассовая двухконтурная изгибная динамическая модель с сосредоточенными параметрами, которая была обоснованно упрощена путем исключения касательного динамического контура. Исследование кинематики формообразующих движений при обработке растачиванием позволило сформировать условия силового взаимодействия в форме динамической характеристики резания. На основе данной модели получены условия устойчивости в соответствии с критерием Гурвица. Для построения границы устойчивости в плоскости параметров обработки применен алгоритм Лозба. Построенная в соответствии с данным алгоритмом граница области устойчивости определяет предельные возможности станка, которые ограничивают область допустимых режимов.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM WHEN DRILLING HOLES

Vasilkov D.V.¹, Kothina T.B.², Fayzimatov B.N.³

¹*Baltic State Technical University „VOENMEH” n.a. D.F. Ustinov, Saint Petersburg;*

²*Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk;*

³*Andijan Engineering Institute³, Andijan, Uzbekistan*

Keywords: stability, technological system, boring, hole, dynamic model, Hurwitz criterion, stability boundary.

Abstract. The article states that an important criterion characteristic determining the possibility of quiet cutting is the boundary of the stability region. For its construction, a one-mass two-contour bending dynamic model with concentrated parameters was adopted, which was reasonably simplified by eliminating the tangent dynamic contour. The study of the kinematics of formative movements during boring processing made it possible to form the conditions of force interaction in the form of a dynamic cutting characteristic. Based on this model, stability conditions are obtained in accordance with the Hurwitz criterion. Loeb's algorithm is used to construct the stability boundary in the plane of processing parameters. The boundary of the stability region constructed in accordance with this algorithm determines the limiting capabilities of the machine, which limit the range of permissible modes.

В качестве важной критериальной характеристики, определяющей предельные возможности спокойного резания на станке, является граница области устойчивости (рис. 1). Она разделяет две области – область допустимых режимов, обеспечивающих спокойное резание с малым уровнем вибраций, и

область недопустимых режимов с повышенным уровнем вибраций. Граница устойчивости строится в плоскости параметров процесса резания. Основными из них являются глубина резания t и скорость резания V [1].

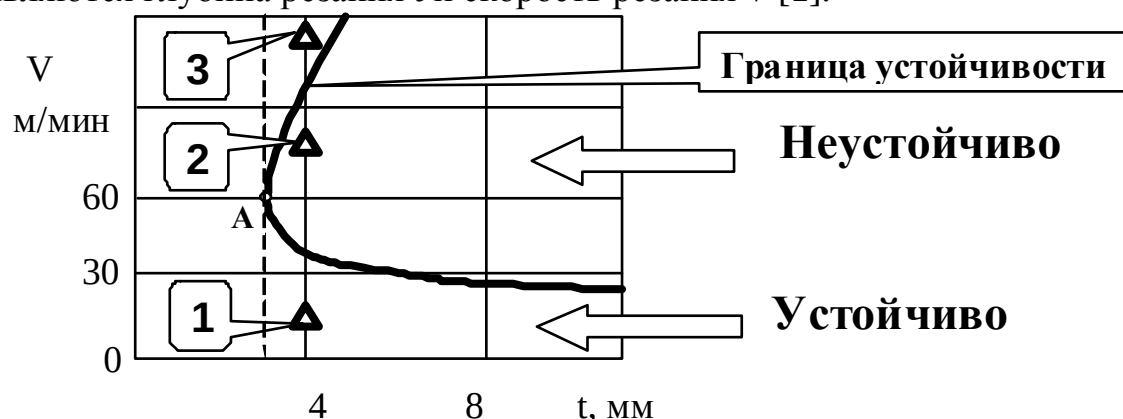


Рис. 1. Граница области устойчивости станка при обработке точением

В качестве примера можно рассмотреть динамическое проявление технологической системы при обработке растачиванием с построением границы области устойчивости в плоскости параметров, представленной на рисунке 1. Зафиксируем глубину резания $t = 4$ мм и выберем три характерных режима со скоростями резания соответственно: $V_1 = 20$ м/мин, $V_2 = 75$ м/мин и $V_3 = 110$ м/мин. На режимах 1 и 3 средний уровень амплитуд колебаний не превышает 10 мкм, резание протекает спокойно. На режиме 2 амплитуда колебаний достигает 30 мкм и более. Уровень вибрации резко возрастает в три и более раза и становится недопустимым. Данное проявление происходит при выходе за границу области устойчивости. Таким образом, можно сделать вывод, что граница устойчивости определяет предельные возможности станка по обеспечению спокойного резания и выделяет область допустимых технологических режимов.

Для построения границы устойчивости в качестве модели минимальной размерности может быть принята одномассовая двухконтурная изгибная динамическая модель с сосредоточенными параметрами (рис. 2). В ней все параметры системы приводятся к резцу. Сила резания P_z действует на резец по линии скорости резания V_s параллельно оси z ; к резцу в этом направлении приведены масса m_z , коэффициенты жесткости c_z и демпфирования b_z . Сила P_y действует на резец в направлении оси y . К резцу в этом направлении приведены масса m_y , коэффициенты жесткости и демпфирования c_y и b_y . Колебательные контуры z и y , включающие силы P_z и P_y , соответственно касательная и нормальная к обрабатываемой поверхности, с которой резец в статическом режиме снимает слой δ .

Анализ показал, что с точки зрения устойчивости технологической системы нормальный контур (ось OY) и касательный контур (ось OZ) являются неравнозначными:

- нормальный контур определяет точность формообразования, формирует вибрационный след на поверхности и вносит определяющий вклад в формирование границы области устойчивости;

– касательный контур улучшает шероховатость поверхности, забирает на себя часть формируемой в процессе резания энергии и соответственно расширяет область устойчивости.

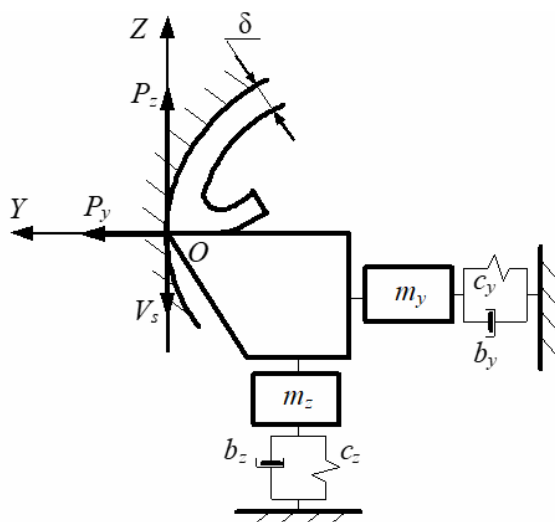


Рис. 2. Модель двухконтурной динамической системы

Исключение в модели касательного контура OZ сужает область устойчивости приблизительно на 10-12% по сравнению с двухконтурной моделью. Допустимость перехода на одноконтурную динамическую модель подтверждают многочисленные динамические испытания станков [1, 2].

Для построения динамической модели рассмотрим условия силового взаимодействия при токарной обработке. Кинематика формообразующих движений при обработке растачиванием представлена на рисунке 3.

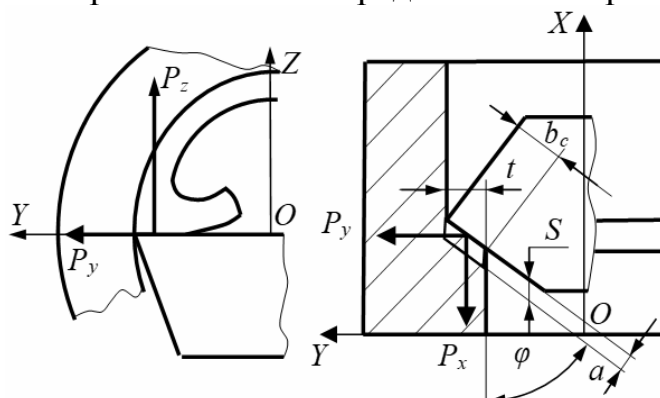


Рис. 3. Кинематика формообразующих движений при обработке растачиванием

Составляющие силы резания определяются выражениями

$$P_z = k_c b_c a; P_y = f \cos \varphi P_z; P_x = f \sin \varphi P_z, \quad (1)$$

где t – глубина резания; s – рабочая подача; b_c – ширина среза; a – толщина среза; φ – главный угол в плане; k_c – удельная сила резания; f – коэффициент трения между передней поверхностью инструмента и стружкой.

Удельная сила резания k_c зависит от обрабатываемого материала. Наиболее полно и комплексно информация об обрабатываемых материалах представлена в классификаторах ISO [3]. Она определяется выражением

$$k_c = k_{c1} a^{-m_c} \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right), \quad (2)$$

где γ – передний угол режущего инструмента, гр.; k_{c1} – удельная сила резания при переднем угле $\gamma = 0$ (табличный параметр); a – толщина среза; m_c – показатель степени (табличный параметр) [3].

Составляющая силы резания P_y в выражении (1) может быть записана как статическая характеристика

$$P_y = k_y a, \quad (3)$$

где k_y – коэффициент приведения, $k_y = f k_c b_c \cos \varphi$.

В динамике резания происходит запаздывание изменения силы резания по отношению к изменению толщины среза [4]. Указанные изменения осуществляются относительно положения динамического равновесия и формализуются динамической характеристикой резания в форме апериодического звена, приведенного к контуру ОУ

$$T_p \dot{P}_y + P_y + k_y^* y = 0, \quad (4)$$

где T_p – постоянная времени запаздывания, $T_p = l_p / V_s$; l_p – путь стружкообразования, равный длине линии контакта стружки с передней поверхностью инструмента; k_y^* – коэффициент передачи контура, $k_y^* = k_y \sin \varphi$.

Для динамической системы, представленной на рис. 2, с учетом выражения (4) можно получить математическое выражение одноконтурной динамической модели технологической системы

$$m_y \ddot{y} + b_y \dot{y} + c_y y = P_y; \quad (5)$$

$$T_p \dot{P}_y + P_y = -k_y^* y. \quad (6)$$

Таким образом, достигнутыми упрощениями удалось сформировать общую модель технологической системы механической обработки для исследования устойчивости и определения границ допустимых значений параметров обработки.

Построение границы области устойчивости можно осуществить в автоматическом режиме с применением алгоритма У. Лозба [4]. Сущность алгоритма заключается в следующем. Введем в рассмотрение изменяемые параметры d_i , к числу которых относятся параметры процесса резания: скорость резания V_s , глубина резания t , рабочая подача s и др. Положим, что имеются два изменяемых параметра и обозначим область их изменения $D(d_1, d_2)$. Задача заключается в отыскании подобласти $d \subset D$ такой, что для всех точек (d_1, d_2) выполняется условие устойчивости, которое для динамической системы (5)-(6) может быть определено на основе алгебраического критерия Гурвица, который определяется выполнением условий

$$T_p m_y > 0; \quad (7)$$

$$T_p b_y + m_y > 0; \quad (8)$$

$$(T_p c_y + b_y)(T_p b_y + m_y) > T_p m_y (c_y + k_y^*). \quad (9)$$

Условия (7) и (8) выполняются при любых значениях параметров, поэтому проверке подлежит только условие (9). Выполнение данного условия означает, что корни характеристического уравнения третьего порядка системы

дифференциальных уравнений (5)-(6) имеют отрицательную действительную часть.

Построенная в соответствии с рассмотренным алгоритмом граница области устойчивости определяет предельные возможности рассматриваемого станка, которые ограничивают область допустимых режимов.

Список литературы

1. Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков: Теория и практика. – СПб.: ОКБС, 1993. – 182 с.
2. Данчишен С.Д. Испытания металлорежущих станков на виброустойчивость // Современное машиностроение: Сборник трудов молодых ученых. Вып.1. – СПб.: Изд. ПИМаш, 1999. – С. 44-47.
3. Васильков Д.В., Файзиматов Б.Н., Кочина Т.Б., Подскребкин А.Д. Применение классификаторов ISO для определения удельной силы резания / Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Нижневартонск: Нижневартонский государственный университет, 2019. – С.691-696.
4. Васильков Д.В., Вейц В.Л., Шевченко В.С. Динамика технологической системы механической обработки. – СПб.: Инструмент, 1997. – 230 с.

Сведения об авторах:

Васильков Дмитрий Витальевич – д.т.н., профессор кафедры «Технология и производство артиллерийского вооружения»;

Кочина Татьяна Борисовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Нефтегазовое дело»;

Файзиматов Баходир Нуманович – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения».

РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Васильков Д.В.¹, Кочина Т.Б.²

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург;*

²*Нижневартковский государственный университет, Нижневартовск*

Ключевые слова: шероховатость поверхности, регламентированные параметры, непараметрические характеристики, опорная линия профиля, кривая Абботта-Файрстоуна.

Аннотация. В статье рассмотрены регламентированные параметры и непараметрические характеристики шероховатости поверхности. Установлено, что регламентированные параметры не определяют форму микрорельефа. Представлены непараметрические характеристики микропрофиля, но их невозможно параметризовать. Представлена схема параметризации кривой Абботта-Файрстоуна, которая решает проблему учета формы микропрофиля поверхности применительно к эксплуатационным характеристикам.

REGULATED PARAMETERS AND NONPARAMETRIC CHARACTERISTICS OF SURFACE ROUGHNESS

Vasilkov D.V.¹, Kothina T.B.²

¹*Baltic State Technical University „VOENMEH” n.a. D.F. Ustinov, Saint Petersburg;*

²*Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk*

Keywords: surface roughness, regulated parameters, nonparametric characteristics, profile reference line, Abbott-Firestone curve.

Abstract. The regulated parameters and nonparametric characteristics of surface roughness are considered in the article. It is established that the regulated parameters do not determine the shape of the microrelief. Nonparametric characteristics of the microprofile are presented, but they cannot be parameterized. The scheme of parametrization of the Abbott-Firestone curve is presented, which solves the problem of taking into account the shape of the surface profile in relation to operational characteristics.

Регламентированные параметры шероховатости поверхности определяются российским стандартом ГОСТ 2789-73: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам; R_m – максимальная высота профиля; S_m – средний шаг неровностей; S – средний шаг по вершинам локальных выступов; t_p – относительная опорная длина профиля на уровне p . Как показывает рисунок 1, регламентированные высотные и шаговые параметры шероховатости поверхности не дают никакой информации о форме микропрофиля. Как следует из рассмотрения рисунка 1, при одних и тех же параметрах R_a , R_z , R_m , S_m , S эксплуатационные свойства поверхностей существенно отличаются. Совершенно одинаковые параметры имеют пикообразный и платообразный микропрофили. Получается, что данных параметров для оценки формы микропрофиля недостаточно. С точки зрения эксплуатационных свойств функциональных поверхностей форма микропрофиля является важнейшей информативной характеристикой. Относительная опорная

линия профиля – это функция, о параметризации которой ГОСТ 2789-73 ничего не говорит. Уровень p относительной опорной длины профиля он не регламентирует.

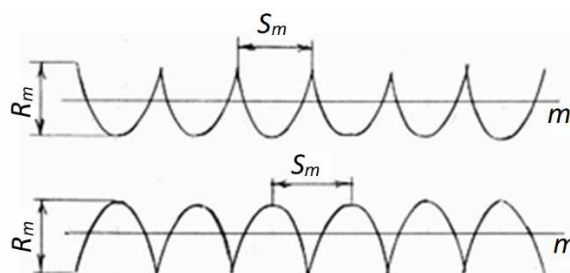


Рис. 1. Микропрофиль поверхностей с одинаковыми регламентированными высотными и шаговыми регламентированными параметрами

В работах [1, 2] отмечается, что чисто параметрический подход к оценке микрогеометрии обработанной поверхности детали без учета ее эксплуатационных свойств не является объективным. Поэтому оценивать шероховатость указанными параметрами недостаточно в плане обеспечения требуемой работоспособности узлов трения. Предложенный в работе [2] непараметрический подход к оценке и контролю микрогеометрии поверхностей деталей позволяет решать задачу оптимизации микрогеометрии для конкретных функциональных условий.

Если рассматривать микрогеометрию в целом, то она может быть представлена как совокупность волнистости, шероховатости и макроотклонений формы. К макроотклонениям относятся единичные, регулярно не повторяющиеся отклонения. К таким относятся выпуклость, вогнутость, отдельные царапины и др. Волнистость представляет собой совокупность периодических, регулярно повторяющихся выступов и впадин, расстояние между которыми значительно больше высоты неровностей. Под шероховатостью понимают совокупность микронеровностей с относительно малым шагом, образующих рельеф поверхности [1]. Как правило, волнистость и шероховатость разделяет отношение периода микропрофиля к амплитуде, равное 40-50. В работе [3] представлен метод фильтрации микропрофиля с выделением шероховатости поверхности.

Очень часто для решения эксплуатационных задач стандартными параметрами шероховатости (рис. 2,а) невозможно полностью описать профиль. В этом случае прибегают к непараметрическим характеристикам описания профиля [2]. Такими характеристиками являются относительная кривая опорной линии профиля (рис.2,б), плотности и функции распределения ординат (рис.2,в) и тангенсов углов наклона профиля (рис.2,г).

Непараметрическая оценка профиля поверхности дает возможность определить не только его высотные и периодические характеристики, но и форму микрорельефа, что является исключительно важным при оценке эксплуатационных свойств поверхности. Неудобством непараметрической оценки является необходимость функционального описания указанных характеристик.

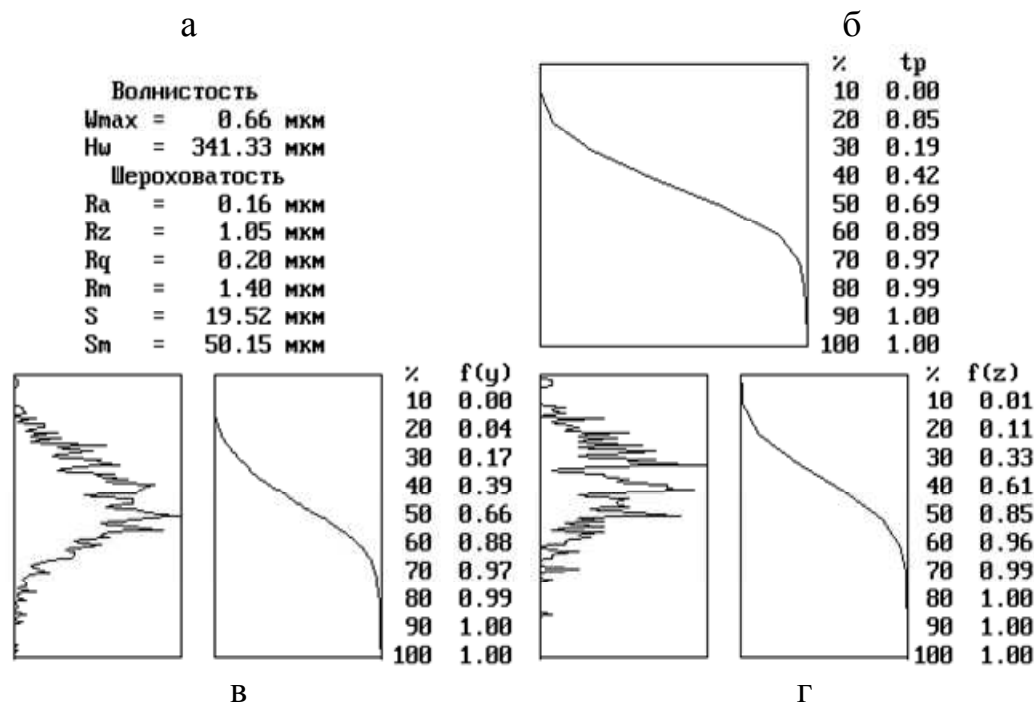


Рис. 2. Параметрические и непараметрические характеристики профиля: а – параметры волнистости и шероховатости; б – относительная кривая опорной линии профиля; в – плотность и функция распределения ординат; г – плотность и функция распределения тангенсов углов наклона профиля

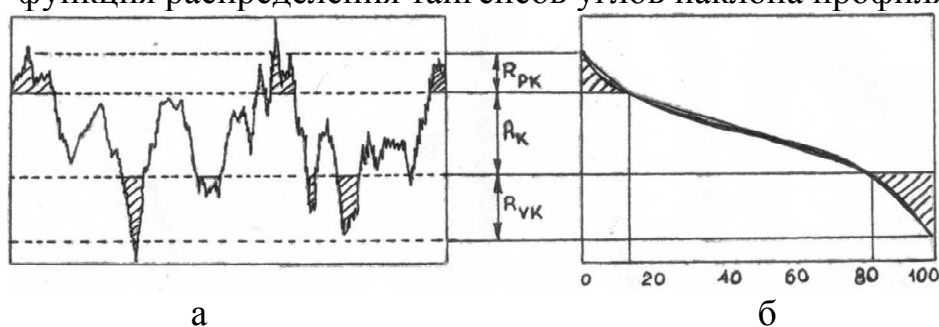


Рис. 3. Параметризация опорной линии профиля поверхности: а – микропрофиль поверхности; б – кривая Аббота-Файрстоуна

В 1933 году немецкими исследователями Эрнестом Джеймсом Абботтом и Флойдом Файрстоуном была исследована несущая способность поверхности в зависимости от формы микропрофиля, представленной относительной кривой опорной линии профиля [4]. Им удалось параметризовать ее семейством параметров R_k (рис. 3): R_{pk} , R_k , R_{vk} [3]. На основе их исследований был разработан стандарт Германии DIN 4776. Впоследствии он вошел в стандарты ISO, которые в настоящее время активно применяются. В Германии относительная кривая опорной линии профиля получила имя собственное – кривая Аббота-Файрстоуна. В последнее время данное название все шире применяется в мировой практике. Параметризация кривой Аббота-Файрстоуна позволила регламентировать форму микрорельефа поверхности в зависимости от условий эксплуатации.

Список литературы

1. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Валетов В.А. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. – Л.: ЛИТМО, 1989. – 100 с.
3. Васильков Д.В., Платонов А.В. Комплекс контактно-щупового контроля микрогеометрии функциональных поверхностей: метод и программная реализация // Металлообработка, №3(33), 2006. С. 40-46.
4. Abbott E.J., Firestone F.A. Specifying surface quality: a method based on accurate measurement and comparison // Mechanical Engineering, 1933, vol. 55, pp. 569-572.

Сведения об авторах:

Васильков Дмитрий Витальевич – д.т.н., профессор кафедры «Технология и производство артиллерийского вооружения»;

Кочина Татьяна Борисовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Нефтегазовое дело».

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT22

Романенко М.Д., Баринов В.В.

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Ключевые слова: электромеханическая обработка (ЭМО), безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО), износостойкость, усталостная долговечность, титановый сплав VT22.

Аннотация. В работе представлены результаты испытаний на определение усталостной долговечности и износостойкости образцов из титанового сплава VT22 после различных комбинаций термосилового поверхностного воздействия от электромеханической (ЭМО), безабразивной ультразвуковой финишной обработок (БУФО) и термического старения. В результате максимального режима упрочнения относительная износостойкость VT22 повысилась в 40 раз, усталостная долговечность одновременно с величиной микротвердости – на 83 и 12% соответственно.

INFLUENCE OF COMBINED HARDENING MODES ON FATIGUE LIFE AND WEAR RESISTANCE OF VT22 TITANIUM ALLOY

Romanenko M.D., Barinov V.V.

Volgograd State Technical University, Volgograd

Keywords: electromechanical treatment (EMT), non-abrasive ultrasonic finishing (NAUF), wear resistance, fatigue life, titanium alloy VT22.

Abstract. The paper presents the results of tests to determine the fatigue life and wear resistance of specimens made of titanium alloy VT22 after various combinations of thermal force surface action from electromechanical treatment (EMT), non-abrasive ultrasonic finishing (NAUF) and thermal aging. As a result of the maximum hardening regime, the relative wear resistance of VT22 increased by a factor of 40, fatigue life increased simultaneously with the microhardness value by 83 and 12%, respectively.

Усталостная долговечность, как и износостойкость металлических сплавов и титановых сплавов в частности зависят от ряда факторов. Условно их можно разделить на 2 группы: эксплуатационно-технологические и физические. Эксплуатационно-технологические факторы связаны с предварительными режимами обработки изделия, условиями работы детали, культурой производства. К первой группе стоит отнести растягивающие остаточные напряжения, водородное (газовое) охрупчивание, недопустимые нагрузки и температуры, агрессивные среды, отслаивание, концентраторы напряжений и т.д. Ко второй относятся физические свойства титана – схватываемость, задиры, высокий коэффициент трения и низкий коэффициент теплопроводности.

В качестве технологий и режимов упрочнения для выявления максимального упрочнения по величине микротвердости и усталостной долговечности использовались технологии ЭМО, БУФО и старения, режимы проведения которых, а также условия проведения последующих усталостных

испытаний описаны ранее в работах [1,2]. Для износных испытаний использовались ролики шириной около 10 мм и в диаметре 40 мм упрочнялись на типовом токарном станке ЭМО переменным и постоянным током. Дополнительно после ЭМО была проведена операция термического старения при температуре 600°C и времени выдержки в печи 14 часов и охлаждении с печью. Испытания на износ производились на установке СМЦ-2, частота вращения составила 500 об/мин, охлаждение – водяное (камера охлаждения) [3].

В результате усталостных испытаний наибольший прирост усталостной долговечности и микротвердости наблюдался для режима БУФО – до 83% ($101 \cdot 10^3$), микротвердость при этом повысилась на 12% (4700 МПа). Режим ЭМО+БУФО показал прирост долговечности на 40%, но с некоторым понижением микротвердости – на 16% (3496 МПа).

Наилучший результат по относительной износостойкости показал режим ЭМО с плотностью постоянного тока 600 А/мм² – до 40 раз. Чуть меньший результат показал комбинированный режим ЭМО 600 А/мм² постоянным током с последующим старением – до 30 раз.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» №5/471-22 и № 5/477-22.

Список литературы

1. Багмутов В.П., Водопьянов В.И., Захаров И.Н. [и др.] Влияние поверхностного упрочнения комбинированными термосиловыми воздействиями на усталостную долговечность и разрушение титанового сплава ВТ22 // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2020. – № 6. – С. 65-75.
2. Багмутов В.П., Водопьянов В.И., Захаров И.Н., Денисевич Д.С., Вдовенко А.В., Романенко М.Д., Назаров Н.Г. Комплексная термомеханическая обработка поверхностного слоя термоупрочнённого титанового сплава переходного класса // Известия ВолгГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2018. – №9(219). – С. 74-80.
3. Багмутов В.П., Савкин А.Н., Паршев С.Н., Столярчук А.С. Экспериментальные методы изучения триботехнических свойств материалов узлов трения наземных транспортных средств: учеб. пособ. (гриф). Доп. УМО вузов по университетскому образованию. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 70 с.

Сведения об авторах:

Романенко Михаил Дмитриевич – преподаватель кафедры «Сопротивление материалов»;
Баринов Владислав Валерьевич – инженер кафедры «Сопротивление материалов».

БАЗА НАСТРОЙКИ В КОНСТРУКЦИЯХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Пипкин Ю.В., Таровик А.Б., Лавренчук К.П.

Донбасский государственный технический институт, Алчевск

Ключевые слова: базирование, опорный элемент, база настройки, настройка инструмента, графовая модель, станочное приспособление.

Аннотация. Рассмотрен пример применения обобщенной графовой модели точности обработки в станочных приспособлениях для анализа типовой конструкции специального токарного станочного приспособления; дано описание графовой модели точности обработки, обобщенной на все конструкции станочных приспособлений; дано описание графовой модели, уточненной для токарных станочных приспособлений.

THE BASE IN THE DESIGN OF WORKHOLDING FIXTURES OF MACHINE TOOL FOR CUSTOMIZE

Pipkin Yu.V., Tarovik A.B., Lavrenchuk K.P.

Donbass State Technical Institute, Alchevsk

Keywords: locating, supporting element, base for customize, tool setting, graph model, workholding fixture.

Abstract. An example of the application of a generalized graph model of machining accuracy in workholding fixtures for the analysis of a typical design of a special turning workholding fixture is considered; a description of the graph model of machining accuracy generalized to all designs of workholding fixtures is given; a description of the graph model refined for turning workholding fixtures is given.

Понятие о базе настройки было впервые введено А.Н. Зелинским в связи с обобщением решений задач расчета точности станочных приспособлений для фрезерных, сверлильных, токарных приспособлений [1] и использовалось при анализе на базе обобщенной графовой модели (рис. 1) типовых вариантов установки заготовок – в призмах [2] и на оправках [3].

Граф формирования точности обработки представляет собой дерево, корнем которого является вершина, обозначаемая как база настройки (на рис. 1 – «БН»). Одна из ветвей этого дерева (левая по рис. 1) содержит в себе два подмножества дуг.

Первое подмножество включает в себя дуги, соответствующие составляющим, которые формируются до момента обработки в статике, т.е. по существу при настройке режущего инструмента (РИ) на заданный технологический размер. Это могут быть как систематические $\Sigma \varepsilon_{\text{ст}}$, так и стохастические $\Sigma \omega_{\text{ст}}$ звенья. Совокупность этих составляющих определяет погрешность, связываемую, как правило, с погрешностью изготовления приспособления $\Sigma \varepsilon_{\text{пр}}$ и формирующую погрешность настройки $\Delta H_{\text{и}}$ режущего инструмента на выдерживаемый размер от базы настройки (БН).

Второе подмножество дуг включает в себя звенья, связанные с процессом резания U_m , например, от упругой деформации технологической системы или размерного износа режущего инструмента. Эти составляющие $\sum \omega_{\text{дин}}$ можно считать динамическими.

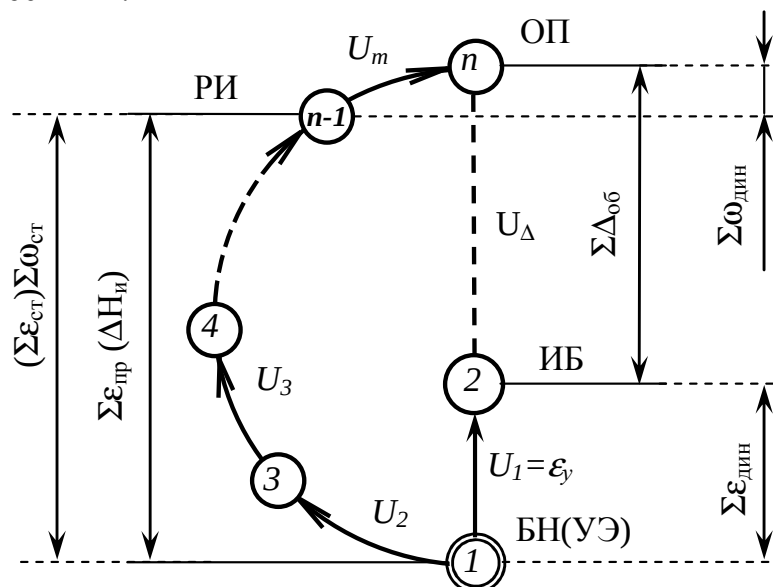


Рис. 1. Обобщенный граф для расчета на точность станочных приспособлений

Правая ветвь графа содержит составляющие, определяющие погрешность установки заготовки в приспособления ε_y . Кроме погрешности базирования ε_6 и закрепления ε_3 , по данным работы [4] эта ветвь графа может также включать составляющие, разбиваемые на комплекс статических и динамических, в числе последних – погрешность износа базовых элементов $\varepsilon_{\text{и}}(t)$, погрешность от температурных деформаций $\varepsilon_{\text{т}}(t)$, погрешность от колебаний технологической системы $\varepsilon_{\text{кол}}(t)$, которая в свою очередь делится на погрешность от инерционных сил $\varepsilon_{\text{и}}$, погрешность демпфирования в стыках $\varepsilon_{\text{дем}}$, погрешность от пластических деформаций в нормальном $\varepsilon_{\text{плн}}$ и тангенциальном $\varepsilon_{\text{плт}}$ направлении к контакту.

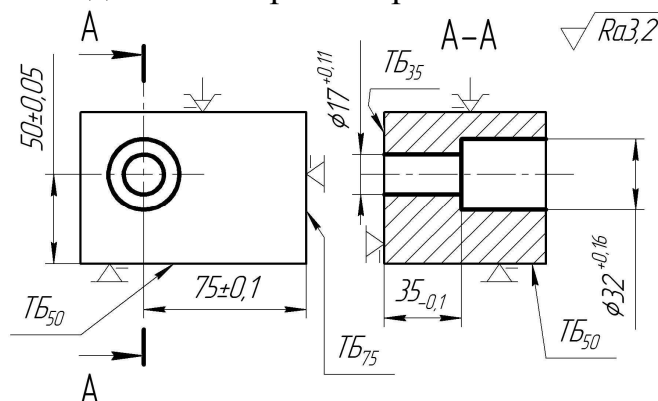
Суммарная погрешность механической обработки $\sum \Delta_{\text{об}}$ формируется как замыкающее звено двух ветвей граф-дерева модели (на рис.1 показано вертикальным пунктиром без стрелки), связывающее положение обработанной поверхности (ОП) с измерительной базой (ИБ).

Таким образом, методика расчетов точности станочных приспособлений на основе графовой модели точности начинается с выявления базы настройки для заданного технологического размера.

Рассмотрим расположение баз настройки на примере обработки корпуса в специальном токарном станочном приспособлении (рис. 2). Исходные условия к данному примеру представлены в ряде учебных изданий [5-8].

По определению А.Н. Зелинского [1] под БН в конструкции станочного приспособления понимается поверхность установочного элемента, контактирующего с технологической базой (ТБ) заготовки. Относительно БН

положение настроенного на заданный технологический размер режущего инструмента не меняется для всей партии обрабатываемых заготовок.

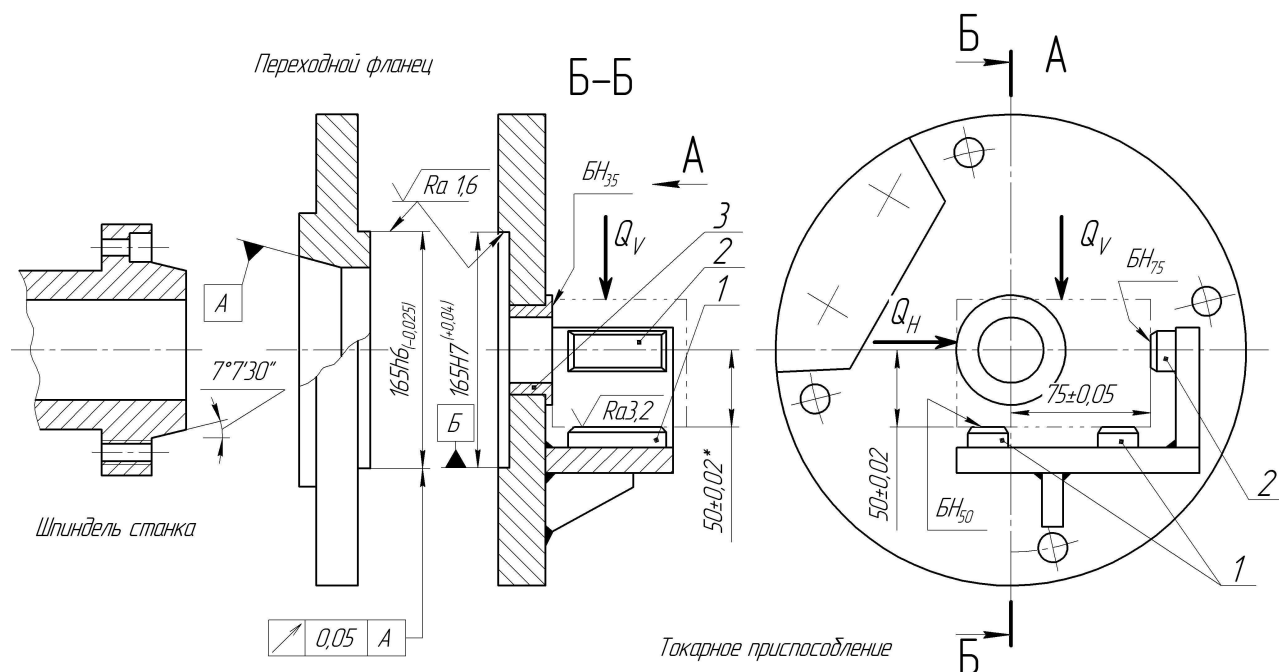


ТБ₅₀ – ТБ для технологического размера $50 \pm 0,05$ (плоскость – установочная база);

ТБ₇₅ – ТБ для технологического размера $75 \pm 0,1$ (плоскость – направляющая база);

ТБ₃₅ – ТБ для технологического размера 35_{-0,1} (плоскость – опорная база)

a



БН₅₀ – БН на технологический размер 50±0,05 (общая плоскость установочных пластин 1);

БН₇₅ – БН на технологический размер 75±0,1 (плоскость установочной пластины 2);

БН₃₅ – БН на технологический размер 35_{0.1} (торцевая плоскость втулки 3)

6

Рис. 2. Базы настройки для специального токарного приспособления:
а – операционный эскиз с указанием технологических баз для заданных технологических размеров; б – элементы приспособления и его установки на станок

По рисунку 2 можно отметить, что базы настройки определяются для каждого технологического размера, на который оказывает влияние конструкция приспособления. В частности – это координирующие размеры $50 \pm 0,05$ и $75 \pm 0,1$ положения осей обрабатываемых отверстий, а также $35_{-0,1}$ – длина меньшего диаметра ступенчатого отверстия. Эти технологические размеры заданы на операционном эскизе (рис. 2,а) от технологических баз ТБ₅₀, ТБ₇₅, ТБ₃₅, имеющих

плоскую форму и позволяющих установку в «координатный угол» – комплект баз, включающих в себя соответственно установочную, направляющую и опорную базы. В приспособлении «координатный угол» обеспечивается двумя пластинами в позиции 1 (контактируют общей плоскостью с ТБ₅₀ – установочной базой), одной пластиной в позиции 2 (контактирует плоскостью с ТБ₇₅ – двойной направляющей базой) и втулкой в позиции 3 (контактирует правым торцом с ТБ₃₅ – опорной базой).

После определения баз настройки для анализа точности получения координирующих размеров рекомендуется применить обобщенную графовую модель [1] (рис. 3), включающую в себя семь элементарных составляющих погрешности обработки $U_1 \div U_7$.

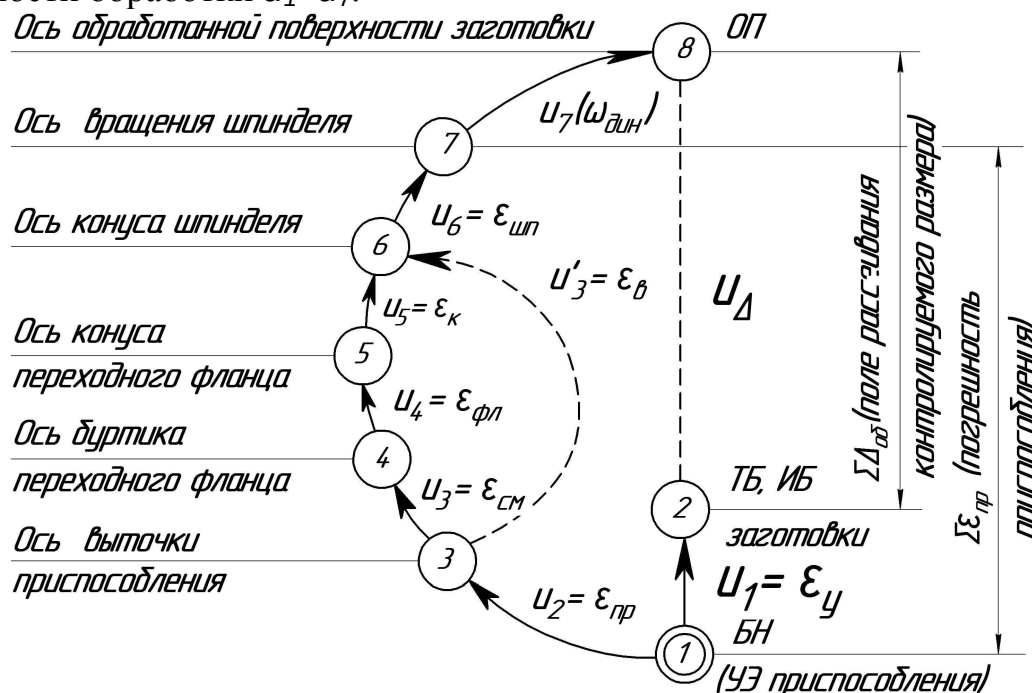


Рис. 3. Обобщенная графовая модель точности обработки при точении

Анализ источников [5-8] показывает, что построение размерных схем не представлено, при том, что дается характеристика элементарных составляющих погрешности обработки, которые по своей сущности совпадают с заложенными в графовой модели составляющими.

Особенностью предложенного подхода является то, что понятие о БН облегчает выделение элементарных составляющих. Для совпадения полученного при настройке от БН положения РИ (например, оси сверла) с осью вращения заготовки (т.е. осью вращения шпинделя) потребуется учет всех факторов, определяющих возникновение несоосности – от погрешности изготовления приспособления u_2 к погрешности смещения при посадке приспособления на переходной фланец u_3 и, далее, к погрешности изготовления фланца u_4 , погрешности установки на конус u_5 и биению конуса шпинделя u_6 .

Список литературы

1. Зелинский А.Н., Шкурят Е.В., Пипкин Ю.В. Модель расчета точности станочных приспособлений // Вестник МАНЭБ. – 2000. – № 2 (26). – С. 67-70.

2. Зелинский А.Н., Кучма С.Н., Пипкин Ю.В. К расчету погрешностей базирования при установке заготовок в призмы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/1 (51). – С. 13-17.
3. Зелинский А.Н., Зинченко А.М., Денисова Н.А., Пипкин Ю.В. Определение погрешностей базирования при установке заготовок на оправки // Прогрессивные технологии в машиностроении. – 2016. – № 1(52). – С. 52-61.
4. Ильицкий В.Б., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.
5. Уткин Н.Ф. Приспособления для механической обработки. – Л.: Лениздат, 1969. – 304 с.
6. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений: Учеб. пособие для студентов вузов машиностроительных спец. – Мн.: «Вышэйшая школа», 1986. – 236 с.
7. Шулепов А.П., Шманев В.А., Шитарев И.Л. Проектирование технологической оснастки, Под общ. редакцией А.П. Шулепова. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1996. – 332 с.
8. Дмитриев В.А., Немыткин С.А. Расчет приспособлений на точность: учеб. пособ. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. – 90 с.

Сведения об авторах:

Пипкин Юрий Владимирович – к.т.н., доцент кафедры технологии и организации машиностроительного производства;

Таровик Артем Борисович – к.т.н., доцент кафедры технологии и организации машиностроительного производства;

Лавренчук Константин Павлович – старший преподаватель кафедры технологии и организации машиностроительного производства.

СПОСОБ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ БРОНЗОВЫХ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Куфаев В.Г.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, вкладыш подшипника скольжения, преимущественный износ, магнитный индуктор, осцилляционное движение.

Аннотация. Подшипники скольжения выполняют функцию опоры и поддержки валов в механизмах и машинах, а также обеспечивают вращение. Наиболее изнашиваемой частью подшипников являются вкладыши, непосредственно контактирующие с валом и воспринимающие основные нагрузки. Преимущественный износ этих деталей происходит в центральной части. Доказано, что на многие эксплуатационные свойства оказывают прямое влияние показатели качества, обеспечиваемые на этапе финишной обработки. Однако, традиционно применяемые методы окончательной обработки вкладышей подшипников имеют недостатки. Таким образом, целью данной работы является предложение метода магнитно-абразивной обработки и разработка способа, заключающегося в использовании особого устройства – индуктора на постоянных магнитах, определённого ферроабразивного порошка (быстрорежущего измельчённого сплава Р6М5), диапазона изменения магнитной индукции (от 0,4 Тл до 0,8 Тл) и назначения определённого технологического зазора (3 мм).

THE METHOD OF MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OF SURFACES OF BRONZE LINERS OF PLAIN BEARINGS

Kufaev V.G.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: magnetic-abrasive machining, sleeve bearing, primary wear, magnetic inductor, oscillatory motion.

Abstract. Plain bearings perform the function of supporting and supporting shafts in mechanisms and machines, and also provide rotation. The most worn part of the bearings are the liners that are in direct contact with the shaft and take the main loads. Preferential wear of these parts occurs in the central part. It has been proven that many performance properties are directly affected by the quality indicators provided at the finishing stage. However, traditionally used methods for finishing bearing shells have disadvantages. Thus, the purpose of this work is to propose a method of magnetic-abrasive processing and develop a method that consists in using a special device - an inductor with permanent magnets, a certain ferroabrasive powder (high-speed crushed R6M5 alloy), a range of magnetic induction (from 0.4 T to 0.8 T) and the appointment of a certain technological gap (3 mm).

Подшипники скольжения являются важной частью машин и предназначены для опоры и поддержки валов в корпусе с целью обеспечения их бесперебойного вращения. Сами подшипники скольжения состоят, как правило, из двух частей – корпуса и вкладыша. Вкладыши, изготовленные из антифрикционных материалов, непосредственно прилегают к цапфе вала и воспринимают все нагрузки, а корпус выполняется отдельно в целях экономии. Именно вкладыши подшипников в данном узле разрушаются наиболее часто, что является причиной остановки машин на обслуживание и ремонт раньше срока.

К вкладышам подшипников скольжения предъявляются следующие требования по эксплуатационным характеристикам: износо- и задиростойкость, антифрикционность, требования по усталостной прочности [1]. Как известно, большинство эксплуатационных характеристик зависят от показателей качества, обеспечиваемых на этапе финишной обработки заготовки. Например, шероховатость поверхности во многом определяет её последующий износ, а определённый рисунок неровностей делает возможным обеспечение высокой маслоёмкости поверхности [2, 3].

Применительно к вкладышам подшипников выделяют несколько методов финишной обработки, которые возможно применять: шабрение, полирование, шлифование, хонингование, тонкое растачивание и протягивание. Однако, каждый из этих методов имеет ряд недостатков. Так, шабрение, которое чаще всего применяют для окончательной обработки данного изделия, является малопроизводительной ручной обработкой, выполняемой высококвалифицированным слесарем-станочником [4]. Кроме того, этот метод часто предусматривает прерывание обработки на контроль и осмотр вкладыша, то есть требует дополнительных временных затрат, что в условиях серийного и массового производства не является эффективным. Что касается полирования, то, хотя этот метод и обеспечивает существенное улучшение шероховатости, он не способен удалить погрешности предыдущей обработки и улучшить точность форм и взаимного расположения. Также при назначении большого припуска на обработку сам процесс требует значительных затрат рабочего времени [5]. Касательно абразивных методов обработки (шлифования и полирования) стоит упомянуть их общий недостаток – засаливание инструмента, происходящее вследствие отделения бронзовой стружки и попадания её в поры абразивного инструмента. Таким образом, необходимо осуществлять правку шлифовальных кругов и брусков, используя специальное оборудование и инструменты. Недостатком метода тонкого растачивания является довольно высокая стоимость алмазных и корундовых инструментов, чаще всего применяемых на этой операции, а также потребность в точном оборудовании [6]. Кроме того, этот метод рассчитан на получение шероховатости $Ra = 0,02$ мкм, что для вкладышей не является особенно актуальным, поскольку их оптимальная шероховатость – $Ra = 0,8$ мкм. Наконец, для осуществления протягивания необходимо изготовить инструмент – протяжку под конкретный типоразмер вкладыша, что влечёт за собой экономические затраты [7].

Стоит сказать, что, согласно исследованиям доктора технических наук профессора М.Н. Нагоркина, вкладыши подшипников в процессе эксплуатации не изнашиваются во всех зонах одинаково – преимущественный износ наблюдается в верхней центральной части данной детали, поскольку именно эта область вкладыша контактирует с вращающимся валом на протяжении всего времени работы [8]. Таким образом, может быть поставлена задача по обеспечению закономерно изменяющихся параметров качества вкладыша и преимущественного упрочнения наиболее подверженной износу части.

Большую роль для фрикционных поверхностей, как уже говорилось, играет рисунок неровностей, обеспечивающий необходимые условия для удержания

смазки. Эту задачу обычно решают описанным выше методом шабрения – рабочий, совершая определённую комбинацию движений, формирует на поверхности рисунок неровностей.

Таким образом, на основе всего вышесказанного, целью данной работы является предложение альтернативного метода обработки бронзовых вкладышей подшипников скольжения, который не только учитывал бы недостатки существующих традиционных способов, но и делал бы возможным повышение качества поверхностей и их эксплуатационные свойства. В качестве такого метода в данной работе предлагается использовать метод магнитно-абразивной обработки (МАО). Он заключается в использовании энергии магнитного поля и специального абразивного материала – ферроабразивного порошка – для обработки заготовок. В качестве оборудования применяют электромагнитные катушки с подсоединёнными к ним полюсами, которые и формируют магнитное поле. В область действия поля вводят заготовку и засыпают абразивный материал, после чего сообщают заготовке вращательное и возвратно-поступательное движение, чем обеспечивают её относительное движение в зоне обработки [9, 10]. Это общепринятая схема обработки наружной цилиндрической поверхности, однако, для обработки данным методом поверхности бронзового вкладыша подшипника существует ряд нюансов.

Как известно, бронза – это маломagnetный материал, в связи с чем создать вокруг неё сильное магнитное поле довольно проблематично. Существует ряд способов решения данной проблемы, но самое действенное из них – применение индуктора на постоянных магнитах. Это устройство представляет собой подобие хона, однако по его периметру закреплены постоянные магниты, разделённые магнитопроводами. Индуктор погружается в ёмкость с абразивным материалом, который формирует на поверхности магнитов «щётку». Затем инструмент закрепляется в шпинделе станка и, вращаясь, производит обработку требуемой поверхности [11].

Достичь формирования закономерно изменяющихся показателей качества на поверхности вкладыша планируется варьированием определённых режимных параметров работы установки для МАО, в частности, это величина магнитной индукции (диапазон изменений 0,4-0,8 Тл). Технологический зазор δ составит 3 мм, для обработки будет использован порошок Р6М5 фракцией 55-250 мкм. Предлагается следующая последовательность действий: обрабатываемый вкладыш делится на три зоны – две боковые и центральную. Обработка индуктором начинается от левой боковой зоны: индуктор вращается и перемещается по длине окружности. Как только он подходит к началу наиболее подверженной износу зоны, происходит смена режимных параметров, и обработка этой области происходит уже с новыми значениями. Затем, как только эта зона пройдена, происходит обратное переключение и правая зона обрабатывается, как и левая.

Для формирования на поверхности вкладыша определённого рисунка для удержания масла в условиях магнитно-абразивной обработки предлагается сообщать заготовке осцилляционное движение вверх-вниз, вследствие чего на её поверхности должны быть сформированы пересекающиеся штрихи.

Таким образом, суть данной работы заключается в предложении метода магнитно-абразивного полирования для обработки вкладышей подшипников скольжения. В качестве режимных параметров предложен диапазон магнитной индукции B от 0,4 до 0,8 Тл и технологический зазор 3 мм. Для осуществления обработки предлагается использовать измельчённый быстрорежущий абразив Р6М5 фракцией 60-160 мкм. Ожидается, что в результате обработки вкладыша подшипника будут обеспечены требуемые эксплуатационные характеристики, в частности, повышена износостойкость поверхности, её усталостная прочность и стойкость к образованию задиров, а также антифрикционность. Всё это в комплексе позволит увеличить ресурс данной детали и сделать период безотказной работы машины более длительным.

Список литературы

1. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пириайнен В.Ю. Специальные материалы в машиностроении: учебник, – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2022. – 664 с.
2. Гимадеев М.Р. Оценка влияния параметров шероховатости на эксплуатационные характеристики гладких цилиндрических отверстий и оптимизация алгоритмов механической обработки // Ученые заметки ТОГУ. – 2015. – Т. 6. – № 4. – С. 429-435.
3. Зюзин А.А., Казьмин Б.Н., Юров М.Д. Влияние шероховатости и микрорельефа поверхностей трения в подшипнике скольжения на изнашивание // Вестник машиностроения. – 2012. – № 7. – С. 45-49.
4. Трухачев В.И., Капустин И.В., Атанов И.В., Грицай Д.И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт компрессоров холодильного оборудования: учебное пособие для вузов. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022. – 160 с.
5. Зубарев Ю.М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении : учебное пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 400 с.
6. Зубарев Ю.М., Битюков Р.Н. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник, – СПб.: Лань, 2022. – 228 с.
7. Хозяев И.А. Основы технологий пищевого машиностроения: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 264 с.
8. Нагоркин М.Н. Надёжность технологического обеспечения шероховатости и износостойкости поверхностей деталей инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов: дисс. ...докт. техн. наук: 05.02.08. – Брянск: БГТУ, 2019. – 374 с.
9. Maksarov V.V., Vasin S.A., Keksин A.I. Improving internal threaded surfaces in highly loaded components // Russian Engineering Research. 2021, vol. 41(10), pp. 944-947. doi: 10.3103/S1068798X21100191.
10. Максarov В.В., Кексин А.И., Филипенко И.А., Бригаднов И.А. Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий // Металлообработка. – 2019. – № 4(112). – С. 3-10. – DOI: 10.25960/mo.2019.4.3.
11. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 176 с.

Сведения об авторах:

Куфаев Владислав Геннадьевич – магистрант.

Научный руководитель:

Кексин Александр Игоревич – к.т.н., доцент кафедры машиностроения.

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕГАЗОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сорокопуд Н.И.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, элегазовый трансформатор, гексафторид серы SF₆, магнитная индукция, АМц.

Аннотация. Элегазовый трансформатор – типа трансформаторов, в котором в качестве изоляционного материала используется гексофторид серы SF₆ (элегаз). Корпус трансформатора находится под высоким потенциалом напряжения. Важным показателем безотказной работы устройства является шероховатость внутренней поверхности изделия, так как от этого показателя зависит модель распределения магнитного поля внутри устройства. Традиционные методы окончательной обработки поверхности имеют ряд существенных недостатков. Целью данной работы является предложение метода магнитно-абразивной обработки с внедрением способа варьирования значениями режимных параметров для обеспечения более производительной обработки. Был проведен эксперимент по определению воздействия изменения магнитной индукции на качество обработанной поверхности. Использовался абразивный порошок ПР6М5, рабочий зазор 3 мм, используемые значения магнитной индукции – 0,4 Тл, 0,6 Тл и 0,8 Тл. Результатом проведения эксперимента стало изменение шероховатости поверхности, обработанной методом магнитно-абразивной обработки, с Ra = 1,6...1,8 мкм до Ra = 0,18...0,28 мкм.

MAGNETIC ABRASIVE TREATMENT OF ALUMINUM SURFACES OF GAS TRANSFORMERS

Sorokopud N.I.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: magnetic-abrasive machining, gas transformer, sulfur hexafluoride SF₆, magnetic flux density, Al 3003.

Abstract. An elegaz transformer is a type of transformer in which sulfur hexofluoride SF₆ (elegaz) is used as an insulating material. The transformer housing is under high voltage potential. An important indicator of the trouble-free operation of the device is the roughness of the inner surface of the product, since the model of the distribution of the magnetic field inside the device depends on this indicator. Traditional methods of final surface treatment have a number of significant disadvantages. The purpose of this work is to propose a method of magnetic abrasive treatment with the introduction of a method for varying the values of the operating parameters to ensure more productive processing. An experiment was conducted to determine the effect of changes in magnetic induction on the quality of the treated surface. The abrasive powder PR6M5 was used, the working gap is 3 mm, the values of magnetic induction used are 0,4 Tl, 0,6 Tl and 0,8 Tl. The result of the experiment was a change in the roughness of the surfaces treated by magnetic abrasive treatment, from Ra = 1,6 ... 1,8 microns to Ra = 0,18 ... 0,28 microns.

Одним из важнейших элементов городской энергосети являются подстанции, и используемые в них трансформаторы. Наиболее распространённым типом трансформаторов являются масляные трансформаторы, изоляционным материалом в которых используются различные масла, чаще всего на нефтяной основе. Повышенная пожароопасность такого типа устройств

создаёт необходимость поиска их более безопасной замены. Таким аналогом могут выступать элегазовые трансформаторы [1].

Основным отличием элегазовых трансформаторов от их масляных аналогов является применение гексафторида серы SF₆ (элегаз) в качестве изоляционного материала. Его использование требует повышенных показателей качества внутренней поверхности корпуса устройства, контактирующей с элегазом. Высокие значения шероховатости этой поверхности могут приводить к возмущениям в магнитном поле, генерируемом при работе трансформатора, и дальнейшему образованию коронных разрядов и пробоев, которые могут стать причиной выхода устройства из строя. Корпус выполняется из мягкого пластичного сплава алюминия с марганцем марки АМц, и традиционно обрабатывается вручную шкуркой или угловой шлифовальной машиной с вулканистыми полировочными кругами. Такой метод трудоёмок, требует больших затрат времени, и должен выполняться рабочим высокой квалификации [2].

Альтернативным способом, который может использоваться для обозначенных задач, может выступать способ магнитно-абразивного полирования. Данный метод заключается в использовании магнитного абразивного порошка в качестве режущего инструмента, который удерживается в зоне обработки магнитным полем, генерируемым катушками индуктивности. Заготовка помещается в абразив, ей придаётся вращательное и осциллирующее циклическое движение, в результате с неё снимается тонкий слой материала [3].

Основным достоинством данного метода является низкая температура в зоне обработки. В отличие от способа использования абразивных кругов, температура в зоне резания при магнитно-абразивной обработке не повышается выше 150°C, что исключает опасность шаржирования (внедрение частиц абразива в обрабатываемый материал), а также снижает риск тепловых структурных изменений поверхностного слоя, что крайне важно при обработке внутренней поверхности корпусов элегазовых трансформаторов, выполненных из мягких материалов; циклические нагрузки в процессе обработки также невелики. Метод не относится к дорогостоящим вследствие дешевизны абразивного материала и обладает значительно более высокой производительностью, нежели ручная обработка шкуркой [4].

Магнитно-абразивная может быть реализована с использованием возможностей систем с ЧПУ, что открывает возможности варьирования режимными параметрами в процессе обработки, что открывает дополнительные возможности по формированию поверхностного слоя [5, 6]. Согласно исследованиям Акуловича Л.М. и Сакулевича Ф.Ю., в соответствии с определёнными режимными параметрами процесс магнитно-абразивной обработки может быть классифицирован как черновой, получистовой и чистовой [7]. В случае с магнитно-абразивной обработкой, как было отмечено выше, параметром, определяющим силовое воздействие, а также жёсткость обработки, является величина магнитной индукции, которая наряду со скоростью подачи оказывают наибольшее влияние на результирующие показатели качества поверхности [8]. Жёсткость обработки и силовое воздействие в лабораторных

условиях могут быть рассмотрены как необходимые и достаточные для разделения технологического процесса по точности выполняемой обработки. Возможность закономерного изменения индукции в процессе обработки позволяет совместить в одном технологическом переходе черновой, получистовой и чистовой этапы обработки [4].

Для проверки данной теории был проведен эксперимент по магнитно-абразивной обработке пластин из сплава АМц. Эксперимент был проведен в два этапа: первый состоял из трёх опытов неизменными режимными параметрами, отличающимися друг от друга величиной магнитной индукции; время обработки равнялось шести минутам. На втором этапе каждые 2 минуты, не прерывая процесса обработки, величина магнитной индукции менялась, суммарное время обработки также составило шесть минут. Из трёх различных значений магнитной индукции можно составить шесть уникальных комбинаций, соответственно было проведено шесть опытов во втором этапе эксперимента. Для удобства подведения результатов из каждого этапа были отобраны опыты с наилучшими показателями шероховатости по параметру R_a . В обоих случаях шероховатость была значительно уменьшена (величины неровностей были снижены приблизительно в 8 раз, с $R_a = 1,6...1,8$ мкм до $R_a = 0,18...0,28$ мкм).

Предполагалось, что варьирование значениями магнитной индукции позволит за аналогичный стационарному режиму промежуток времени (6 минут для данного эксперимента) получить поверхность более высокого качества. Тем не менее, сравнение результатов двух опытов из различных этапов показало, что шероховатость поверхности в обоих случаях во многом идентична. Помимо показателей качества поверхности, результаты двух этапов были оценены по количеству снятого в процессе обработки материала. Мерой сравнения в данном случае выступала разница в массе заготовок до и после обработки. Установлено, что в процентном отношении к изначальной массе конкретной заготовки при варьировании индукции было снято больше материала (0,039 г, что составляет 0,92%), чем при её постоянном значении (0,028 г, 0,67%). Это может трактоваться более глубокой обработкой, одним из основных плюсов которой является возможность удаления большего количества дефектов, полученных на предшествующих этапах обработки. Это явление может быть заметно при визуальном осмотре заготовок. Заготовка, обработанная при изменяющихся значениях магнитной индукции, выглядит более гладкой и зеркальной. Обозначенные ранее результаты экспериментов могут быть свидетельством возможности реализации совмещения в процессе одного технологического перехода магнитно-абразивного полирования черного, получистового и чистового этапов обработки материала.

Таким образом, главной идеей данной работы является не только замена низкопроизводительного метода ручного полирования алюминиевого сплава АМц при обработке внутренней поверхности корпуса элегазового трансформатора методом магнитно-абразивной обработки, но и предложение возможности использования дополнительных возможностей применяемого в методе оборудования для получения при прочих равных условиях повышенных характеристик качества или интенсивности обработки, а также повышение общей

производительности процесса магнитно-абразивной полировки. Для подтверждения реализации возможности объединения черного, получистового и чистового этапов в одном технологическом переходе был проведён ряд экспериментальных опытов, сравнивающих результаты обработки заготовок из мягкого сплава АМц при постоянной и изменяемой с определённой периодичностью магнитной индукцией. Данный показатель обработки был выбран ввиду своего существенного влияния на процесс магнитно-абразивной обработки. Результатом стало достижение значительное снижение шероховатости обоими способами, а также большее снятие материала при варьировании индукции, что говорит о более глубокой обработке, что в свою очередь свидетельствует о возможности реализации проверяемой идеи.

Список литературы

1. Shen Z., Wang F., Wang Z., Li J. A critical review of plant-based insulating fluids for transformer: 30-year development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021.
2. Семенов К.О., Расторгуев Д.А. Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей // *Технические науки - от теории к практике*. – 2014. – № 31. – С. 39-44.
3. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218 с.
4. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Лебедев В.Я. Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.
5. Нагоркин М.Н. Надёжность технологического обеспечения шероховатости и износостойкости поверхностей деталей инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов: дисс. ...докт. техн. наук: 05.02.08. – Брянск: БГТУ, 2019. – 374 с.
6. Максаров В.В., Кексин А.И., Филипенко И.А., Бригаднов И.А. Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий // *Металлообработка*. – 2019. – № 4(112). – С. 3-10. – DOI: 10.25960/mo.2019.4.3.
7. Максаров В.В., Васин С.А., Кексин А.И. Повышение качества внутренних резьбовых поверхностей для высоконагруженных изделий // *СТИН*. – 2021. – № 7. – С. 11-14.
8. Maksarov V.V., Keksin A.I., Filipenko I.A. Influence of magnetic-abrasive processing on roughness of flat products made of ams grade aluminum alloy // *Tsvetnye Metally*. 2022, no. 7, pp. 82-87.

Сведения об авторах:

Сорокопуд Никита Игоревич – магистрант;

Научный руководитель:

Кексин Александр Игоревич – к.т.н., доцент кафедры машиностроения.

ПОЛУЧЕНИЕ ФАСОННЫХ АЛМАЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ВАКУУМНОЙ ПАЙКОЙ ТВЕРДЫМИ ПРИПОЯМИ

Магда А.В., Соколов Е.Г.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: алмазные инструменты, вакуумная пайка, твердые припои, композиционные припои.

Аннотация. Рассмотрены особенности применения пайки твердыми припоями для получения фасонных алмазно-абразивных инструментов. Для изготовления камнеобрабатывающих алмазных кругов со сложными поверхностями предложен порошковый композиционный припой Sn-Cu-Co-W. Экспериментально подтверждена эффективность применения композиционного припоя для закрепления алмазов на поверхности фасонных кругов. Припой обладает повышенной вязкостью за счет содержания в нем тугоплавких наполнителей (порошков кобальта и вольфрама), что исключает его стекание с острых кромок и сложных поверхностей заготовки при пайке.

OBTAINING SHAPED DIAMOND TOOLS BY VACUUM BRAZING

Magda A.V., Sokolov E.G.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: diamond tools, vacuum brazing, hard solders, compositional solders.

Abstract. The features of the use of hard soldering for the production of shaped diamond abrasive tools are considered. For the manufacture of stone-working diamond wheels with complex surfaces, a powder composite solder Sn-Cu-Co-W is proposed. The effectiveness of the use of composite solder for fixing diamonds on the surface of shaped wheels has been experimentally confirmed. The solder has a high viscosity due to the content of refractory fillers (cobalt and tungsten powders) in it, which prevents it from flowing off sharp edges and complex workpiece surfaces during soldering.

Необходимость использования алмазных абразивных инструментов сложной фасонной формы обусловлена рядом технологических задач, при которых простая форма инструмента является непрактичной. К таким задачам можно отнести обработку архитектурных деталей из природного камня, обработку деталей сложной формы из твердых сплавов или керамики в машиностроении. Практичность использования фасонных абразивных инструментов заключается в повышении точности и эффективности обработки, в некоторых же случаях фасонные алмазные инструменты являются единственным возможным средством обработки.

Фасонные камнеобрабатывающие инструменты обычно содержат металлическую основу и нанесенный на рабочую поверхность сплав с включениями алмазных зерен. В настоящее время получение алмазоносного слоя на инструменте достигается следующими способами: гальваническое осаждение; прессование и спекание; пропитка порошковой формовки расплавом; пайка твердыми припоями. В данной работе рассмотрено применение последнего метода для получения фасонных алмазных кругов, предназначенных для обработки кромок архитектурных деталей из гранита.

Согласно ГОСТ 17325-79 под твердой пайкой понимается пайка при температурах, превышающих 723 К.

Как правило, этим методом получают инструменты с одним слоем алмазов на поверхности. Слой может быть сплошным либо сегментированным, с упорядоченным, либо с равномерным неупорядоченным расположением алмазов. При упорядоченном размещении алмазов на подложку предварительно наносят мелкие капли клея с помощью автоматического дозатора. Затем подложку посыпают алмазами, и они приклеиваются к ее поверхности. Затем на заготовку напыляют порошок припоя в виде суспензии [1]. В некоторых случаях используют припой в виде листового материала: из листа вырезают сегменты нужной формы, размещают на них алмазы и затем прикрепляют сегменты к стальной подложке. В качестве припоев используют никелевые, медно-оловянные, серебряные сплавы. В них вводят добавки, химически-активные по отношению к алмазу, такие как хром, марганец, титан, кремний, алюминий [2].

Заготовку с алмазами и припоем нагревают в вакууме или в инертной среде. Для никелевых припоев температура пайки составляет 1000...1050°C, для серебряных 900...950°C. Расплавленный припой, охватывает частицы алмаза и закрепляет их на подложке. Наличие в составе припоя карбидообразующих элементов обеспечивает химическое взаимодействие расплава с алмазами и хорошее их смачивание.

Такой метод обеспечивает высокую прочность закрепления алмазов на рабочей поверхности инструмента, однако обладает рядом существенных недостатков. Данным методом крайне сложно формировать острые кромки инструмента и некоторые виды поверхностей, с которых жидкий припой может стекать при пайке. В виду того, что спекание производится при высоких температурах, алмазы частично превращаются в графит и карбиды, что приводит к снижению их режущих свойств.

Для пайки фасонных алмазных кругов с острыми кромками и сложными поверхностями целесообразно использовать композиционные припои. В композиционных припоях, как правило, содержатся легкоплавкая основа и тугоплавкий наполнитель [3, 4]. Наполнитель обеспечивает физико-механические свойства (твердость, прочность), а легкоплавкая составляющая обеспечивает смачивание наполнителя и поверхности, на которой осуществляется пайка. За счет содержания тугоплавкого наполнителя такие припои обладают повышенной вязкостью, что предотвращает их стекание с острых кромок и вертикальных поверхностей подложки при пайке. Наличие в припое легкоплавкой составляющей позволяет существенно снизить температуру пайки и тем самым исключить графитизацию и карбидизацию алмазов.

Эффективность применения композиционных припоев была подтверждена экспериментально при изготовлении образцов фасонных алмазных кругов. На поверхность фасонных стальных подложек была нанесена смесь алмазного порошка AC150 с размером зерен 300...400 мкм и порошкового припоя Sn-Cu-Co-W. В этом припое медь и олово образуют легкоплавкую основу, а порошки кобальта и вольфрама являются тугоплавкими наполнителями. Пайку осуществляли в вакуумной печи при 820°C. В результате на алмазных кругах

хорошо сформировались сложные фасонные поверхности и острые кромки, деструкция алмазов в спеченных образцах отсутствует.

Список литературы

1. Trenker A., Seidemann H. High-vacuum brazing of diamond tools // Industrial Diamond Review. 2002, vol. 62(1), pp. 49–51.
2. Artem'ev V.P., Sokolov E.G., Kozachenko A.D. Study of the interaction between composite solders and diamond // Metal Science and Heat Treatment. 2013, vol. 55, no.5-6, pp. 313-315.
3. Соколов Е.Г., Озолин А.В., Козаченко А.Д. Влияние кобальта на процесс пайки алмазно-абразивных инструментов композиционными припоями Sn-Cu-Co-W // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 5 (23). – С. 5.
4. Ozolin A.V., Sokolov E.G., Golius D.A. Effect of tungsten nanoparticles on interaction of Sn-Cu-Co metallic matrices with diamond // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, p. 12016.

Сведения об авторах:

Магда Андрей Викторович – студент магистратуры;

Соколов Евгений Георгиевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Максимов Д.Д.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, сложнопрофильная поверхность, магнитное поле.

Аннотация. Рассмотрен вопрос формирования магнитного поля в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильной поверхности эллипсоида. Проанализированы результаты экспериментального исследования, которые показали малоэффективность применения плоских полюсных наконечников. Предложено решение, заключающееся в применении специально ориентированных постоянных магнитов.

FEATURES OF THE FORMATION OF A MAGNETIC FIELD DURING MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OF COMPLEX SURFACES

Maksimov D.D.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: magnetic abrasive treatment, complex profile surface, magnetic field.

Abstract. The question of the formation of a magnetic field in the working gap during magnetic abrasive treatment of a complex profile surface of an ellipsoid is considered. The results of an experimental study have been analyzed, which have shown the inefficiency of using flat pole tips. A solution consisting in the use of specially oriented permanent magnets is proposed.

В работе рассматриваются вопросы формирования магнитного поля в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработки. Исследуются оба механизма формирования магнитного поля – с помощью катушки индуктивности (непостоянных магнитов) или постоянных неодимовых магнитов [1]. С целью обеспечения формообразования, точности и требуемых показателей качества актуальным становится совершенствовать известные механизмы формирования магнитного поля [2, 3]. Обосновывается предположение, что магнитно-абразивная обработка сложнопрофильной поверхности между двумя плоскими полюсными наконечниками малоэффективна, так как в процессе такой обработки формируются несколько зон с различной интенсивностью обработки. В качестве примера приводятся результаты экспериментального исследования изменения шероховатости обработанной поверхности эллипсоида вращения вследствие магнитно-абразивной обработки.

Результаты экспериментального исследования показали, что интенсивность обработки сложнопрофильной поверхности эллипсоида вращения различается в верхней и нижней его частях. Детальное рассмотрение хода обработки позволили сделать вывод о том, что магнитно-абразивный порошок прилегает к обрабатываемой поверхности в верхней части эллипсоида лучше, чем в нижней (рис. 1).

Неприлегание магнитно-абразивного порошка к обрабатываемой поверхности в нижней её части обеспечивает менее интенсивную обработку, чем в верхней части обрабатываемой поверхности. Таким образом, формируются «слепые зоны», в которых качество обработанной поверхности по значениям шероховатости оказалось хуже на 0,210 мкм, а шероховатость нижней части обработанной поверхности составила 0,995 мкм.

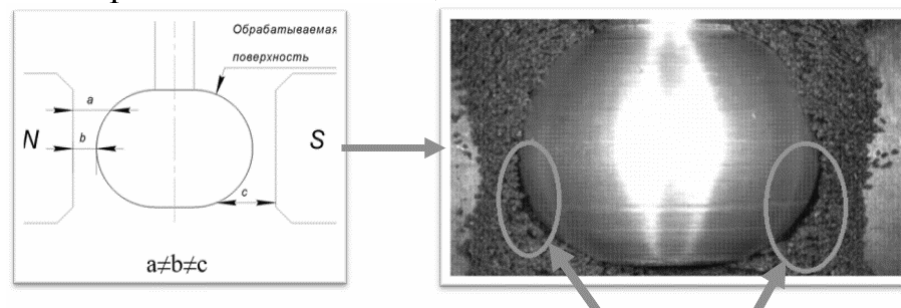


Рис. 1. Формирование «слепых зон» из-за неравнозначного рабочего зазора [составлено автором]

При этом в верхней части обрабатываемой поверхности эллипсоида обработка прошла более интенсивно, так как обеспечивалось полное прилегание магнитно-абразивного порошка к обрабатываемой поверхности. Шероховатость верхней части обработанной сложнопрофильной поверхности составила 0,785 мкм.

Таким образом, неравнозначные значения рабочего зазора негативно влияют на интенсивность обработки сложнопрофильной поверхности. Для предотвращения неравнозначности значений рабочего зазора необходимо применять устройства на постоянных магнитах, рабочие поверхности которых будут параллельны касательным к поверхности, таким образом копируя сложнопрофильную поверхность.

Список литературы

1. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е, Лебедев В.Я. Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.
2. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.
3. Бабич В.Е. Технология финишной магнитно-абразивной обработки сборного породоразрушающего инструмента: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Бабич Виталий Евгеньевич. – ГНУ «Физико-технический институт» НАН Беларуси. – Минск, 2009. – 158 с.

Сведения об авторах:

Максимов Дмитрий Дмитриевич – аспирант;

Научный руководитель

Максаров Вячеслав Викторович – д.т.н., профессор.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОСТРУЙНОГО НАСОСА ПРИ РАБОТЕ В СОСТАВЕ ДОЖИМНОЙ СТАНЦИИ

Кудусов Д.И.

*Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии – филиал
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский
научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева», Казань*

Ключевые слова: гидроструйный компрессор, эжектор, расход, напор.

Аннотация. Объектом исследования работы являются гидродинамические процессы в гидроструйном компрессоре, предназначенном для повышения давления газа – воздуха, используемого в эталонной установке в качестве одного из компонентов воспроизведения потока газожидкостной смеси. Целью исследований являлось проведение экспериментальных исследований по проверке ключевых решений при разработке единичного экземпляра эталонной расходомерной установки в составе государственного первичного специального эталона единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011. При этом ставилась задача экспериментальной проверки работоспособности и эффективности работы гидроструйного компрессора для повышения давления.

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR STUDIES OF THE EFFICIENCY OF A HYDRAULIC JET PUMP WHEN OPERATING AS PART OF A BOOSTER STATION

Kudusov D.I.

VNIIR – Affiliated Branch of D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Kazan

Keywords: hydraulic jet compressor, ejector, flow rate, head.

Abstract. The object of the study is hydrodynamic processes in a hydraulic jet compressor designed to increase the pressure of gas – air used in the reference installation as one of the components of reproducing the flow of a gas-liquid mixture. The purpose of the research was to conduct experimental studies to verify key solutions in the development of a single instance of a reference flow meter installation as part of the state primary special standard of the unit of mass flow of gas-liquid mixtures GET 195-2011. At the same time, the task was set to experimentally test the operability and efficiency of a hydraulic jet compressor to increase pressure.

В работе рассмотрен способ повышения давления газа с помощью гидроструйного компрессора. В ходе работ разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследований гидроструйного компрессора в составе эталонной установки воспроизведения газожидкостных потоков [1]. Проведены экспериментальные исследования расходных характеристик модельной установки гидроструйного компрессора при различных режимных параметрах установки. Получены расходно-напорные характеристики при различных соотношениях исходных давлений газа и напорной жидкости на входе в тракт струйного аппарата. Экспериментальные расходно-напорные характеристики сходны с результатами расчетов в эскизном проекте, чем

подтверждена возможность использования гидроструйного компрессора в составе разрабатываемой эталонной установки.

Гидроструйный компрессор [2] представлял собой замкнутую систему, основными узлами установки являлись три бака, водяной насос и эжектор, рассчитанные на работу при высоких давлениях. В первом баке находилась рабочая жидкость (вода) для гидроструйного компрессора. Во втором – газ (воздух), давление которого следовало повысить. Третий бак предназначен для сбора водо-воздушной смеси. В целом замкнутый контур представляет 2-й бак – бак воздуха низкого давления, 3-й – бак высокого давления по воздуху. Функционально из 1-го бака подается высоконапорная струя воды в эжектор, из 2-го бака инжектируется воздух низкого давления, и далее смешанный поток направляется в 3-й бак. 1-й и 3-й баки конструктивно выполнены из двух частей каждый. Нижние части предназначены для воды, верхние – для воздуха. Между баками были установлены отсечные клапаны. Баки и эжектор снабжены манометрами для измерений давления в процессе экспериментов. Экспериментальная установка была связана с баллонной рампой высокого давления. Были проведены исследования при штатных параметрах работы установки (1,0 и 2,5 МПа) и при промежуточных режимных параметрах (0,5 и 1,5 МПа).

В первом баке находится рабочая жидкость (вода) для гидроструйного компрессора. Во втором – газ (воздух), давление которого следует повысить. Третий бак предназначен для сбора водо-воздушной смеси. Функционально из 1-го бака подается высоконапорная струя воды в эжектор, из 2-го бака инжектируется воздух низкого давления, и смешанный поток направляется в 3-й бак. 1-й и 3-й баки конструктивно выполнены из двух частей каждый. Нижние части предназначены для воды, верхние – для воздуха. Между баками устанавливаются отсечные клапаны. Баки и эжектор снабжены манометрами для измерений давления в процессе экспериментов. Экспериментальная установка связана с баллонной рампой высокого давления.

Все эксперименты проводились в следующем порядке. Первоначально в 1-й бак заливалось определенное количество воды (~10 л). Далее из баллонной рампы высокого давления во 2-й и 3-й баки закачивался воздух до рабочего давления 1 МПа, 2,5 МПа или некоторого промежуточного уровня согласно программе экспериментов. В 1-й бак закачивался воздух до давления на ~1 МПа превышающего рабочее давление. Такое избыточное давление в воздушной подушке создавалось для обеспечения необходимого напора и расхода воды в процессе эксперимента. После установления необходимых значений давления клапан между рампой и экспериментальной установкой закрывался.

На основе проведенного исследования автор получил расходные характеристики, позволяющие спроектировать гидроструйный компрессор с параметрами, необходимыми для эффективной работы эталонной расходомерной установки [3].

Список литературы

1. Соловьев В.Г., Варсегов В.Л., Малышев С.Л., Петров В.Н. Разработка и создание Государственного первичного специального эталона единицы массового расхода

- газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011 // Вестн. Казанского гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 3. – С. 32-38.
2. Каннингем Р.Ж. Сжатие газа с помощью жидкоструйного насоса. Теоретические основы инженерных расчетов. – М.: Мир. – 1974. – № 3. – С. 112–128.
 3. Кудусов Д.И., Малышев С.Л. Совершенствование государственного первичного специального эталона единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011 // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 3. – С. 55-58.

Сведения об авторе:

Кудусов Дамир Исавилевич – ведущий инженер НИО-9.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СРОК СЛУЖБЫ ПОДВОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Теплякова А.В., Лягова А.А.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: подводные резервуары, эксплуатационные факторы, срок службы.

Аннотация. В представленной статье изложены актуальные вопросы, посвященные подводным резервуарам для хранения углеводородов. Рассмотрены различные конструкции и геометрия корпуса подводного хранилища, материалы для его изготовления, явление коррозии применительно к морским системам хранения, оценка прочностных характеристик и остаточного ресурса. На основе этого выявлены проблемы, требующие дальнейшей проработки.

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE INFLUENCE OF GEOMETRIC AND OPERATIONAL FACTORS ON THE SERVICE LIFE OF UNDERWATER TANKS

Teplyakova A.V., Lyadova A.A.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: underwater tanks, operational factors, service life.

Abstract. The article presents topical issues related to underwater storage tanks for hydrocarbons. Various designs and geometry of the underwater storage hull, materials for its manufacture, the phenomenon of corrosion in relation to marine storage systems, assessment of strength characteristics and residual life are considered. Based on this, problems requiring further study have been identified.

По оценке объемов извлекаемых ресурсов, Арктика – самый перспективный регион добычи природного газа. Из суммарного углеводородного потенциала, превышающего в пересчете на жидкие углеводороды 50 млрд. т, на газ приходится почти 90%. Большая часть прогнозируемых ресурсов газа находится в Карском (60,6%) и Баренцевом (33,3%) морях и сосредоточены в уникальных и крупных месторождениях. Решение проблемы промышленного обустройства этих месторождений в условиях сплошного ледового покрова возможно при реализации технологий, основанных на подводном обустройстве эксплуатационных скважин и их подключении к производственно-технологическому комплексу. На сегодняшний день максимально допустимая протяженность подводных магистралей для перекачки газа – 143 км, для нефти – 20-30 км. Что сильно осложняет процесс освоения труднодоступных месторождений. Подводная система хранения, а именно подводные резервуары и подводные танкеры – ключ, открывающий доступ к огромной ресурсной базе.

Подводное хранение нефти имеет следующие преимущества:

- в отличие от плавучих систем подводные резервуары менее подвержены воздействию волновых нагрузок;
- исключается возможность столкновения резервуара с судами;

- позволяет уменьшить размеры и стоимость выносного точечного причала;
- обеспечивает экологическую безопасность, снижая количество выбросов CO_2 по сравнению с наводными объектами;
- отпадает необходимость строительства и эксплуатации дорогостоящих подводных трубопроводов;
- круглогодичная доступность ресурсов в суровых условиях.

Все это, в первую очередь, влияет на рентабельность освоения новых месторождений и делает привлекательным их освоение в условиях истощения ресурсов углеводородов основных нефтегазоносных провинций на суше.

Объектом исследования является подводное хранение углеводородов.

Предмет исследования – подводные резервуары для хранения углеводородов.

Целью научного поиска является анализ существующих исследований, посвященных подводным резервуарам для хранения углеводородов, выявление пробелов и предложение их перспективных решений.

Таким образом, с учетом огромных запасов и перспектив освоения крупных шельфовых месторождений, сооружение подводных резервуаров с высоким уровнем эксплуатационной надежности и экологической безопасности является важной и актуальной задачей для нефтегазовой отрасли.

Одним из ключевых направлений исследований подводных резервуаров на данный момент является изучение влияния геометрии на различные факторы – срок службы резервуара, условия эксплуатации и технического обслуживания. Эта область тесно связана с безопасностью эксплуатации и нагрузками, испытываемыми конструкцией резервуара.

По результатам систематизации и анализа научно-технической информации по представленной проблеме были определены следующие важные задачи, решение которых позволит повысить долговечность, надежность и безопасность подводных резервуаров.

На сегодняшний день, практическая реализация подводного хранения углеводородов представлена лишь в основании платформ, а хранение на морском дне в резервуарах находится на стадии предпроектных решений. Недостаточная проработка конструкций и сложная перспектива внедрения не позволяют расширить базу технического применения.

Научный поиск показал, что комбинированные подводные системы хранения УВ под воздействием внешнего гидростатического давления ведут себя наиболее устойчиво [1]. В связи с этим, актуальной задачей является анализ кривых и фигур, различных геометрических параметров и оценка их напряженно-деформированного состояния от воздействия эксплуатационных нагрузок. Внедрение новых геометрий и технологий их эксплуатации, в свою очередь, требует проведение расширенного гидрогазодинамического анализа с учетом экстремальных условий эксплуатации (ветер, волны, сейсмическая нагрузка). Также следует отметить необходимость создания и более детальной проработки нормативно-технической документации по проектированию, строительству и сооружению подводных хранилищ в морских условиях, адаптированной к российским стандартам.

Особое внимание при разработке подводных хранилищ углеводородов уделяется выбору материалов конструкции. На сегодняшний день используется сталь, эластичные материалы и железобетон. Очень актуальны исследования, посвященные использованию различных видов стали, как самого универсального материала, в конструкции резервуаров и их свойствам в морской воде [2]. Коррозия – один из важных факторов, который приводит к разрушению конструкций и нарушению технологических операций по добыче, хранению и транспорту углеводородов. Возникает необходимость разработки модели прогнозирования явлений коррозии с возможностью дистанционного мониторинга с учетом текущего состояния элементов конструкции. Это поможет управлять безопасностью всей подводной технологической схемы хранения и транспорта углеводородов.

Не менее важным направлением исследований является прогнозирование остаточного ресурса резервуара. Надежность сложной системы подводного хранения чрезвычайно важный критерий для ее безопасного функционирования. Для того, чтобы правильно оценить остаточный ресурс необходима разработка современных методик, учитывающих различные факторы: свойства морской воды, геометрические параметры резервуара, глубину погружения на дно водоема, температуру среды эксплуатации, скорость коррозии в стенке резервуара. Мало где рассматриваются условия крайнего севера, что требует также детальной проработки.

В заключении следует отметить перспективу технической адаптации подводных резервуаров для хранения чистой энергии в виде аммиака (как носителя водородной энергии), а также CO₂ [3]. Стратегические преимущества перед наземными аналогами делают эту сферу особенно привлекательной.

Список литературы

1. Бобов Д.Г., Гусейнов Ч.С. Аналитический обзор технологий для подводного освоения морских месторождений // Евразийский союз ученых. – 2019. – №8(65). – С. 13-17. – <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.65.263>.
2. Benea L., Simionescu N., Mardare L. The effect of polymeric protective layers and the immersion time on the corrosion behavior of naval steel in natural seawater // Journal of Materials Research and Technology. 2020, no. 9(6), pp. 13174-13184. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.059>.
3. Wang H., Wang Z., Liang C., Cariveau R., Ting D.S.-K., Li P., Cen H., Xiong W. Underwater Compressed Gas Energy Storage (UWCGES): Current Status, Challenges, and Future Perspectives // Applied Science. 2022, vol. 12(18), p. 9361. <https://doi.org/10.3390/app12189361>.

Сведения об авторах:

Теплякова Анна Васильевна – студент;

Лягова Анастасия Андреевна – к.т.н., доцент.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗА ИЗ ЖИДКОСТИ

Мальцев М.В.¹, Власов В.В.²

¹*Воронежский государственный университет инженерных технологий;*

²*ООО "ТайрТрейд", Воронеж*

Ключевые слова: удаление газов, водоподготовка, теплоэнергетика, предварительная очистка воды.

Аннотация. Вода является одним из самых распространенных компонентов для различных технологических процессов. Качественная вода и методы ее подготовки являются сложной проблемой в настоящее время. В связи с сильным загрязнением традиционных источников водоснабжения предлагаются различные способы решения этой проблемы. Устойчивое водоснабжение в теплоэнергетике является неотъемлемой частью работы системы в целом. Современное развитие энергетического оборудования требуют постоянного улучшения качества питательной воды.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR REMOVING GAS FROM A LIQUID

Maltsev M.V.¹, Vlasov V.V.²

¹*Voronezh state university of engineering technologies;*

²*TyreTrade LLC, Voronezh*

Keywords: gas removal, water treatment, thermal power engineering, preliminary water purification.

Abstract. Water is one of the most common components for various technological processes. High-quality water and methods of its preparation are a difficult problem at present. Due to the heavy pollution of traditional water sources, various ways to solve this problem are proposed. Sustainable water supply in the heat power industry is an integral part of the operation of the system as a whole. Modern development of power equipment requires constant improvement of feed water quality.

Для подготовки добавочной воды для питания паровых котлоагрегатов на тепловых электростанциях в качестве исходной воды используют воду поверхностных источников [1]. Поверхностные воды содержат различные примеси: истинно растворенные, коллоидные, грубые. Многообразие примесей в природной воде служит причиной того, что очистка добавочной воды для подпитки котлов на водоподготовительных установках (ВПУ) организуется в две стадии: предварительная обработка воды (предочистка) и ионитная обработка воды (умягчение и обессоливание) [2].

Известны перспективные методы интенсифицирования технологических процессов путем увеличения степени дисперсности систем при переходе на микропузырьковую газожидкостную среду с размерами газовых пузырьков от единиц до сотни микрометров [3].

Предлагаемое устройство может быть использовано во всех отраслях промышленности, где требуется удаление из воды кислорода или других газов, например в нефтяной промышленности для обескислороживания воды на нефтяных промыслах.

Технической задачей разработки является снижение сопротивления движению десорбционного газа через пленку жидкости и обеспечение возможности регулирования толщины пленки жидкости.

Результатом разработки является снижение сопротивления движению десорбционного газа, обеспечение равномерного течения пленки жидкости по поверхности конической пористой перегородки, возможность регулирования толщины пленки жидкости за счет изменения избыточного давления жидкости во внутренней полости конической тарелки.

На рисунке 1 изображено предлагаемое устройство для удаления газа из жидкости.

Устройство содержит емкость 1, патрубок 2 подвода смеси – дегазируемой жидкости, трубопровод 3 подвода десорбционного газа, пористую коническую перегородку 4, коническую тарелку 5, выполненную из эластичного материала в виде усеченного конуса, кромка большого основания которой прикреплена к крышке емкости, а кромка меньшего основания свободно прилегает к поверхности пористой конической перегородки, горизонтальную перегородку 6, растекатель 7, патрубки 8 выхода дегазированной жидкости и 9 газа.

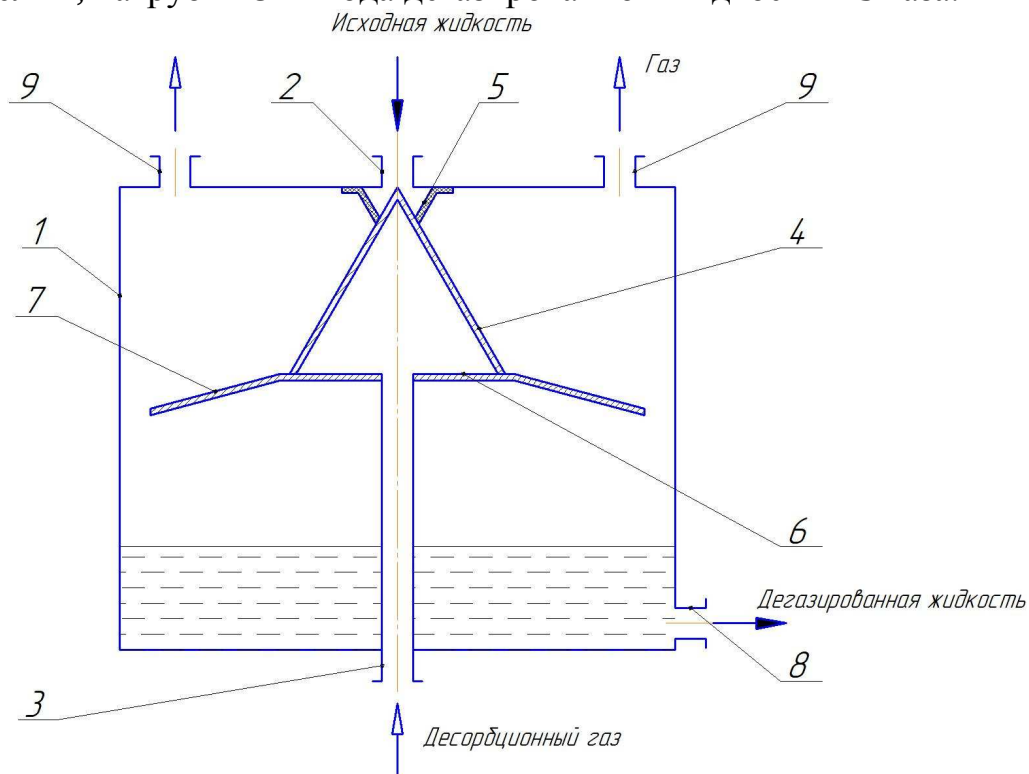


Рис. 1. Устройство для удаления газа из жидкости

Устройство работает следующим образом.

Исходная жидкость по патрубку 2 попадает в полость, образованную верхней частью поверхности конической пористой перегородки 4 и внутренней поверхностью конической тарелки 5, давление жидкости в полости возрастает и под действием избыточного давления жидкости свободная кромка конической тарелки 5 деформируется, тем самым между поверхностью конической перегородки 4 и свободной кромкой тарелки 5 образуется кольцевая щель, через которую жидкость вытекает в виде пленки на поверхность конической перегородки 4. Одновременно в полость, образованную конической пористой

перегородкой 4 и горизонтальной перегородкой 6, по трубопроводу 3 подается десорбционный газ. Пройдя пористую перегородку, десорбционный газ поступает в пленку жидкости, стекающей по наружной поверхности перегородки 4. Толщина пленки регулируется путем изменения величины избыточного давления жидкости внутри полости, образованной верхней частью поверхности конической пористой перегородки 4 и внутренней поверхностью конической тарелки 5. Смесь жидкости и десорбционного газа поступает на растекатель 7, где происходит процесс разделения газожидкостной смеси на жидкость и десорбционный газ. Дегазированная жидкость поступает в нижнюю часть емкости, а оттуда по патрубку 8 к потребителю. Десорбционный газ в смеси с удаляемым газом поступает в газовое пространство емкости, а оттуда по патрубку 9 на утилизацию.

Предлагаемое устройство позволяет повысить эффективность процесса удаления газа из жидкости, обеспечить возможность регулирования толщины и скорости течения пленки жидкости, снизить сопротивление движению газа через пленку жидкости, и следовательно, энергозатраты на эксплуатацию установки.

Список литературы

1. Марьина З.Г. Процессы предварительной очистки воды в схемах водоподготовки: учебное пособие. – Архангельск: САФУ, 2016. – 82 с.
2. Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А. и др. Водоподготовка в энергетике: учебник. – М.: Издательство МЭИ, 2021. – 576 с.
3. Маланова Н.В., Коробочкин В.В., Косинцев В.И. Применение микропузырьковой обработки для снижения жесткости воды // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 3. – С. 108-111.

Сведения об авторах:

Мальцев Максим Валерьевич – к.т.н., доцент;

Власов Владимир Вадимович – директор.

ПЕРСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА УПЛОТНЯЕМЫЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Речицкий С. В.¹, Речицкий А. С.²

¹*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин);*

²*Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск*

Ключевые слова: уплотнение грунта, организация и технология строительства покрытий, уплотняющее оборудование.

Аннотация. Одно из направлений исследования процесса уплотнения – плавное регулирование контактного давления в зоне взаимодействия с материалом от прохода к проходу для приведения его к величине предела прочности уплотняемого материала, что при выполнении этих работ одним катком приведет к сокращению типоразмеров катков в одном отряде. Развитие этого направления связано с незначительными конструктивными изменениями уже существующей техники, что выгодно для проектировщиков-организаций, занимающихся данным оборудованием.

PROSPECTS FOR THE CREATION OF ROAD ROLLERS WITH ADJUSTABLE IMPACT ON THE COMPACTED ROAD CONSTRUCTION MATERIAL

Rechitskiy S.V.¹, Rechitskiy A.S.²

¹*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering;*

²*Siberian State University of Railways, Novosibirsk*

Key words: Soil compaction, organization and technology of pavement construction, compaction equipment.

Abstract. Research of compaction process from the very beginning of its development has been going in different directions, one of which is a possibility of smooth regulation of contact pressure value in the interaction zone with the material from passage to passage to bring it to the ultimate strength value of the compacted material, which will lead to reduction of roller sizes in one squad if it is possible to perform these works by one roller. The development of this direction is caused by relatively small changes in the designs of already existing equipment, which is beneficial for designers-organizations dealing with this equipment.

Обязательное уплотнение грунта, щебня и асфальтобетона в дорожной отрасли является не только составной частью технологического процесса устройства земляного полотна, основания и покрытия, но и служит фактически главной операцией по обеспечению их прочности, устойчивости и долговечности [1].

Долговечность покрытия и сохранение его несущих свойств на протяжении длительного срока являются одними из важнейших условий строительства дорог. Соблюдение этих условий строительным организациям при строительстве дорог можно обеспечить применением современной и высокоэффективной

уплотняющей техники, которая обеспечивает качественное уплотнение и строительство дорожного полотна [2].

Проблема уплотнения очень разносторонняя и связана с решением комплекса вопросов, таких, как эксплуатационная надежность и долговечность покрытий, совершенствование существующих и разработка перспективных конструкций уплотняющего оборудования, организация и технология строительства покрытий, эффективность использования уплотняющего оборудования. [3]

В мире на сегодняшний день существует и применяется несколько традиционных способов воздействия на материал, с целью его уплотнения:

- укатка, является самым распространенным и простым способом;
- трамбование, применяется в основном для уплотнения асфальтобетонных и цементобетонных покрытий;
- вибрация, широко применяется как в дорожном строительстве, так и в других отраслях.

Самыми распространенными машинами, использующими принцип укатки, являются гладковальцовые катки, катки с решетчатыми, кулачковыми и ребристыми вальцами, и пневмошинные катки [4].

Существенными недостатками гладковальцовых катков, является небольшая глубина уплотнения материала, которая ограничивается весом машины и опорной площадью вальца, поэтому для преодоления остаточных деформаций и увеличения степени уплотнения удельное давление на материал приходится постепенно увеличивать, применяя другой каток большей массы [5].

Пневмошинные катки практически лишены таких недостатков, но применяются они при уплотнении материалов с малым сопротивлением. У пневмошинных катков проявляются усадочные свойства шин, из-за чего увеличивается продолжительность воздействия на уплотняемый материал, а это позволяет повысить скорость укатки и снизить число проходов дорожного катка по одному следу [6].

Основным преимуществом пневмошинных катков является возможность изменять контактное воздействие на материал с каждым проходом за счёт регулировки давления в шинах. Недостатком пневмошинных катков является невысокая ровность поверхности после укатки.

Виброуплотнение, когда на материал воздействует волновая энергия вибрации, применяют преимущественно на несвязных материалах, так как такое воздействие позволяет упорядочить структуру уплотняемого материала. Большая доля вибрационного уплотнения приходится на вибрационные катки, сочетающие вибрацию и процесс укатки. Вибрация эффективно влияет на формирование упорядоченной и компактной структуры материала, а сдвигающее усилие и динамическое давление от вальца вызывает необратимые деформации материала.

Альтернативой вибрационному катку может стать виброволновой каток, у которого в отличие от вибрационного катка рабочий орган не колеблется, а периодически деформируется, что приводит к интенсификации уплотнения дорожно-строительных материалов. В виброволновом вальце такого катка

вибрация на уплотняемый материал передается через деформируемую обечайку вальца, поэтому он сочетает в себе преимущества вибрационных катков (динамическое воздействие на уплотняемый материал) и пневмоколесных катков (мягкость воздействия на уплотняемый материал) [7].

Из существующих методов уплотнения наиболее перспективным, на мой взгляд, является развитие методов уплотнения, которые позволят использовать эффект от комбинации пневмошинных или виброволновых катков и трамбующего оборудования. Это упростит конструкцию, снизит стоимость работ, выполняемых такими устройствами, и сделает возможным применение их для уплотнения грунтов и других материалов с различными, изменяющимися в процессе уплотнения характеристиками.

Одним из направлений исследования процесса уплотнения является возможность плавного регулирования контактного давления в зоне взаимодействия с уплотняемым материалом от прохода к проходу для приведения его к величине предела прочности уплотняемого материала. А если будет возможно выполнить эти работы одним катком, то это приведет к сокращению типоразмеров катков в одном отряде. Развитие данного направления обусловлено незначительными конструктивными изменениями уже существующей уплотняющей техники, что выгодно для организаций, занимающихся проектированием и производством данного оборудования. Поэтому наиболее перспективным осталось направление развития уплотняющей техники, рабочие органы которой позволяют изменять контактное давление в зоне соприкосновения с уплотняемым материалом.

Валец дорожного катка [8] содержит барабан с торцевыми дисками, которые связаны с барабаном посредством упругого элемента. В полости барабана расположены валики на кронштейнах, которые закреплены на оси вальца. Упругая связь барабана и торцевых дисков помогает реализовать изменение геометрии барабана. Валики расположены под углом 90° относительно друг друга, что позволяет барабану работать в безударном режиме, что уменьшает вибрации как в грунте, так и в самой конструкции. Данная конструкция [8] повышает равномерность распределения нагрузки от вращающихся валиков по длине барабана, что приводит к более равномерному уплотнению дорожного полотна в поперечном сечении и увеличивает эффективность процесса управления материалом.

Задачей изобретения [9] является повышение качества уплотнения грунта за счет эффекта сохранения кусков фракций и повышения однородности уплотнения. Валец дорожного катка содержит обечайку с круговыми элементами большего диаметра, которая разделена на цилиндрические секции дисками, стянута стержнями в резиновой оболочке и выполнена из упругого материала. Стержни в напряженном состоянии заключены в резиновую оболочку и плотно прилегают к внутренней поверхности обечайки. [9]

Валец [10] содержит основную раму, набор упругих оболочек (шин), ось, на которой крепится дополнительная шарнирная рама. Поверхность соприкосновения шарнирной рамы с шинами состоит из свободно вращающихся роликов, которые закреплены на осях в каркасе, состоящем из двух частей,

которые посередине скреплены шарниром. Концы каркаса связаны вибрационным устройством. При работе катка охватывающая шарнирная рама с помощью вибрационного устройства периодически "сжимает-разжимает" упругие оболочки (шины), заставляя их испытывать деформацию, под направленным воздействием которой уплотняемый материал испытывает динамические нагрузки. Задачей изобретения [10] является повышение эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов.

В вальце катка с гибкой обечайкой [11-13] радиус кривизны изменяется гидроцилиндрами, что приводит к изменению пятна контакта вальца с уплотняемым материалом. Изменяющаяся площадь контакта вальца с уплотняемым материалом изменяет величину силы на уплотняемый материал со стороны вальца, которая зависит прежде всего от веса катка, приходящегося на этот валец. Масса катка в период уплотнения остается постоянной, поэтому уменьшение уплотняющего усилия происходит из-за увеличения пятна контакта благодаря увеличению радиуса кривизны обечайки. И наоборот, с уменьшением пятна контакта увеличится давление вальца на уплотняемый материал.

Рассмотренные конструктивные решения [8-13] позволяют интенсифицировать процесс уплотнения и сократить номенклатуру дорожных катков, но при этом технология уплотнения дорожно-строительных материалов остается неизменной и такое исполнение рабочих органов уплотняющих машин дает возможность сократить число проходов лишь до определенного предела, который зависит от толщины слоя и требуемой степени уплотнения. Дальнейшей модернизацией в этом направлении станет осуществление контроля процесса уплотнения в ходе изменения параметров уплотняемой среды за счёт обратной связи между уплотняемым материалом и рабочим органом [14].

Обзор и анализ в области уплотнения грунтов определил основные направления развития уплотняющей техники, обусловленные стремлением к повышению эффективности существующих конструкций при минимальных финансовых и энергетических затратах. Необходимо создавать такие конструкции катка, у которых вес и длина вальца останутся постоянными, а необходимое изменение характеристики уплотнения будет достигаться за счёт изменения диаметра вальца [15].

Внедрение таких уплотняющих машин необходимо для решения вопросов уплотнения грунта в условиях скоростного строительства, в зимних и других особых условиях, уплотнения грунтов пониженной влажности и переувлажненных, потому, что при работе существующими катками даже на повышенных скоростях затрачивается довольно значительное время на уплотнение покрытия, потому, что при изменении плотности материала в процессе уплотнения приходится использовать дорожные катки различных типоразмеров.

Применением одной машины с регулируемым воздействием на уплотняемый материал частично решит эти проблемы, за счёт изменения силового воздействия на уплотняемый материал позволит сократить номенклатуру уплотняющих машин на участке, сократит время уплотнения, повысит качество уплотнения за счёт своевременного бесступенчатого изменения

давления на уплотняемый материал и уменьшит себестоимость строительства. Но рабочие органы уплотняющих машин, которые применяются на сегодняшний день, не позволяют изменять силовое воздействие в широких диапазонах, и поэтому не всегда возможно заменить одним дорожным катком с изменяемым силовым воздействием несколько дорожных катков разной массы.

Список литературы

1. Костельов М.П., Перевалов В.П., Пахаренко Д.В. Способна ли Россия быстро и резко повысить качество и сроки службы своих автомобильных дорог до китайского, европейского или американского уровня? // Второй Всероссийский Дорожный Конгресс: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, МОО «Дорож. Конгресс», 2010. – С. 44-50.
2. Костельов М.П., Перевалов В.П., Пахаренко Д.В. До какого уровня (китайского, европейского или американского?) следует России поднимать качество строительства и сроки службы своих новых автомобильных дорог – Каталог – справочник «Дорожная техника 2011» [Электронный ресурс]. – СПб.: ООО «Славутич», 2011. – С 13-26. – Режим доступа: <http://www.issuu.com-slavutich-docs-dt2011>.
3. Беляев К.В. Разработка энергоэффективных режимов работы машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04. – Омск, 2004. – 174 с.
4. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: Учебное пособие. – Омск – Москва: ОАО «Омский дом печати», 2006. – 320 с.
5. Баловнев В.И., Беляев М.А. и др. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины»;/ Под общ. ред. В.И. Баловнева. – 2-е изд., дополн. и перераб. – Москва-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
6. Костельов М.П., Пахаренко Д.В., Бринкс З.К. Каталог – справочник Дорожная техника 2011 [Электронный ресурс] – СПб.: ООО «Славутич», 2007. – Вып. – №70. – С 20-33. – Режим доступа: <http://www.mrmz.ru/article/v70/article.htm>.
7. Костельов М.П. Функциональные достоинства и недостатки виброкатков для уплотнения асфальтобетона // Дорожная техника. – 2009. – С. 74-84.
8. Патент № 2100517 РФ. Валец дорожного катка / Баловнев В.И., Курбатов Н.Е., Кустарев Г.В. – Заявка №96109426/03 от 06.05.1996; опубл. 27.12.1997, Бюл. №34. – 6 с.
9. Патент № 2211276 РФ. Валец дорожного катка / Трофимов В.И., Леонов А.Н., Тер-Терян С.А. – Заявка №2002100286/03 от заявл. 03. 01.2002; опубл. 27.08.2003, Бюл. №24. – 3 с.
10. Патент № 2213825 РФ. Валец дорожного катка / Савельев С.В., Пермьяков В.Б., Захаренко А.В. – Заявка №2001132500/03 от 29.11.2001; опубл. 10.10.2003, Бюл. №28. – 4 с.
11. Инновационный патент №21592 Республика Казахстан. Валец дорожного катка / Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Речицкий С.В., Андреев Ф.В., Невзоров А.С., Понякшев А.А. – Заявка №2008/0673.1 от 04.06.2008; опубл. 14.08.2009, Бюл. №8. – 5 с.
12. Патент на полезную модель №18230 Республика Казахстан. Валец дорожного катка / Дудкин М.В., Речицкий С.В., Сидоров Д.В., Артебякин А.А. – Заявка №2010/049.2 от 13.05.2010; опубл. 18.08.2010, Бюл. №8. – 2 с.
13. Патент №193067 РФ. Валец дорожного катка / Речицкий С.В., Хребтов А.А. – Заявка №2019116471 от 28.05.2019; опубл. 11.10.2019, Бюл. № 29. – 6 с.
14. Тихонов А.Ф., Автоматизация и роботизация технологических процессов и машин в строительстве. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 464 с.
15. Павлов В.В., Коняев А.Б. Каток с ведущим вальцом переменной кривизны // Строительные и дорожные машины. – 1995. – №4. – С. 23-25.

Сведения об авторах:

Речицкий Сергей Васильевич – к.т.н., доцент кафедры строительных машин, автоматизации и электротехники;

Речицкий Александр Сергеевич – студент.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЛОДОВ ЯГОД

Валеев К.В., Назипова Л.Р., Попов А.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань*

Ключевые слова: измельчитель ягодных плодов, пилотная установка.

Аннотация. В настоящее время существуют дисмембраторы вертикального типа, в которых измельчаются крупные виды плодов. Существует необходимость в разработке установки с увеличенным временем пребывания и более мягкими режимами. В работе приводится описание конструкции установки для измельчения ягодных плодов с преимущественно горизонтальным движением сырья и описывается принцип работы с учетом различных условий.

INSTALLATION FOR CRUSHING BERRY FRUITS

Valeev K.V., Nazipova L.R., Popov A.A.

Kazan National Research Technological University, Kazan

Keywords: berry fruit shredder, pilot installation.

Abstract. Currently, there are vertical-type dismembrators in which large types of fruits are crushed. There is a need to develop an installation with an extended residence time and softer modes. The paper describes the design installation for crushing berry fruits with predominantly horizontal movement of raw materials and describes the principle of operation taking into account various conditions.

При переработке продукции АПК часто возникает необходимость измельчения сырья с сохранением целостности семян, например, при производстве масла из семян облепихи или других плодов [1].

Для этих целей применение известных измельчителей: молотовой дробилки, роторно-ножевой мельницы, дезинтегратора и др. нежелательно [2-4].

Более-менее подходят пальцевые дисмембраторы [5], но время пребывания сырья в них незначительно, поэтому для увеличения времени пребывания сырья в измельчителе и организации более мягких режимов на кафедре ПДМ КНИТУ разработана пилотная установка для измельчения плодов ягод, в которой организовано преимущественно горизонтальное движение сырья. На рисунке 1 представлена схема установки.

Измельчитель ягодных плодов состоит из: привода 1., корпуса с загрузочным 2. и разгрузочным бункерами 8., в котором горизонтально установлены неподвижные и подвижные рабочие органы в виде пальцев 4.; рубашки 3., патрубков ввода и вывода теплоносителя 5,6., опоры 14., узла регулирования угла наклона установки 9., состоящего из неподвижной гайки 12. и винта 13.; вала 7., закрепленного на подшипниках 10,11. Работа осуществляется следующим образом: с помощью механизма регулирования задается угол наклона. С помощью вариатора задается число оборотов. В загрузочный бункер помещается сырье, которое затем попадает в пространство между пальцами и

измельчается с помощью пальцев. Полученный продукт отправляется на ситовый анализ для оценки качества измельчения.

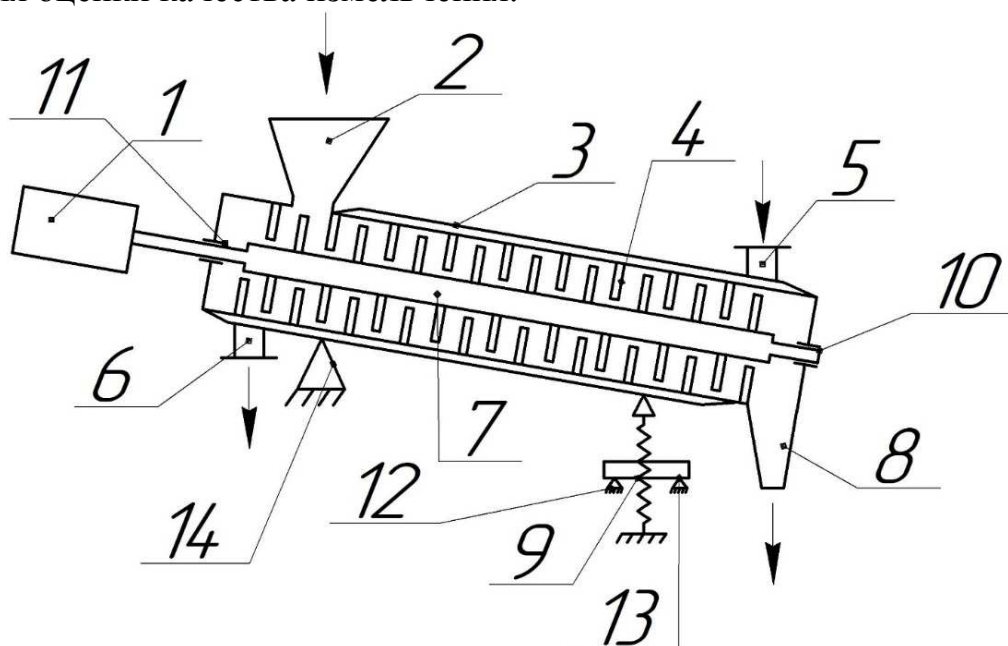


Рис. 1. Измельчитель ягодных плодов

Принцип работы данного оборудования аналогичен с работой дисмембратора. Различие состоит в том, что в данной установке движение сырья происходит преимущественно горизонтально, что позволяет увеличить время пребывания сырья в аппарате. За счёт наличия рубашки существует возможность изменения температуры процесса измельчения и оценить его качество. Благодаря наличию вариатора в приводе, есть возможность плавно менять число оборотов.

Данная установка позволяет определить качество измельчения сырья в зависимости от угла наклона, температуры и скорости вращения вала.

Список литературы

1. Сафин Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревоперерабатывающих производств: учебник. – Казань: КНИТУ, 2018. – С. 48-56. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1898241>.
2. Антонов Н.М., Лебедь Н.И., Мамахай А.К., Цыганкова Л.С. Измельчитель плодов и корнеплодов // Сельский механизатор. – 2016. – № 4. – С. 14-15.
3. Самусев Р.В. Установка для измельчения плодов // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х томах, Красноярск, 09 декабря 2016 года. – Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, 2016. – С. 115-117.
4. Патент №2290997 РФ. Дисмембратор / С.Г. Кудян, М.В. Баранов, В.В. Ефремов и др. – Заявка №2005114988/03 от 17.05.2005; опубл. 10.01.2007.
5. Патент №2683528 РФ. Дисмембратор / Г.В. Смирнов. – Заявка №2018109792 от 19.03.2018; опубл. 28.03.2019.

Сведения об авторах:

Валеев Кирилл Валерьевич – к.и.н., ассистент кафедры «Переработка древесных материалов»;
Назипова Лейсан Рамилевна – магистрант;
Попов Александр Александрович – аспирант.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОРУДИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ НА ВЫРУБКАХ

*Попов И.В., Дручинин Д.Ю., Попиков П.И., Говоруха А.Ю.
Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: посадочные места, дисковый корпус, почва, гидроманипулятор.

Аннотация. Статья посвящена проблемам лесовосстановления в условиях нераскорчеванных вырубках, в частности, конструкции и обоснованию параметров рабочего органа, включающего три дисковых корпуса и бур для подготовки дискретных посадочных мест для сеянцев и саженцев. Разработана математическая модель рабочего процесса, программа на ЭВМ, получены оптимальные параметры рабочего органа.

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE COMBINED TOOL FOR THE PREPARATION OF DISCRETE SEATS IN CLEARINGS

*Popov I.V., Druchinin D.Yu., Popikov P.I., Govoruha A.Yu.
Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh*

Keywords: seats, disk body, soil, hydraulic manipulator.

Abstract. The article is devoted to the problems of reforestation in conditions of non-uprooted cuttings, in particular, the design and justification of the parameters of the working body, which includes three disk bodies and a drill for preparing discrete seats for seedlings and seedlings. A mathematical model of the working process, a computer program have been developed, the optimal parameters of the working body have been obtained.

Одним из способов снижения материальных и трудовых затрат при лесовосстановлении на вырубках является более широкое применение почвообрабатывающих орудий на базе гидроманипуляторов самоходных лесных машин, которые могут проводить подготовку посадочных мест под сеянцы и саженцы с закрытой корневой системой без предварительного корчевания пней.

Нами разработано новое универсальное почвообрабатывающее орудие, как сменное технологическое оборудование, навешиваемое на гидроманипулятор самоходной лесной машины [1] (рис. 1). Три дисковых корпуса 4, размещены на поводках 5 на осях 8 и вращаются от реактивных сил при взаимодействии с почвой при вращении вертикального вала 3 от гидромотора через редуктор 2. Дисковые корпуса 4 можно устанавливать «всвал» на поводках 5 на максимальном расстоянии от вала 3 и верхнем положении обоймы 6 при создании микроповышений (рис. 1а), или «вразвал» на минимальном расстоянии от вала 3 и нижнем положении обоймы при подготовке микропонижений (рис. 1б). Серийные сферические диски снабжены резцами 9 на режущей кромке. На валу 3 устанавливается сменный винтовой бур 7 для формирования посадочной лунки. Для обоснования параметров рабочего органа на основе метода динамики частиц разработана математическая модель рабочих процессов орудия, а для ее реализации – компьютерная программа.

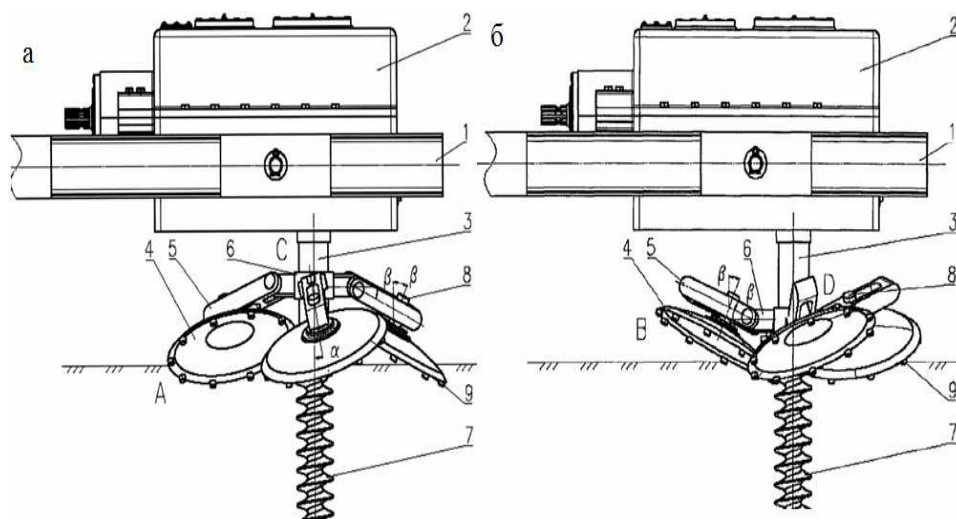


Рис. 1. Универсальное почвообрабатывающее орудие: а – формирование микроповышений; б – формирование микропонижений

В результате проведенных компьютерных экспериментов [2, 3] установлено, что для образования микроповышений высотой не менее 15 см оптимальное значение угла атаки дисков составляет 20° , угол схождения дисков равен 25° , а для микропонижений высотой не менее 8 см эти углы составляют 20° , -24° соответственно. Винтовой бур должен вращаться с частотой $0,5 \text{ с}^{-1}$, при этом мощность на вращение рабочих органов равна 8...10 кВт. Производственная проверка подтвердила эффективность применения универсального почвообрабатывающего орудия при подготовке посадочных мест на вырубках для сеянцев и саженцев с закрытой корневой системой.

Список литературы

1. Патент №2508619 РФ. Универсальное почвообрабатывающее орудие / И.М. Бартенев, П.И. Титов, И.В. Попов. – Заявка № 2012148511/13 от 14.11.2012; опубл. 10.03.2014.
2. Бартенев И.М., Попов И.В. Влияние геометрических параметров универсального почвообрабатывающего орудия на его эффективность // Лесотехнический журнал. – 2014. – №2 (14). – С. 197-203.
3. Попов И. В. Влияние кинематических параметров и условий эксплуатации универсального почвообрабатывающего устройства на его эффективность // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). – С. 334-347. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/17.pdf>

Сведения об авторах:

Попов Игорь Владимирович – к.т.н., главный специалист отдела;

Дручинин Денис Юрьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой;

Попиков Петр Иванович – д.т.н., профессор;

Говоруха Анатолий Юрьевич – магистрант, инженер.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ КОНИЧЕСКИХ ОПОР

Щетинин В.С., Космынин А.В., Хвостиков А.С., Смирнов А.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре

Ключевые слова: высокоскоростные роторные системы, газостатическая коническая опора, экспериментальный стенд.

Аннотация. В высокоскоростных роторных системах, нашедших применение во многих отраслях промышленности, одним из перспективных типов подшипников являются газовые подшипники скольжения. Интерес в части регулирования эксплуатационных характеристик подшипникового узла представляет один из видов газовых опор – конический газостатический подшипник. В данной работе приводится краткое описание экспериментального стенда для исследования эксплуатационных характеристик таких опор.

EXPERIMENTAL STAND FOR THE STUDY OF GAS-STATIC CONICAL SUPPORTS

Shchetinin V.S., Kosmyinin A.V., Khvostikov A.S., Smirnov A.V.

Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur

Keywords: high-speed rotary systems, gas-static conical bearing, experimental stand.

Abstract. In high-speed rotary systems that have found application in many industries, one of the promising types of bearings are gas plain bearings. One of the types of gas supports, a conical gas-static bearing, is of interest in regulating the operational characteristics of the bearing assembly. This paper provides a brief description of an experimental stand for the study of the operational characteristics of such supports.

Высокоскоростные роторные системы сегодня можно встретить в составе многих видов оборудования практически всех отраслей промышленности, транспорта, энергетики и др. Зачастую к таким системам предъявляются повышенные требования к точности вращения, снижению затрат на трение и пр. Давно известным решением, позволяющим улучшить технические характеристики высокоскоростных роторных систем является применение в узлах трения газовых подшипников. Некоторые примеры применения таких подшипников представлены в работах [1, 2].

Наиболее распространенным видом газовых опор, применяемым в роторных системах являются газостатические радиальные и упорные подшипники. Об особенностях применения таких опор и их эксплуатационных характеристиках рассказывается в работе [3]. Интересным решением также является использование опорно-упорных или конических подшипников. Но в области применения газовых конических подшипников остается еще много нерешенных вопросов. Одним из таких является оценка возможности регулирования рабочего зазора в подшипниках. А логическим завершением этого исследования этого вопроса должны явиться разработка и создание системы регулирования эксплуатационных характеристик опоры путем изменения величины зазора.

Одним из этапов на пути создания указанной выше системы регулирования является проведение экспериментальных исследований. В данной работе представляется описание стенда для исследования конического газостатического подшипника с возможностью изменения зазора между валом и вкладышем опоры.

Экспериментальный стенд (рис. 1) предназначен для исследования грузоподъемности, жесткости и расхода газа в коническом газостатическом подшипнике. Он состоит из механической части, обеспечивающей установку опорных подшипников, вала, исследуемого подшипника, средств измерения и нагружения исследуемой опоры. Пневматическая часть установки обеспечивает питание подшипника сжатым воздухом.

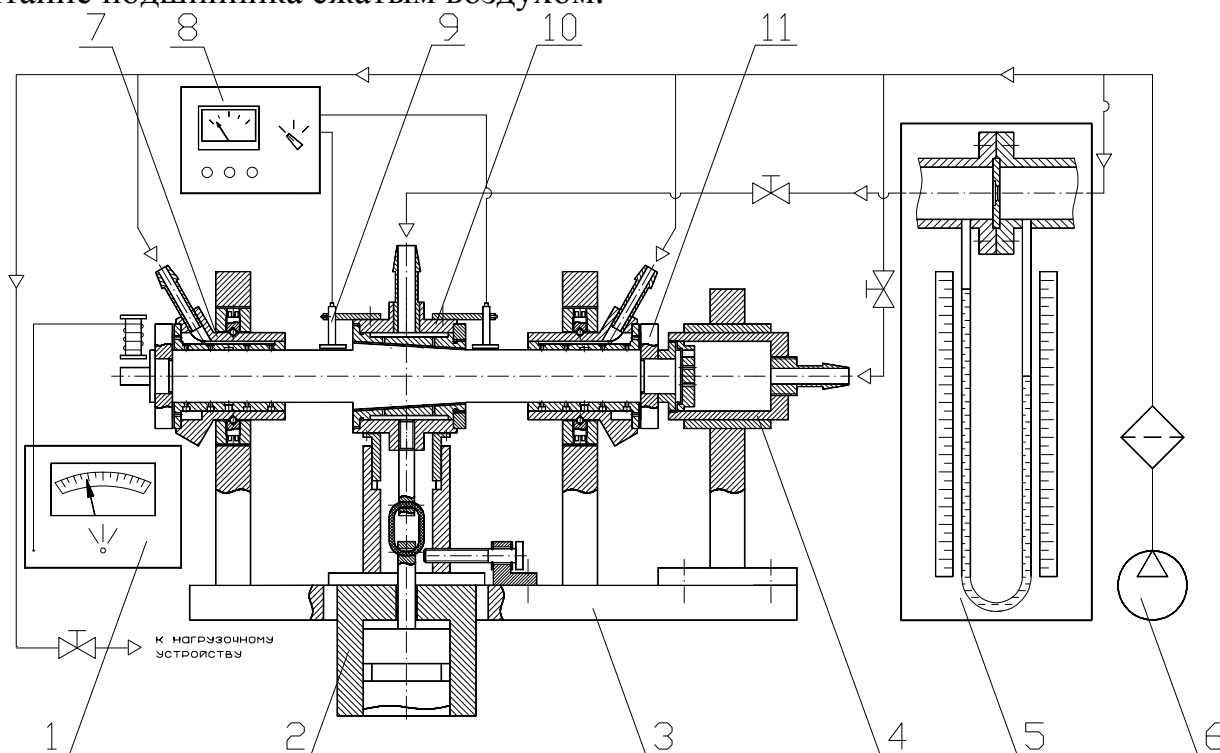


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования характеристик газостатических конических подшипников

Основными элементами стенда являются: 1 – частотомер, 2 – нагрузочное устройство поршневого типа, 3 – плита основания, 4 – турбинный привод, 5 – расходомерное устройство, 6 – компрессор, 7 – опорный газостатический подшипник вала, 8 – прибор для регистрации зазора между валом и исследуемым подшипником, 9 – датчики перемещения для измерения зазора, 10 – исследуемый конический подшипник, 11 – подпятник.

Исследуемый подшипник состоит из корпуса и вкладыша, в котором выполнены дискретные отверстия (питатели), через которые сжатый воздух подается в зазор.

Нагрузка на исследуемый подшипник создается устройством 2 поршневого типа, которое позволяет плавно менять нагрузку путем изменения давления нагнетания. Расход воздуха измеряется с помощью расходомерного устройства 5 с набором сменных диафрагм.

В стенде предусмотрено плавное регулирование рабочего зазора путем осевого перемещения конического подшипника, жестко связанного со

специальными направляющими на плите. При этом сохраняется степень свободы для перемещения подшипника в вертикальном направлении в случае создания нагрузки. Перемещение в горизонтальном направлении контролируется специальными датчиками перемещения (на рисунке не показаны).

В установке используется вал с коническим участком посередине. На одном конце вала установлено рабочее колесо турбины. Приводом вала служит воздушная одноступенчатая турбина, состоящая из рабочего колеса, соплового аппарата, корпуса и штуцера, через который сжатый воздух подводится к сопловому аппарату. Фильтром сжатого воздуха служит вихревой влагомаслоотделитель циклонного типа.

Стенд может работать в двух режимах: при отсутствии вращения и при вращающемся вале.

Представленный стенд позволяет не только определять эксплуатационные характеристики исследуемой конической опоры при заданной нагрузке, но и дает возможность регулировать эти характеристики, что является шагом к созданию соответствующих систем регулирования.

Список литературы

1. Космынин А.В., Виноградов В.С., Щетинин В.С., Смирнов А.В. Подшипники на газовой смазке высокоскоростных роторов // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – №1. – С. 25.
2. Смирнов А.В. Бесконтактные опоры турбокомпрессоров ДВС // Двигателестроение. – 2014. – №3. – С. 23-28.
3. Космынин А.В., Щетинин В.С., Смирнов А.В., Хвостиков А.С., Иванова Н.А. Бесконтактные опоры высокоскоростных роторных систем: моногр.: в 2 ч. / Ч.1. Эксплуатационные характеристики опор с внешним наддувом газа. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 301 с.

Сведения об авторах:

Щетинин Владимир Сергеевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Машиностроение»;

Космынин Александр Витальевич – д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе;

Хвостиков Александр Станиславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки»;

Смирнов Алексей Владимирович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Тепловые энергетические установки».

РЕГУЛИРУЕМЫЕ ГАЗОВЫЕ ОПОРЫ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Хвостиков А.С., Смирнов А.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре

Ключевые слова: газостатическая опора, эксплуатационные характеристики, высокоскоростной ротор, шпиндельный узел.

Аннотация. В работе рассматриваются различные варианты регулируемых газовых опор для шпиндельных узлов металлорежущих станков. Предложен способ регулирования эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов за счет регулирования зазора в газостатических опорах с малым углом конусности. Изменение зазора осуществляется за счет осевого перемещения шпинделя относительно поверхности с малой конусностью.

ADJUSTABLE GAS SUPPORTS OF SPINDLE ASSEMBLIES OF METAL- CUTTING MACHINES

Khvostikov A.S., Smirnov.A.V.

Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur

Keywords: gas-static support, performance characteristics, high-speed rotor, spindle assembly.

Abstract. The article discusses various options for adjustable gas supports for spindle assemblies of metal-cutting machines. A method for regulating the performance characteristics of spindle assemblies by adjusting the gap in gas-static supports with a small taper angle is proposed. The gap is changed due to the axial movement of the spindle relative to the surface with a small taper.

Современное машиностроительное производство требует перехода к высокоскоростной обработке. В некоторых областях машиностроения иными способами механической обработки изготовить детали невозможно. Например, при изготовлении деталей электронной, приборостроительной, автомобильной, электротехнической, авиакосмической и др. областей, требуется изготовление отверстий 0,01-0,2 мм с точностью 1-5 мкм и шероховатостью 5 мкм, в том числе глубоких отверстий с соотношением диаметра к длине 25-30. Применение высокоскоростной обработки позволяет снизить силы резания, снизить температуру обработки и увеличить производительность. Традиционным подшипникам с масляной смазкой свойственно ограничение по частоте вращения, что, в частности, связано с заметным изменением физических свойств смазки с ростом ее температуры. Аэростатические подшипники создают меньшее сопротивление вращению ротора и, как следствие, меньшие потери на трение. Поэтому они не имеют ограничений по частоте вращения шпинделя. Применение шпиндельных узлов на газостатических подшипниках нашло применение в Великобритании, Китае и других странах для прецизионной обработки в микропроцессорной технике, оптике и для изготовления штампов. Применяемые шпиндельные узлы имеют очень ограниченное использование по частоте вращения и нагрузке.

Изменение режимов обработки требует изменения нагружающей способности и жесткости шпиндельного узла. Анализ зависимости

эксплуатационных характеристик газостатических опор от режимных и конструктивных параметров позволяет сделать вывод о том, что максимальное влияние на эксплуатационные характеристики оказывают конструктивные особенности, частота вращения и давление наддува. Изменяя эти параметры можно влиять на нагружающую способность и жесткость шпиндельного узла.

Для достижения тех или иных значений режимных параметров опор применяют их регулирование. Если регулирование работы газостатической опоры путем изменения частоты вращения вала, давления наддува сжатого воздуха и внешней нагрузки принципиально возможно, то изменить средний радиальный зазор цилиндрического подшипника нельзя.

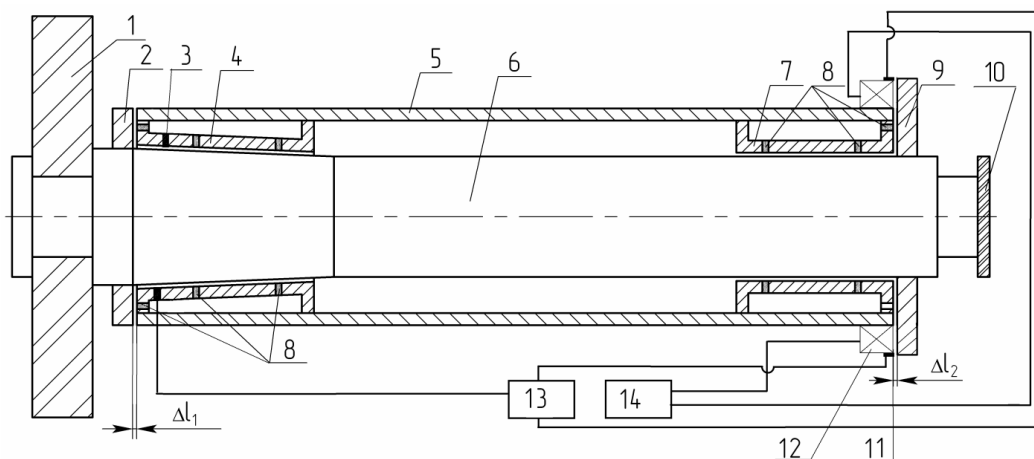
Заметим, что на практике используют регулирование распределенным наддувом сжатого газа в питательные каналы дроссельных отверстий подшипника [1]. Для управления давлением используют управляемые регуляторы расхода воздуха, сопротивление проточного тракта которых зависит от нагрузки, действующей на опору, или от положения ее подвижного элемента, но при этом конструкция самой опоры значительно усложняется. Известны несколько способов изменения расхода воздуха с помощью: упругой деформируемой поверхности, пьезорегуляторов, подвижных дисков, двойного дроселирования и мембранных регуляторов, эластичных дроселирующих шайб и др.

Известен способ, повышающий несущие способности газодинамических подшипников, где регулирование происходит за счет применения податливых элементов – лепестков. При изменении угла лепестков происходит перераспределение динамических сил [2].

Все рассмотренные способы регулирования усложняют конструкцию шпиндельного узла, но при этом значительно не повышают его нагружающие способности. Так как управлять газовыми силами сложно вследствие их инерционности, наибольшее развитие получили системы управления активным магнитным подвесом. Недостаток магнитных подшипников заключается в сложности системы управления активным магнитным подвесом. Комбинирование газовых и магнитных подшипников позволяет убрать негативные факторы использования обеих систем. Газовый подшипник, выступая страхующим звеном, позволяет снизить сложность системы управления. Магнитный подшипник позволяет разгрузить газовый и тем самым повысить несущую способность.

Учеными Комсомольского-на-Амуре государственного университета предложена схема управления шпиндельным узлом на газостатических опорах с передней опорой малой конусности, представленной на рисунке 1.

Управление зазором происходит с помощью перемещения шпинделя, которое осуществляется посредством электромагнита. Шпиндельный узел состоит из шпинделя 6, установленного на передний подшипник 4 с малым углом конусности и задний цилиндрический подшипник 7, имеющие общий корпус 5. На шпинделе установлены подпятники 2 и 9, приводное колесо 10 турбинного типа, а также приспособление для крепления инструмента 1. В подшипниках установлены пористые ограничители расхода 8 для питания опор сжатым воздухом. Упорные подшипники 2 и 9 служат демпферами при перемещении ротора в осевом направлении.



1 – шлифовальный круг 2, 9 – подпятники, 3, 11 – датчик зазора, 4 – передний газостатический подшипник с малым углом конусности, 5 – корпус шпиндельного узла, 6 – шпиндель, 7 задний цилиндрический газостатический подшипник, 8 – пористые вставки, 10 – приводное колесо, 12 – электромагнит 13 – АЦП, 14 – блок управления

Рис. 1. Шпиндельный узел на газостатических опорах с передней опорой малой конусности

Шпиндельный узел снабжен расположенными по окружности электромагнитами 12 для перемещения шпинделя в осевом направлении и датчиками контроля зазора между электромагнитами и задним подпятником 11. Кроме датчиков зазора на шпиндельном узле установлены датчики, регистрирующие смещения шпинделя в радиальном направлении на передней опоре в двух координатных плоскостях 3 (на схеме показаны датчики в одном координатном направлении). Информация о положении шпинделя от датчиков 11 и 3 поступает на АЦП 13, который выдает управляющий сигнал на блок управления электромагнитами 14 для обеспечения необходимого положения шпинделя в осевом направлении. Перемещение шпинделя обеспечивает требуемый радиальный зазор в передней опоре и, как следствие, необходимые выходные характеристики жесткости и нагрузки на режущем инструменте, закрепленном на шпинделе.

Предложенная схема отличается простотой конструкции и системой управления.

Список литературы

1. Клименков Ю.С., Легаев В.П. Система автоматического управления газостатической шпиндельной опорой // Датчики и системы. – 2011. – № 10. – С. 46-50.
2. Куренский А.В., Самсонов А.И., Соловьев С.П., Бондаренко А.А. Увеличение несущей способности смазочного слоя упорных газовых подшипников // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2019. – № 4(41). – С. 92-99. – DOI: 10.24866/2227-6858/2019-4-9.
3. Космынин А.В., Щетинин В.С., Хвостиков А.С.; Космынин А.В., Щетинин В.С., Хвостиков А.С. Основы проектирования высокоскоростных шпиндельных узлов на газоманитных опорах: монография. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2012. – 182 с.

Сведения об авторах:

Хвостиков Александр Станиславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки»;

Смирнов Алексей Владимирович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Тепловые энергетические установки».

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Иванов Д.Ю.

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного
производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: органическое сельское хозяйство, твердые органические удобрения, машина для внесения удобрений.

Аннотация. В настоящее время, для увеличения скорости обеззараживания продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, прибегают к методу биоферментации навоза и помета. В результате чего, появляются новые виды твердых органических удобрений с повышенным содержанием питательных элементов. При использовании таких удобрений в органическом производстве, необходимо повышать качественные показатели их распределения по поверхности почвы. В связи с этим предложено решение в виде конструкции оригинальной машины для внесения концентрированных твердых органических удобрений. Представлены результаты расчета конструктивных параметров дозирующей системы.

CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE WORKING BODY OF THE DOSING SYSTEM OF THE MACHINE FOR APPLYING CONCENTRATED SOLID ORGANIC FERTILIZERS

Ivanov D.Yu.

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production
(IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint-Petersburg*

Keywords: organic farming, solid organic fertilizers, fertilizer application machine.

Abstract. Currently, in order to increase the rate of disinfection of the waste products of farm animals, they resort to the method of biofermentation of manure and litter. As a result, new solid organic fertilizers with a high content of nutrients appear. When using such fertilizers in organic production, it is necessary to improve the quality indicators of their distribution over the soil surface. In this regard, a solution was proposed in the form of the construction of the original machine for applying concentrated solid organic fertilizers. The results of calculating the constructive parameters of the dosing system are presented.

В настоящее время активно развивается производство органической продукции растениеводства, в том числе картофеля [1].

При возделывании картофеля необходимо питание, которое в условиях ведения органического производства должно обеспечиваться за счет внесения органических удобрений [2-4]. Для увеличения скорости обеззараживания продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, прибегают к различным методам их переработки.

Одной из технологий переработки навоза и помета является биоферментация в установках барабанного типа. Полученные удобрения обладают повышенным содержанием питательных элементов.

Внесение удобрений в органической технологии регламентируется по ГОСТ 33980-2016, согласно которому в год на один гектар разрешено вносить не более 170 кг азота, что для удобрений с содержанием азота 2% соответствует дозе внесения $Q_{\max} = 8,5$ т/га [5].

В настоящее время на отечественном рынке сельскохозяйственной техники слабо представлены машины, способные вносить представленные удобрения в таких дозах без потери качества выполняемых работ. В связи с этим в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана конструкция машины, способная выдержать необходимую дозировку внесения [6]. Проведен расчет конструктивных параметров шнекового рабочего органа дозирующей системы машины. Получены следующие конструктивные параметры: диаметр рабочего органа 125 мм, шаг навивки 125 мм.

Список литературы

1. Zakharov A.M., Maksimov D.A., Minin V.B., Murzaev E.A., Ivanov D.Yu. Dependences of the yield of organic potatoes on the variable composition of technological operations // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022, vol. 979, p. 012081. DOI: 10.1088/1755- 1315/979/1/012081.
2. Устроев А.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А. Зависимость урожайности картофеля в биологизированной технологии возделывания от параметров базовых технологических процессов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 1(98). – С. 93-101. – DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10125.
3. Novikova I., Minin V., Titova J., Zakharov A., Krasnobaeva I., Boikova I., Murzaev E. New Polyfunctional Biorationals Use to Achieve Competitive Yield of Organic Potatoes in the North-West Russian Ecosystem // Plants. 2022, vol. 11(7), p. 962. <https://doi.org/10.3390/plants11070962>.
4. Novikova I.I., Minin, V.B., Titova, J.A., Krasnobaeva, I.L., Zaharov, A.M., Perekopsky. A.N. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases // Agronomy Research. 2021, vol. 19(3), pp. 1617-1626. <https://doi.org/10.15159/AR.21.135>.
5. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А., Перекопский А.Н., Соловьев Я.С., Устроев А.А. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях северо-западного региона российской федерации // Материалы международного проекта EFSSOA. «Экологически дружелюбное умное органическое сельское хозяйство». – СПб., 2021. – С. 140.
6. Патент №2770193 РФ. Устройство для дифференцированного внесения органических удобрений при возделывании пропашных культур / А.М. Захаров, Е.А. Мурзаев, С.В. Чугунов. – Заявка №2021127545 от 20.09.2021; опубл 14.04.2022.

Сведения об авторе:

Иванов Даниил Юрьевич – младший научный сотрудник.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАНИПУЛИРОВАНИЯ ШТУЧНЫМИ ИЗДЕЛИЯМИ НА УСТРОЙСТВАХ С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ

Авцинов И.А., Суханова Н.В., Никель С.А., Елфимов С.А.

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж

Ключевые слова: штучная продукция, манипулирование, специфика, газовая смазка, оборудование.

Аннотация. Предложен принцип распознавания, основанный на использовании свойств тонкой газовой прослойки и несущей поверхности, который обеспечил создание ряда универсальных устройств, способных успешно решать задачи контроля и сортировки штучных специфических изделий. На основании анализа существующих разработок сформулированы принципы распознавания изделий на газовой прослойке с использованием различных рабочих поверхностей, которые легли в основу создания ряда новых сортирующих устройств, обладающих высоким уровнем гибкости.

TECHNICAL SOLUTIONS TO THE TASKS OF MANIPULATING PIECE PRODUCTS ON DEVICES WITH GAS LUBRICATION

Avtsinov I.A., Sukhanova N.V., Nickel S.A., Elfimov S.A.

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh

Keywords: piece products, manipulation, specifics, gas lubrication, equipment.

Abstract. The recognition principle is proposed based on the use of the properties of a thin gas layer and a bearing surface, which provided the creation of a number of universal devices capable of successfully solving the problems of control and sorting of piece-specific products. Based on the analysis of existing developments, the principles of recognizing products on a gas layer using various working surfaces have been formulated, which formed the basis for the creation of a number of new sorting devices having a high level of flexibility.

К негативным особенностям производства штучной продукции пищевой промышленности можно отнести следующие: значительное время техпроцесса, вызванное, например, необходимостью расстойки полуфабрикатов и готовых изделий; сложная организация высокого уровня санитарно-гигиенической обстановки на производстве; жёсткий фрикционный контакт предмета производства с рабочими поверхностями оборудования (РПО), приводящий к загрязнению и необходимости внеплановой остановки оборудования для очистки; нецелесообразность использования традиционных средств манипулирования штучными полуфабрикатами и изделиями (что в первую очередь связано со спецификой последних: высокой адгезией, хрупкостью, ломкостью и пр.). Также при манипулировании штучной продукции жёсткий контакт способствует потере её товарного вида и к браку. Всё вышеперечисленное ведёт к увеличению уровня ручного труда, снижению выпуска готовой продукции, её качества и загромождению производственных площадей. Одним из вариантов решения перечисленных негативных особенностей производства штучной продукции является разработка автоматического оборудования, обеспечивающего снижение жёсткого контакта

РПО с полуфабрикатами, продукцией и способного реализовывать разнообразные технологические операции. Сокращение жёсткого фрикционного контакта между РПО и опорной штучного изделия можно достичь использованием газовой смазки (тонкой газовой несущей прослойки (ТГНП)) между ними, которая выполняет функцию несущего элемента конструкции и предотвращает полностью или частично жёсткий контакт трущейся пары. Наибольшее распространение в различных отраслях промышленности получили пневматические конвейеры (ПК), использующие в своей работе эффекты ТГНП (рис. 1) [1].

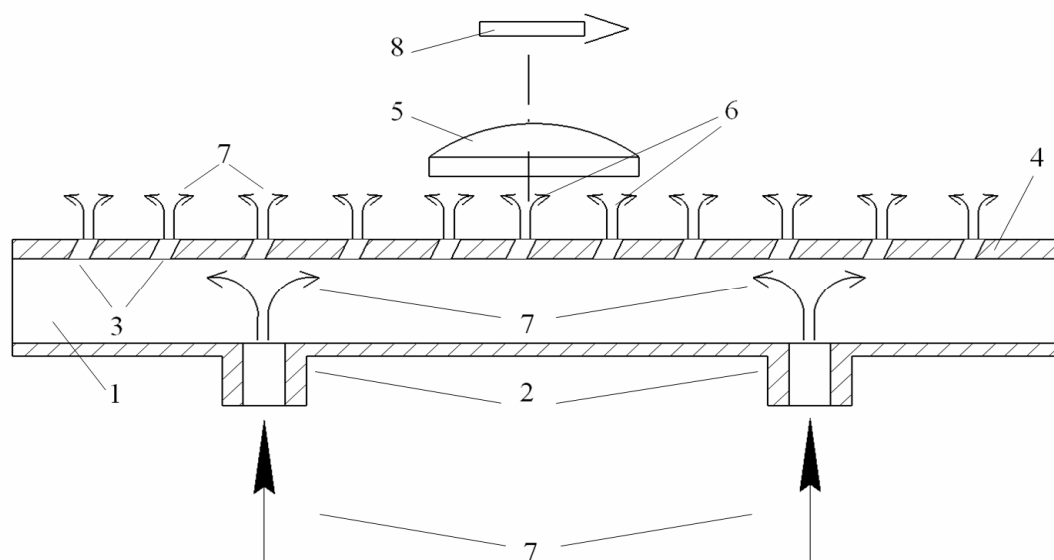


Рис. 1. Принципиальная схема пневматического конвейера

Работа ПК реализуется следующим образом. Через штуцера 2 в камеру 1 подаётся газ определённого расхода, который истекая из отверстий 3, создаёт под изделием 5 ТГНП. Так как питающие элементы 3 имеют наклон, динамическое давление струи газа 7 заставляет изделие 5 перемещаться в направлении 8 вдоль РПО 4 на ТГНП 6. По сравнению с традиционными ленточными механическими транспортёрами ПК имеет ряд преимуществ: простота конструкции, отсутствие механических подвижных частей и жёсткого фрикционного контакта изделия с РПО, возможность создания трасс самой различной конфигурации и др. Использование газовой смазки было реализовано в устройствах для формования пищевых масс [2, 3]. Так, вместо крахмальной основы для отливки конфет, форма выполнена из пористого материала. Протекая через последнюю, газ создаёт прослойку между дозой конфетной массы и стенками формы, в результате чего, находясь во взвешенном состоянии, налипание не происходит. Подобным образом может осуществляться формование мармелада, зефира, шоколада, хлебобулочных изделий и т.п., где смазочный материал (например, подсолнечное масло) заменён на ТГНП. Также газ может быть заменён жидкостью или их комбинацией, позволяющей реализовывать различные термические операции. Таким образом, разработка устройств, использующих эффекты ТГНП для манипулирования штучными изделиями пищевой промышленности, является весьма актуальной.

Список литературы

1. Плешаков А.А., Кристаль М.Г. Экспериментальное исследование пневмоэлектронного измерительного устройства для автоматической сортировки деталей перед селективной сборкой // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2016. – № 3. – С. 23-27.
2. Авцинов И.А. Загрузочно-ориентирующие устройства для мелких деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 4. – С. 8-9.
3. Битюков В.К., Авцинов И.А. Классификация устройств с тонкой газовой несущее-распознающей прослойкой // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2005. – № 10. – С. 58-60.

Сведения об авторах:

Авцинов Игорь Алексеевич – д.т.н., профессор, профессор;

Суханова Наталья Валентиновна – к.т.н., доцент, доцент;

Никель Сергей Александрович – к.т.н., доцент, доцент;

Елфимов Сергей Анатольевич – к.т.н., доцент, доцент.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГИДРОПОННОГО МОДУЛЯ

Мишанов А.П.

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург

Ключевые слова: искусственное выращивание растений, гидропонный модуль, светодиодный светильник, освещенность, спектр.

Аннотация. Современные технологии в области растениеводства позволяют выращивать растения без использования почвогрунтов и при полном отсутствии естественного освещения. Для создания оптимальных условий выращивания в зависимости от культуры необходимо обеспечить определенный уровень освещенности с заданным спектральным составом, фотопериод, температуру и влажность воздуха. Использование вертикального размещения растений позволяет более рационально использовать полезную площадь помещения. Предложен светильник с регулируемым спектром в красном диапазоне на базе светодиодных излучателей и люминесцентных ламп для вертикального гидропонного модуля. Представлены результаты расчета уровня освещенности и изменения соотношения между диапазонами цветов в спектре светильника в зависимости от выбранной яркости свечения красных светодиодов. Точность задания спектрального состава обеспечивается диммированием яркости свечения светодиодов при помощи логически-программируемого контроллера.

LABORATORY-SCALE LIGHTING SYSTEM FOR GROWING PLANTS IN A VERTICAL HYDROPONIC MODULE

Mishanov A.P.

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint-Petersburg

Keywords: artificial cultivation, hydroponic module, LED fixture, light intensity, spectrum.

Abstract. Modern crop cultivation technologies allow growing plants without the soil and in complete absence of natural light. To create the optimal growing conditions for particular crops requires a certain level of illumination with a set spectral composition, photoperiod, temperature, and humidity. The vertical placement of plants contributes to a more rational floor space use. A lighting system with adjustable spectrum in the red range based on LEDs and fluorescent lamps was designed for the vertical hydroponic module. The article presents the calculation results of the level of illumination and variation of the ratio between the spectrum color ranges depending on the selected light intensity of red LEDs. The accuracy of setting the spectral composition is ensured by dimming the light intensity of LEDs with the programmable logic controller.

Развитие технологий выращивания растений в полностью искусственных условиях требует особого подхода к выбору систем освещения. Свет от источника освещения обладает качественными и количественными характеристиками, наиболее важными из которых являются уровень освещенности над поверхностью растений и соотношение долей энергии в диапазонах спектра. Изменение соотношения долей энергии в диапазонах спектра существенным образом влияет на развитие растений [1, 2]. Использование светодиодов в качестве излучателей в светильниках для выращивания растений

позволяет изменять спектральный состав в зависимости от выращиваемой культуры, фазы вегетации и желаемого конечного эффекта. В данной работе представлен пример расчета уровня освещенности и спектрального состава при создании светильника для выращивания растений на вертикальном гидропонном модуле с возможностью изменения спектра за счет изменения яркости свечения красных светодиодов [3]. «Базовый» световой поток предлагаемого светильника создается за счет использования двух люминесцентных ламп марки Philips Master TL-D 58/840 и двух люминесцентных ламп OSRAM L 58/77 FLUORA, обеспечивающих соотношение в диапазонах спектра $k_{син}=34\%$, $k_{зел}=33\%$, $k_{кр}=33\%$. Отдельная вставка красных светодиодов в количестве 60 штук с пиком излучения на длине волны 635 нм, установленных на алюминиевом радиаторе, управляемых диммерами от сигнала программируемого логического контроллера ПЛК-160 фирмы «ОВЕН» позволяет изменять долю энергии красного диапазона в общем спектре от 33 до 65%. Для усиления процесса фотосинтеза и получения урожая хорошего качества в условиях искусственного выращивания помимо обеспечения определенного уровня облученности с возможностью изменения соотношения долей энергии в диапазонах спектра также целесообразно применять подкормку чистым углекислым газом [4]. Это позволяет снизить энергоемкость процесса выращивания в условиях интенсивной светокультуры. Габаритные размеры лабораторного светильника 1560x500 мм. Облучаемая светильником вертикальная поверхность с неравномерностью освещенности не превышающей 15%, составляет 0,8x0,2 м. Уровень максимальной облученности у поверхности растений на расстоянии 0,35 м до источников излучения, включенных на полную яркость составляет 300 мкмоль·м⁻²·с⁻¹. При этом активная мощность светильника $P=360$ Вт.

Список литературы

1. Мишанов А.П., Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. Анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков семян огурца, выращенных под различным спектральным составом излучения // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2017. – № 93. – С. 19-27.
2. Маркова А.Е., Мишанов А.П., Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Энергоэффективность светокультуры салата при различной фотонной облученности // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 90. – С. 33-39.
3. Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н. Методика расчета комбинированного светодиодного облучателя для растений // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 95. – С. 89-100.
4. Патент №2402898 РФ. Способ подкормки зеленных культур чистым углекислым газом / Мишанов А.П., Жебраков А.В., Маркова А.Е., Судаченко В.Н., Колянова Т.В. – Заявка №2009109439/21 от 16.03.2009; опубл. 10.11.2010.

Сведения об авторе:

Мишанов Алексей Петрович – старший научный сотрудник.

РАЗРАБОТКА МИНИАТЮРНЫХ ВСТРАИВАЕМЫХ СЕНСОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИКРОПРОВОДОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗУБНЫХ ИМПЛАНТАТАХ

Герасимова А.А., Ибрагимов Х.Ф.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",
Москва*

Ключевые слова: магнитостатика, аморфные сплавы, девитрификация, гипертермия, процесс намагничивания, применение датчиков, магнитострикция, утончение.

Аннотация. В этой статье предпринята попытка продемонстрировать развитие микропроводов с магнитно-мягким стеклянным покрытием с трех закрытых точек зрения: контроль внутренних напряжений путем изменения соотношения между диаметром металлического ядра и толщиной стекла; достижение нанокристаллического состояния с помощью двухфазных наноразмерных кристаллитов, встроенных в аморфную матрицу; контроль условий термообработки перед любым участием кристаллических фаз, т. е. ослабление внутренних напряжений, замороженных после процесса изготовления.

DEVELOPMENT OF MINIATURE EMBEDDED TEMPERATURE AND MECHANICAL STRESS SENSORS BASED ON AMORPHOUS FERROMAGNETIC MICROCONDUCTORS FOR USE IN DENTAL IMPLANTS

Gerasimova A.A., Ibragimov Kh.F.

National University of Science and Technology «MISiS», Moscow

Keywords: magnetostatic, amorphous alloys, devitrification, hyperthermia, magnetization process, sensor applications, magnetostriction, finement.

Abstract. This attempts to demonstrate the progresses of magnetically soft glass-coated microwires from three enclosed perspectives: controlling the internal stress strengths through the modification of the ratio between the metallic nucleus diameter and the glass thickness; achieving nanocrystalline state with two-phases of nanoscaled crystallites embedded in an amorphous matrix; controlling the heat treatment conditions prior to any participation of crystalline phases, i.e. relaxing the internal stresses frozen-in post the fabrication process.

Ферромагнитные аморфные металлы, покрытые стеклянной оболочкой, оказались многообещающим новым магнитомягким материалом с выдающимися магнитными свойствами. Это так называемые "микропроволоки со стеклянным покрытием", которые известны как композитный материал, изготовленный из металлического стекловидного ядра, покрытого слоем стеклянного покрытия. Одной из наиболее привлекательных особенностей этих микропроводов является технология их изготовления и одновременное быстрое затвердевание композитного микропровода, состоящего из ферромагнитного металлического ядра и стекла покрытие закалено из расплавленного сплава. Затвердевание происходит так быстро, что атомы застывают в своей жидкой конфигурации. Этот класс материалов показал себя чрезвычайно уникальным магнитные,

механические, электрические и коррозионные свойства, которые в основном обусловлены их аморфной природой, и, следовательно, делают их очень привлекательными для множества применений [1-3].

Следовательно, значительные различия между коэффициентами теплового расширения стекла или металла приводят к возникновению больших внутренних напряжений. Кроме того, такая технология изготовления позволяет значительно уменьшить диаметр проволоки, что является одной из наиболее интересных особенностей применения магнитных датчиков [4].

В отсутствие магнитокристаллической анизотропии магнитные свойства микропроволоки, покрытой аморфным стеклом, преимущественно определяются энергией магнитоупругой связи между спонтанной намагниченностью (локальными магнитными моментами) и внутренними напряжениями. Следовательно, основное внимание при разработке магнитных свойств микропроводов со стеклянным покрытием уделяется магнитоупругой анизотропии, K_{me} . Здесь основными возможностями для адаптации магнитных свойств аморфных микропроводов являются либо внутренние напряжения, либо правильный выбор химического состава металлического ядра.

Аморфная природа микропроводов со стеклянным покрытием делает их очень чувствительными к внешним параметрам. Несомненно, напряжение, возникающее в процессе изготовления, как упоминалось ранее, хорошо определяет важный источник анизотропии. Эти анизотропии могут быть в значительной степени ослаблены отжигом. Образец микропровода со стеклянным покрытием изображен на рисунке 1. Желтые пятна показывают металлическое ядро (сердцевину), а красные пятна показывают стеклянную оболочку

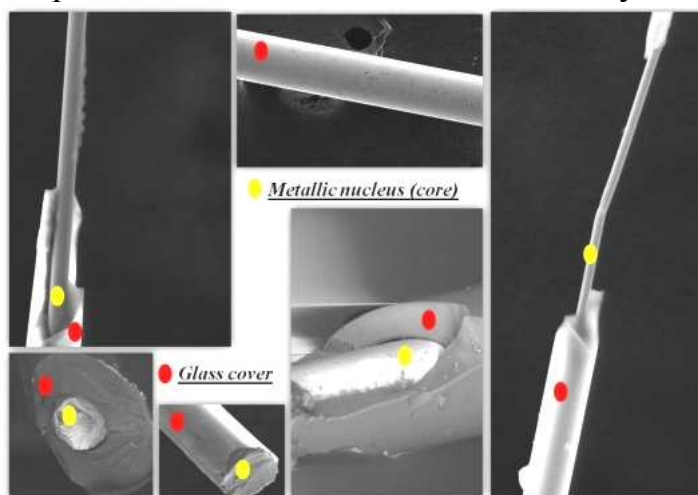


Рис. 1. Образцы микропроводов со стеклянным покрытием

Эта работа посвящена недавним передовым исследованиям микропроводов со стеклянным покрытием как особого класса аморфных металлических сплавов. Эти магнитные микропроволоки представляют собой модельные системы для фундаментальных исследований ряда физических явлений, труднодоступных в других обычных магнитных материалах. Повышенная магнитная мягкость в сочетании с небольшими размерами сделали их весьма перспективными для многих современных технологических применений. Основным отличием

микропроводов со стеклянным покрытием от других магнитных проводов, является их композитный характер.

Предложенная инновационная разработка будет востребована для технологических применений сегодня в машиностроении.

Список литературы

1. Soft magnetic materials – technologies, materials, devices, new developments, industry structure and global markets. Report summary, London, 2015.
2. Jiles D.C. Recent advances and future directions in magnetic materials // Acta Materialia. 2003, vol. 51, pp. 5907-5939.
3. Герасимова А.А. Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных режимах обработки // Символ науки. – 2019. – № 9 – С. 17-20.
4. Soft magnetic application guide. The magnetic products group of SPS technologies. The Arnold Engineering Co. 2003, pp. 1-36.

Сведения об авторах:

Герасимова Алла Александровна – к.т.н., доцент;

Ибрагимов Хусрав Фазлиддинович – аспирант.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ИЗДЕЛИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Решетникова А.В., Феофанов А.Н.

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва*

Ключевые слова: качества продукции; техническая документация; метрологическая экспертиза; автоматизация; машиностроения.

Аннотация. В работе рассматривается возможность автоматизации контроля качества разрабатываемой технической документации на изделие машиностроения, в ходе проведения метрологической экспертизы, на основе автоматического вычисления коэффициента весомости несоответствия технической документации и коэффициента качества технической документации по установленным баллам в зависимости от категории несоответствия.

AUTOMATION OF QUALITY CONTROL OF TECHNICAL DOCUMENTATION FOR THE PRODUCT OF MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENTATION

Reshetnikova A.V., Feofanov A.N.

Moscow State Technological University "STANKIN", Moscow

Keywords: product quality; technical documentation; metrological expertise; automation; engineering.

Abstract. The paper considers the possibility of automating the quality control of the developed technical documentation for a machine-building product, during the metrological examination, based on the automatic calculation of the weight coefficient of the non-compliance of the technical documentation and the quality coefficient of the technical documentation according to the established points, depending on the category of non-compliance.

Современный мир крайне сложно представить без информационных технологий, которые прочно укоренились в жизни людей. Данные технологии помогают нам хранить и обрабатывать информацию, вести документооборот для оптимизации работы и повышение качества работы любой организации.

Автоматизация и цифровизация с каждым днем охватывает все больше производственных процессов.

Уровень качества продукции машиностроения закладывается на самых ранних стадиях проектирования будущего изделия, поэтому качество продукции неразрывно связано с качеством технической документации (ТД).

В процессе разработки документации завершающей стадией являются метрологическая экспертиза (МЭ) и нормоконтроль [1] в соответствии с требованиями ГОСТ 2.111-2013, ГОСТ 3.1116-2011, 102-ФЗ [2].

МЭ – это важный элемент в структуре производства. МЭ отвечает за качество выпускаемой продукции, предоставляет достоверную информацию потребителю. Юридическую основу МЭ составляет Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».

Метрологическая экспертиза документации

МЭ – это анализ и оценивание технических решений в части метрологического обеспечения (технических решений по выбору измеряемых параметров, установлению требований к точности измерений, выбору методов и средств измерений, их метрологическому обслуживанию).

При повышении технического уровня документации разработчики, не связанные с метрологией, могут допустить неточности:

- некорректно выбрать средство измерений;
- применить не ту методику;
- не учесть требования тематических нормативных документов;
- допустить другие метрологические ошибки.

Это может стать причиной высокого процента брака и лишних расходов на отладку процесса.

Для того чтобы избежать этого, в организации должна быть отлажена МЭ технической документации. Проекты документов следует подвергать метрологической экспертизе и проверять соблюдение в них требований и норм, которые устанавливают ГОСТы и другие нормативно-технические документы.

По итогам проведения МЭ были собраны материалы по выявленным несоответствиям (ошибкам) в технической документации (ТД), на протяжении 7 лет работы. В процессе анализа данных ошибок, была разработана классификация несоответствий по категориям в зависимости от их содержания. Классификация несоответствий необходима для оценки качества разрабатываемой ТД.

Классификация несоответствий

Выявленные несоответствия в ТД, в зависимости от их причин и последствий, разделяются на следующие категории:

1 категория – несоответствия, связанные с несоблюдением требований, установленных во внешних нормативных, технических документах;

2 категория – несоответствия, которые ведут к возврату ТД без рассмотрения;

3 категория – несоответствия, связанные с несоблюдением внутренних нормативных, технических и организационно-распорядительных документов;

4 категория – несоответствия, связанные с грамматическими, орфографическими и стилистическими ошибками в документах;

5 категория – несоответствия, требующие согласования с другими службами.

Классификация несоответствий по категориям в зависимости от их содержания приведена в таблице 1.

Оценка производится в следующем порядке.

а) Несоответствия, выявленные при проведении МЭ, классифицируются в соответствии с вышеприведенными таблицами (классификатором). При этом каждое несоответствие в зависимости от категории оценивается определенным количеством баллов, где:

- 1) 1 (одно) несоответствие 1 категории = 5 баллам;
- 2) 1 (одно) несоответствие 2 категории = 4 баллам;
- 3) 1 (одно) несоответствие 3 категории = 3 баллам;

4) 1 (одно) несоответствие 4-5 категорий = 2 балл.

Баллы были присвоены в соответствии с проведённым FMEA-анализом по среднему значению А В Е. FMEA-анализ приведен в таблице 2.

Табл. 1. Классификация несоответствий в технической документации

Категория	Краткое описание несоответствия	Нормативный документ, требования которого не выполнены	Вид документа, в котором может выявляться данное несоответствие
1	Несоответствие точности измерений заданным требованиям в ТЗ (ТТЗ)	РМГ 63 -2003	Текстовая документация всех видов
1	Неправильная форма записи измеряемых (контролируемых) параметров	ГОСТ Р 2.105-2019	Все документы
1	Недостаточность технических требований и номенклатуры измеряемых (контролируемых) параметров	ГОСТ РВ 0020-39.309-2019 ГОСТ РВ 0008-000-2019 ГОСТ РВ 0008-003-2019	Текстовая документация всех видов
1	Наличие необоснованных измеряемых (контролируемых) параметров и средств измерений	ГОСТ РВ 0008-006-2020 ГОСТ РВ 15.210-2001 РМГ 63 -2003	Текстовая документация всех видов
1	Контролепригодность	ГОСТ 26656-85	Чертежи всех видов
1	Неправильное указание допусков форм и расположения поверхностей	ГОСТ 2.308-2011 ГОСТ 2.109-73 ГОСТ 24643-81	Чертежи всех видов
1	Неправильное назначение, обозначение шероховатости	ГОСТ 2789-73 ГОСТ 2.309-73	Чертеж детали, сборочный чертеж
1	Наличие ссылок на отменные (замененные) документы, неправильное применение ссылочных нормативных и технических документов, отсутствие необходимых ссылок на нормативную документацию	Статус нормативной документации	Вся документация
1	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	ГОСТ 8.417-2002, ПП РФ от 31.10.2009 №879	Вся документация
1	Неправильная запись терминов по метрологии	РМГ 29-2013	Вся документация
1	Отсутствие норм точности на измеряемые параметры (отсутствие допускаемых предельных отклонений, погрешности измерений)	ГОСТ РВ 0008-006-2020	Вся документация
1	Отсутствие требований к методикам (методам) измерений	ГОСТ Р 8.563-2009 ГОСТ 8.010-2013	Текстовая документация всех видов
1	Требования к средствам измерений, средствам допускового контроля, техническим системам и устройствам с измерительными функциями, испытательному оборудованию и к их метрологическому обеспечению представлены не в полном объеме или не представлены вовсе	102-ФЗ ГОСТ РВ 0008-000-2019 ГОСТ РВ 0008-002-2019 ГОСТ Р 8.568-2017 ГОСТ 8.051-81; ГОСТ 8.401-80; ГОСТ Р 8.674-2009; ГОСТ 27300-87; РТМ 1.4.331-81.	Текстовая документация всех видов

Категория	Краткое описание несоответствия	Нормативный документ, требования которого не выполнены	Вид документа, в котором может выявляться данное несоответствие
1	Несоответствие точности измерений установленным требованиям	ГОСТ РВ 0008-006-2020 ГОСТ РВ 0020.39.301-2019 ГОСТ РВ 0020.39.304-2019 ГОСТ РВ 0020.39.309-2019 ГОСТ РВ 20.57.312-98 ГОСТ 8.009-84 ГОСТ 8.051-81	Вся документация
2	Отсутствуют необходимые подписи и соответствующие виды контроля ТД в соответствии с нормативной документацией	СТО ГОСТ 2.102— 2013 ГОСТ 2.104-2006	Вся документация
2	Некомплектность документации	ГОСТ 2.102-2013	Вся документация
3	Неправильное обозначение изделий и документации	Положения о порядке разработки, оформления и передачи комплектов технической документации и порядку ведения документации в производстве	Вся документация
4	Применение для одного и того же понятия различные научно-технические термины. [3] Неправильное или неоднозначное применение технических терминов и условных обозначений, орфографические и грамматические ошибки, опiski, опечатки в чертежах, рисунках и текстовых документах, сокращения	ГОСТ Р 2.105-2019 и др. РМГ 29	Вся документация
5	Несоответствия, требующие согласования с другими проверяющими службами (неоднозначное нарушение НД, компетенция других проверяющих)	СТО	Вся документация

б) Коэффициент качества документации определяется по формуле:

$$K_k = \frac{1}{K_B + 1}, \quad (1)$$

$$K_B = \frac{B}{N}, \quad (2)$$

где K_k – коэффициент качества; K_B – коэффициент весомости несоответствия ТД; B – сумма баллов несоответствий в ТД; N – количество форматов А4.

Коэффициент качества документации	Результативность
$K_k < 0,60$	недопустимая
$0,60 \leq K_k < 0,75$	допустимая
$0,75 \leq K_k < 0,95$	достаточная
$K_k > 0,95$	высокая

Данную классификацию можно использовать для определения качества ТД в процессе проведения МЭ (рис. 1, 2).

Табл. 2. FMEA-анализ

Операция	Потенциальный дефект	Потенциальные причины	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ	Среднее значение B A E
Проверка документации	Несоответствие точности измерений заданным требованиям в ТЗ (ТТЗ)	Низкая квалификация разработчика	Увеличение времени работы	3	7	5	105	5
	Неправильная форма записи измеряемых (контролируемых) параметров	Недостаточный опыт разработчика	Увеличение времени работы	8	4	3	96	5
	Недостаточность технических требований и номенклатуры измеряемых (контролируемых) параметров	Халатность разработчика	Экономические потери	5	7	3	105	5
	Наличие необоснованных измеряемых (контролируемых) параметров и средств измерений	Низкая квалификация разработчика	Увеличение времени работы	5	8	2	80	5
	Контролепригодность	Низкая квалификация разработчика	Увеличение времени работы	6	7	2	84	5
	Неправильное указание допусков форм и расположения поверхностей	Недостаточный опыт разработчика	Угроза жизни и здоровья заказчика	4	9	2	72	5
	Неправильное назначение, обозначение шероховатости	Низкая квалификация разработчика	Увеличение времени работы	8	5	2	80	5
	Наличие ссылок на отменные (замененные) документы, неправильное применение ссылочных нормативных и технических документов, отсутствие необходимых ссылок на нормативную документацию	Халатность разработчика	Увеличение времени работы	8	5	2	80	5
	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	Халатность разработчика	Увеличение времени работы	6	7	2	84	5
	Неправильная запись терминов по метрологии	Недостаточный опыт разработчика	Увеличение времени работы	10	3	2	60	5
	Отсутствие норм точности на измеряемые параметры (отсутствие допускаемых предельных отклонений, погрешности измерений)	Недостаточный опыт разработчика	Угроза жизни и здоровья заказчика	6	7	2	84	5
	Отсутствие требований к методикам (методам) измерений	Недостаточный опыт разработчика	Увеличение времени работы	6	6	3	108	5
	Требования к средствам измерений, средствам допускового контроля, техническим системам и устройствам с измерительными функциями, испытательному оборудованию и к их	Халатность разработчика	Экономические потери	5	8	2	80	5

метрологическому обеспечению представлены не в полном объеме или не представлены вовсе									
Отсутствуют необходимые подписи и соответствующие виды контроля ТД в соответствии с нормативной документацией	Недостатки в организации работы	Увеличение времени работы	4	5	3	60	4		
Некомплектность документации	Недостатки в организации работы	Увеличение времени работы	2	7	3	42	4		
Неправильное обозначение изделий и документации	Низкая квалификация разработчика	Угроза жизни и здоровья заказчика	2	5	2	20	3		
Применение для одного и того же понятия различные научно-технические термины. [3] Неправильное или неоднозначное применение технических терминов и условных обозначений, орфографические и грамматические ошибки, опечатки в чертежах, рисунках и текстовых документах, сокращения	Халатность разработчика	Увеличение времени работы	2	3	2	12	2		
Несоответствия, требующие согласования с другими проверяющими службами (неоднозначное нарушение НД, компетенция других проверяющих)	Недостатки в организации работы	Увеличение времени работы	2	3	2	16	2		

- параметр тяжести последствий для потребителя В – это экспертная оценка, проставляемая обычно по 10-ти балльной шкале;

- параметр частоты возникновения дефекта А – это также экспертная оценка, проставляемая по 10-ти балльной шкале;

- параметр вероятности не обнаружения дефекта Е – как и предыдущие параметры, он является 10-ти балльной экспертной оценкой;

- параметр риска потребителя RPZ; он определяется как произведение $B \times A \times E$. Этот параметр показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов. Дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска (RPZ больше, либо равно 100-120) подлежат устранению в первую очередь.

СУММ(J2:J13)/СУММ(E2:E13)											
А	В	С	Д	Е	Ф	Г	И	К	Л	М	Н
	Фамилия И.О. разраб.	Структурное подразделение	Обозначение директивного документа/извещения (ПИ, ПР)	Кол. ф.А4	Период предъявления	Обозначение документа	Замечание/предложение	Категория несоответствия по классификатору	Баллы	Кк	0,761981027
1	XXXXX	41.07	XXXXXXXXX	36	16.09.22	71.04.00-11000-000079-19/00	Требования к средствам измерений, средствам допускового контроля, техническим системам и устройствам с измерительными функциями, испытательному оборудованию и к их метрологическому обеспечению представлены не в полном объеме или не представлены вовсе	1	5	Ка	СУММ(J2:J13)/СУММ(E2:E13)
2	XXXXX	41.07	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04.00-11000-000079-19/00	Несоответствия, требующие согласования с другими проверяющими службами (неоднозначное нарушение НД, компетенция других проверяющих)	5	2		
3	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	6	16.09.22	71.04.00-11000-000045-19/00	Несоответствия точности измерений установленными требованиями	1	5		
4	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04.00-11000-000045-19/00	Отсутствие норм точности на измеряемые параметры (отсутствие допусковых предельных отклонений, погрешности измерений)	1	5		
5	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04.00-11000-000045-19/00	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	1	5		
6	XXXXX	41.06	XXXXXXXXX	34	16.09.22	71.03.6100.000013 от 15.05.2019	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	1	5		
7	XXXXX	41.06	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.03.6100.000013 от 15.05.2019	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	1	5		

Рис. 1. Фрагмент страницы из журнала МЭ с автоматическим вычислением (K_B) коэффициента весомости несоответствия

СУММ											
=1/((СУММ(J2:J13)/СУММ(E2:E13))+1)											
	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	Категория несоответствия по классификатору	Баллы	Кв	
	Фамилия И.О. разраб.	Структурное подразделение	Обозначение директивного документа/извещения (ПИ, ПР)	Кол. ф.А4	Период предъявления	Обозначение документа	Замечание/предложение				
1	XXXXX	41.07	XXXXXXXXX	36	16.09.22	71.04-00-11000-000079-19/00	Требования к средствам измерений, средствам допускового контроля, техническим системам и устройствам с измерительными функциями, испытательному оборудованию и к их метрологическому обеспечению представлены не в полном объеме или не представлены вовсе	1	5	Кв	=1/(СУММ(J2:J13)/СУММ(E2:E13))+1
2	XXXXX	41.07	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04-00-11000-000079-19/00	Несоответствия, требующие согласования с другими проверяющими службами (неоднозначное нарушение НД, компетенция других проверяющих)	5	2		
3	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	6	16.09.22	71.04-00-11000-000045-19/00	Несоответствия точности измерений установленным требованиям	1	5		
4	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04-00-11000-000045-19/00	Отсутствие норм точности на измеряемые параметры (отсутствие допусковых предельных отклонений, погрешности измерений)	1	5		
5	XXXXX	41.12	XXXXXXXXX	-	16.09.22	71.04-00-11000-000045-19/00	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	1	5		
6	XXXXX	41.06	XXXXXXXXX	34	16.09.22	71.03.6100.000013 от 15.05.2019	Неправильная запись наименований и обозначений величин и их единиц	1	5		

Рис. 2. Фрагмент страницы из журнала МЭ с автоматическим вычислением (K_K) коэффициента качества

Заключение

По выявленным несоответствиям (ошибкам) в ТД в ходе проведения МЭ и на основе классификации можно сделать анализ оценки качества разработанной ТД по коэффициенту качества.

Список литературы

1. Решетникова А.В., Феофанов А.Н. Контроль технической документации на изделия машиностроения, приборостроения и строительства // Фундаментальные основы механики. – 2022. – №9. – С. 120-123.
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 №102-ФЗ. – М.: Омега-Л, 2008. – 55 с.
3. ГОСТ Р 2.105-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам. Дата введения 2020-02-01.

Сведения об авторах:

Решетникова Ангелина Валерьевна – аспирант;

Феофанов Александр Николаевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной графики.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ГАЗА НА ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ

Жуков В.С., Самойлова Е.М.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов*

Ключевые слова: турбодетандерная установка, энергосбережение, подогрев газа.

Аннотация. Рассматриваются вариации схем подключения подогревателя к турбодетандерным установкам (ТДУ), устанавливаемых с целью энергосбережения с использованием вторичных энергоресурсов. Установки являются составляющими ГРС нового поколения, оснащенных автоматизированной системой интеллектуального управления. Оцениваются преимущества выделенных схем, с предварительным изучением их принципа работы.

SCHEMES FOR SWITCHING ON THE GAS HEATER ON TURBO EXPANDER INSTALLATIONS

Zhukov V.S., Samoylova E.M.

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov

Keywords: turbo expander installation, energy saving, gas heating.

Abstract. Variations of the heater connection schemes to turbo expander units (TDUS) installed for the purpose of energy saving using secondary energy resources are considered. The installations are components of a new generation of state systems equipped with an automated intelligent control system. The advantages of the selected schemes are evaluated, with a preliminary study of their principle of operation.

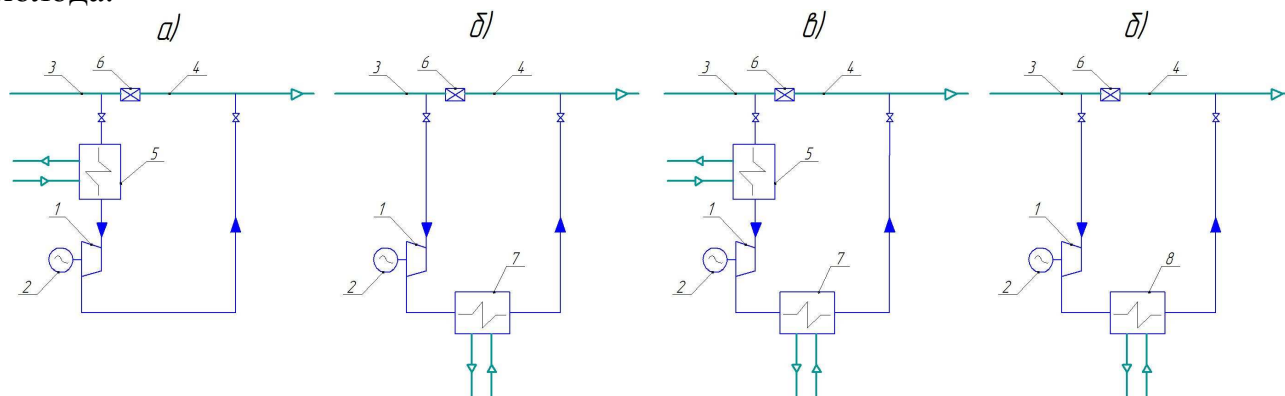
Турбодетандерная установка (ТДУ) – система, в которой происходит снижение давления природного газа с обязательным подогревом для предотвращения гидратообразования. Механическая работа, произведенная в детандере, преобразуется в генераторе в электрическую энергию [1-3].

Подогрев газа в турбодетандерах определяется условиями их эксплуатации. При температуре ниже 0°C может произойти образование наледи на арматуре, что приведет к потере ее работоспособности. Для контроля температуры газа на выходе из ТДУ устанавливаются подогреватели [4].

По месту подогрева газа ТДУ могут быть классифицированы следующим образом: с подогревом газа перед детандером (рис. 1а); подогревом газа после детандера (рис. 1б); подогревом газа до и после детандера (рис. 1в); без подогрева газа (рис. 1г).

Принцип работы представленных схем схож. Транспортируемый газ поступает в детандер из трубопровода высокого давления. Энергия газового потока, предварительно подогретой (в случае рис. 1а,в), преобразуется в механическую, которая в генераторе преобразуется в электрическую энергию, направляемую потребителю. Давление газа при этом снижается до необходимого в трубопроводе низкого давления. После детандера транспортируемый газ (подогретый – в случае рис. 1в) поступает в трубопровод низкого давления. На

схеме (рис. 1г) давление транспортируемого газа снижается в редуцирующем устройстве до такой величины, чтобы температура газа на выходе из детандера была не больше заранее заданной, определяемой требованиями к работе станции технологического понижения давления и правилами эксплуатации газопроводов. Теплообменник установки может использоваться в такой схеме для получения холода.



1 – турбодетандер; 2 – электрогенератор; 3 и 4 – трубопроводы высокого и низкого давления соответственно; 5 – теплообменник подогрева газа; 6 – редуцирующее устройство; 7 – теплообменник подогрева газа после детандера; 8 – теплообменник (холодильник)

Рис. 1. Принципиальные схемы включения ТДУ с подогревом газа

Изучив принципы работы данных типов ТДУ, может прийти к выводу, что на ГРС рационально применять установку с подогревателем после детандера. Данная схема проста в эксплуатации. Применение установки без подогрева предусматривается не для всех типов ГРС. Возникает риск образования наледи, что недопустимо.

Список литературы

1. Зацепин С.С., Купцов С.М. Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях // Территория «Нефтегаз». – 2016. – № 12. – С. 50-53.
2. Интеллектуальные газораспределительные станции нового поколения // Территория «Нефтегаз». – 2016. – № 12. – С. 30-32.
3. Портал по тригенерации, когенерации и мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]. – <http://www.combienergy.ru/stat/1229-Sovremennoe-sostoyanie-primeneniya-turbodetandеров>.
4. СТО Газпром 2-3.5-748-2013. Турбодетандерные агрегаты. Типовые технические требования. – Утв. распоряжением ПАО "Газпром" от 17.01.2013 N 13. – 37с.

Сведения об авторах:

Самойлова Елена Михайловна – к.т.н.;

Жуков Виталий Сергеевич – магистрант.

УДК 630*432.1

ОБЗОР КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШНЕКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ГРУНТОМЕТА- ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ НА ВИРТУАЛЬНОМ СТЕНДЕ В ЛЕСНЫХ УСЛОВИЯХ

Поздняков А.К.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: моделирование, напочвенный покров, шнековый рабочий орган, грунтометательная машина.

Аннотация. Целью работы являлась разработка шнековых рабочих органов грунтометательных орудий на базе методов имитационного 3D-моделирования в среде САПР и исследование их кинематических и динамических характеристик в виртуальной среде. Для этого были разработаны параметрические 3D-модели нескольких вариантов шнековых рабочих органов. Разработана параметрическая 3D-модель навесного грунтомета для уточнения массово-габаритных параметров шнеков.

OVERVIEW OF THE KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SCREW WORKING BODY OF THE STRIP-LAYING MACHINE ON A VIRTUAL STAND IN FOREST CONDITIONS

Pozdnyakov A.K.

Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh

Keywords: modeling, ground cover, auger working body, ground-throwing machine.

Abstract. The aim of the work was the development of screw working bodies of ground-throwing tools based on 3D simulation modeling methods in a CAD environment and the study of their kinematic and dynamic characteristics in a virtual environment. For this purpose, parametric 3D models of several variants of screw working bodies were developed. A parametric 3D model of a mounted ground gun has been developed to clarify the mass-dimensional parameters of the augers.

Шнековый рабочий орган предназначен для удаления напочвенного покрова с горючими растительными остатками из потока грунта для тушения лесного низового пожара.

Исследование кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа грунтомета-полосопрокладывателя выполнялось на виртуальном динамометрическом стенде, реализованном в среде инженерных расчетов SolidWorks Motion, использующей метод многотельной динамики (MBD) [1, 2]. Разработанный виртуальный стенд позволяет фиксировать продольную силу тяги R_x , боковую силу R_y и вертикальную силу R_z [3].

На рисунке 1 представлены графики, наглядно демонстрирующие характер изменения средних значений силы R_x в зависимости от высоты препятствия и скорости вращения шнекового рабочего органа.

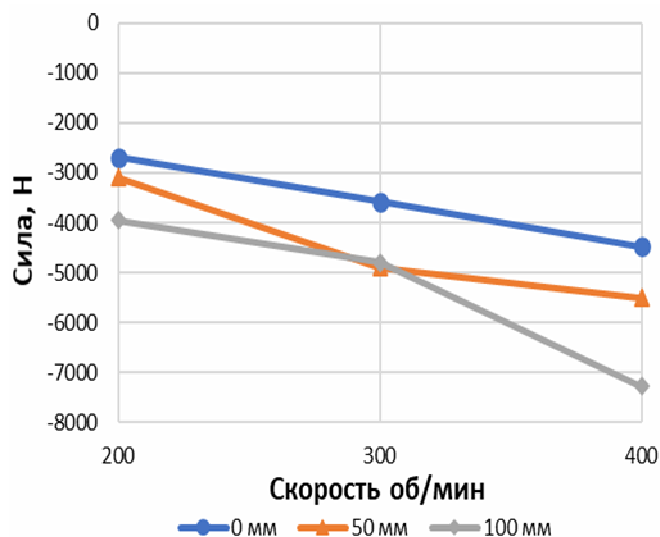


Рис. 1. Изменение средних значений силы R_x в процессе преодоления препятствия в зависимости скорости вращения шнекового рабочего органа

Анализ полученных зависимостей показал, что сила R_x возрастает с увеличением скорости вращения шнекового рабочего органа. Данная тенденция наблюдается для всех высот препятствия и является близкой к линейной. Минимальное значение R_x для высоты препятствия 0 мм и скорости вращения рабочего органа 200 об/мин составляет -2687 Н. Максимальное значение R_x наблюдается для высоты препятствия 100 мм и скорости вращения рабочего органа 400 об/мин, это -7279 Н.

Список литературы

1. Патент № 2762160 РФ. Лесопожарный грунтомет-полосопрокладыватель / П.И. Попиков, И.М. Бартенев, А.К. Поздняков, В.П. Попиков, А.Ф. Петков. – Заявка №2021117044 от 10.06.2021; опубл. 16.12.2021.
2. Бартенев И.М., Поздняков А.К. Анализ рабочих органов технических средств для тушения лесных пожаров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2020. – №1(48). – С. 119-122. – DOI: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-119-122.
3. Lysych M.N. Computer simulation of the process soil treatment by tillage tools of soil processing machines // Comput. Res. Model. 2020, vol. 12, no. 3, pp. 607-627.

Сведения об авторе:

Поздняков Антон Константинович – аспирант, младший научный сотрудник кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин.

УДК 628.543

УСТАНОВКИ ВОДОПОНИЖЕНИЯ (УСТРОЙСТВО, ТИПЫ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ)

*Лоренц А.С., Полвинен Д.А., Пономарев К.А., Комиссаров П.И., Кубинский А.Б.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск*

Ключевые слова: установки водопонижения, иглофильтр, эжектор, легкие иглофильтры, грунт, вода, вакуумный насос.

Аннотация. В данной работе авторами предлагается обоснования установки вакуумного водопонижения, способ их применения при различных условиях рельефа местности, различном составе почвы, а также описывается устройство системы вакуумного водопонижения, методология способов водопонижения, существующие типы установок их наиболее актуальные виды («Эжекторы» и «Легкие» иглофильтровые установки) и принцип работы.

DEWATERING PLANTS (DEVICE, TYPES, PRINCIPLES OF OPERATION)

*Lorentz A.S., Polvinen D.A., Ponomarev K.A., Komissarov P.I., Kubinsky A.B.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk*

Keywords: water treatment plants, needle filter, ejector, light needle filters, soil, water, vacuum pump.

Abstract. In this paper, the authors propose justifications for vacuum water treatment plants, the method of their application under different terrain conditions, different soil composition, and also describe the device of the vacuum water treatment system, the methodology of water treatment methods, the existing types of installations, their most relevant types ("Ejectors" and "Light" needle filter installations) and the principle of operation.

Вакуумные установки водопонижения предназначены для осушения котлованов, снижение вредного влияния грунтовых вод, а также применяются для добычи воды. Представленная технология была рассмотрена авторами статьи «Перспективы использования установок водопонижения при тушении лесных пожаров» [1].

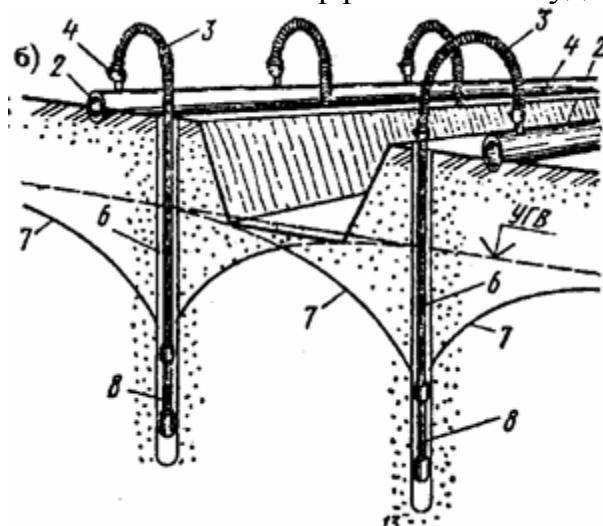
Устройство вакуумного водопонижения применяются на открытых котлованах и закрытых вакуумных водопонижающих скважинах, которые применяются на различной глубине расположения грунтовых вод. Выполнение работ по водопонижению обеспечивает нормативный функционал строений и сооружений, а также обеспечение продуктивной хозяйственной деятельностью [2].

Установка водопонижения состоит из дренажного центробежного насоса, всасывающего трубопровода, он состоит из коллектора с подключенными к нему иглофильтрами.

В водонасыщенный грунт устанавливается большое количество иглофильтров, насосная установка для эффективного отсасывания воды должна обеспечить поддержание достаточно высокого и устойчивого вакуума в разветвленной всасывающей линии (рис. 1). Отметим, что технически ни один из вакуумирующих агрегатов не может на сегодняшний день обеспечить разрежение выше 100 кПа (1,0 кгс/см.кв.), из-за этого возможно ограничение на максимальную длину иглофильтра, иглофильтровой колонны или глубину его

установки в грунт от линии приёмных коллекторов – до 9,5-10 метров. Если требуется выполнение работ по водопонижению, обеспечивающих большие глубины депрессионной поверхности, то применяется либо технология многоярусной установки иглофильтров, либо иные технологические методы. К числу прочих технологий глубинного водопонижения применяется обустройство буровых скважин или артезианских колодцев с погружными насосами, а также применение эжекторных иглофильтровых установок. [3].

Вместе с водой из земли засасывается ещё и воздух, для откачки которого предусмотрен входящий в установку вакуумный насос. Работоспособность установки по большей части зависит от эффективности удаления воздуха.



1 – насосный агрегат, 2 – всасывающий коллектор, 3 – соединительные рукава, 4 – элементы соединения (БРС, хомуты, патрубки), 6 – сборный иглофильтр (колонна), 7 – пониженный УГВ (уровень грунтовых вод), депрессионная кривая, 8 – сетчатый фильтрующий элемент (ФСК) иглы

Рис. 1. Схема расстановки иглофильтров при водопонижительных работах

Методология способов водопонижения:

1. С применением иглофильтров диаметром 40-70 см, нижняя часть представляет собой фильтрационное звено с режущим наконечником. При помощи наконечника и мощной струи иглофильтр погружается в грунт гидравлическим методом. Установки являются частью системы для понижения уровня грунтовых вод.

2. Открытый способ подразумевает защиту котлована сплошными свайными или шпунтовыми стенками, укрепляющими откосы. Шпунты не пропускают воду, позволяя просачиваться ей лишь на уровне дна, где находятся приготовленные водосборники.

3. Закрытый метод применяется в бурении на территории строительного участка приемных колодцев. Затем, по мере их наполнения, вакуумным способом, из этих водосборников удаляют воду, производя водопонижение котлована [4].

Типы установок водопонижения.

1. Эжекторы.

Эжекторные установки для водопонижения представляют собой систему с большим давлением воды. На поверхности земли смонтирован насос с

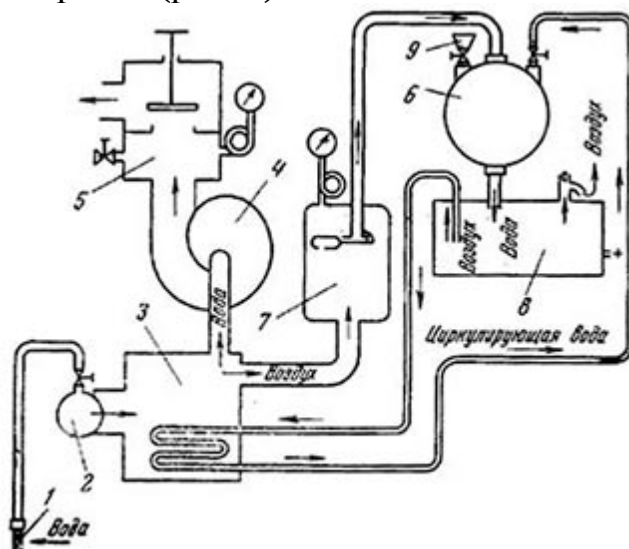
циркуляционным баком, от него идет распределительный коллектор, через него вода поступает в эжекторы.

Эжектор – это водоструйный насос, помещенный внутри второго снизу яруса иглофильтра. После прохода эжекторной насадки под давлением свыше 0,7 МПа, водяной столб по внутренней трубе поднимается вверх, создавая вакуум в эжекторе. Вследствие чего выполняется откачка грунтовой воды в циркуляционный бак, куда она попадает вместе с рабочей водой. А ее отвод из бака выполняется насосами либо гравитацией.

Данный метод значительно повышает эффективность мероприятий по понижению уровня грунтовых вод, что имеет важное значение. Особенно это касается работ по осушению грунтовых пород с низкими фильтрационными свойствами [5].

2. Легкие иглофильтрационные установки водопонижения.

Для искусственного понижения на глубину 4-5 м в песчаных грунтах применяют легкие иглофильтровые установки. Для осушения траншей шириной до 4,5 м применяют однорядные иглофильтровые установки, а при устройстве более широких траншей (например, для прокладки коллекторов) – двухрядные. Для осушения котлованов используют замкнутые по контуру установки. При понижении уровня воды на глубину более 5 м применяют двухъярусные и трехъярусные иглофильтровые установки. В этом случае сначала вводят в работу первый (верхний) ряд иглофильтров и под его защитой отрывают верхний уступ котлована, после чего монтируют второй (нижний) ряд иглофильтров и отрывают второй уступ котлована. После ввода в действие каждого последующего ряда иглофильтров предыдущие можно отключать и демонтировать. Применение иглофильтров может быть эффективным и для водопонижения в слабопроницаемых грунтах, если под ними залегает более водопроницаемый слой. При этом иглофильтры заглубляют в нижний слой с обязательной их обсыпкой [6]. Почти во всех случаях схема работы водопонижительной установки выглядит следующим образом (рис. 2).



1 – иглофильтр, 2 – коллектор, 3 - камера всасывания, 4 – насос, 5 – камера распределения,
6 – вакуумный насос, 7 – воздушная камера, 8 – бак, 9 – воронка

Рис. 2. Схема работы водопонижительной установки

Засасываемая иглофильтрами 1 вода вместе с воздухом попадает в коллектор 2, присоединенный к камере всасывания 3. Из этой камеры вода попадает в насос 4, затем в камеру распределения 5, а оттуда в напорный трубопровод для слива или забуривания вновь устанавливаемых иглофильтров.

Поступающий вместе с водой в камеру всасывания воздух откачивается вакуумным насосом 6 через воздушную камеру 7. Вакуумный насос водокольцевого типа откачивает в бак 8 воздух вместе с водой, циркулирующей для охлаждения. Из бака воздух уходит в атмосферу, а вода проходит через змеевик, помещенный в камеру всасывания, охлаждается и вновь засасывается вакуумным насосом. На распределительной камере установлен манометр, на воздушной камере – мановакуумметр. Воду заливают в вакуумный насос через воронку 9 [3].

Основные особенности установок водопонижения.

1. Данный метод один из востребованных и распространенных вариантов для получения водных ресурсов в сложных условиях рельефа местности.

2. Простота установки и использования оборудования для понижения уровня грунтовых вод иглофильтрами.

3. Метод водопонижения является универсальным – иглофильтры применяются во всех областях деятельности (строительство, буровые и земельные работы).

Список литературы

1. Лоренц А.С. Применение установок водопонижения в лесных районах // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2022. Сборник материалов конференции в 2-х томах. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 278-281.
2. Вакуумное водопонижение грунтовых вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://borey-stroy.ru/articles/vakuumnoe-vodoponizhenie-garantirovannyj-rezultat-v-korotkie-sroki/>
3. Вакуумное водопонижение – принцип работы, устройство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ym333.ru/stati/vakuumnoe-vodoponizhenie/>
4. Иглофильтры: технологии и устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nektonnasos.ru/article/promyshlennye/otkachka-vody/iglofiltry/>
5. Григорьева О.И., Гринько О.И., Давтян А.Б., Григорьев И.В. Технология получения воды в лесу при помощи иглофильтров // Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 444-449.
6. Водопонижение иглофильтрами грунтовых вод на строительных площадках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dimdom.ru/vodoponizhenie-gruntovyh-vod-na-stroitelnyh-ploshchadkah.html>

Сведения об авторах:

Лоренц Анатолий Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования;

Полвинен Даниил Александрович – магистрант;

Пономарев Константин Алексеевич – магистрант;

Комиссаров Павел Игоревич – магистрант;

Кубинский Александр Борисович – магистрант.

УДК 630*232.318:630*651.72

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ВЫСЕВА ЛЕСНЫХ СЕМЯН В ПИТОМНИКАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ, НАСТРОЙКА И УПРАВЛЕНИЕ СЕЯЛКАМИ С ИХ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ВО ВРЕМЯ ВЫСЕВА

Жужукин Н.В.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: Нулевая обработка почвы, типы сеялок, классификация сеялок, рабочий орган сеялки, лесные семена, высев лесных семян.

Аннотация. Внедрение технологии «нулевой обработкой почвы» происходило параллельно с разработкой оборудования, которое может эффективно засеять большие площади неподготовленной, защищенной растительными остатками почвы в течение ограниченного периода времени при благоприятных условиях. В этой статье рассматриваются функциональные требования, основные компоненты и характеристики сеялок для «нулевой обработкой почвы» с указанием основных классификаций и их возможного влияния на приживаемость культур. Состояние почвы и пожнивных остатков трудно определить, и они сильно различаются, поэтому прогнозировать производительность машины сложно. Лесопосадка с контролируемым движением, которое часто используется в сочетании с «нулевой обработкой почвы», может облегчить посадку за счет улучшения состояния почвы и уменьшения изменчивости машинного масштаба. Это также снижает потребность в энергии для уборки урожая и улучшает проходимость и своевременность, ограничивая все тяжелые колеса постоянными полосами движения.

DEVELOPMENT OF OPTIMAL STRATEGIES FOR SOWING FOREST SEEDS IN NURSERIES OF THE FOREST-STEPPE ZONE, SETTING UP AND MANAGING SEEDERS WITH THEIR COMPONENTS TO MAXIMIZE YIELDS DURING SOWING

Zhuzhukin N.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh*

Keywords: no tillage, types of seeders, classification of seeders, working body of the seeder, forest seeds, sowing of forest seeds.

Abstract. The introduction of the «no tillage» technology took place in parallel with the development of equipment that can effectively sow large areas of unprepared, protected by plant residues soil for a limited period of time under favorable conditions. This article discusses the functional requirements, the main components and characteristics of seeders for «no tillage», indicating the main classifications and their possible impact on the survival of crops. The condition of the soil and crop residues is difficult to determine, and they vary greatly, so it is difficult to predict the performance of the machine. Controlled-motion planting, which is often used in combination with «no tillage», can facilitate planting by improving soil conditions and reducing machine scale variability. It also reduces the need for energy for harvesting and improves cross-country and timeliness by limiting all heavy wheels to permanent lanes.

Посадка лесных семян является наиболее важной операцией в современных системах Лесоразведения. Урожайность, надежность посевов, частота посевов и доходность урожая зависят от равномерного и своевременного создания оптимальных насаждений с точки зрения как густоты растений, так и расстояния между растениями. Укоренение также является одним из наиболее важных и уязвимых этапов развития лесных семян [1].

Учеными доказано, что 60% конечного потенциала урожая лесных семян определяется во время посева лесных семян [2].

Существует два общих требования для оптимизации приживаемости растений в системах посадки лесных семян с нулевой обработкой почвы. Во-первых, селекционеры, семеноводы, торговцы семенами, обязаны обеспечивать подходящие типы семян, семена высококачественных сортов. А также осуществлять контроль по отбору сортов и выполнять рекомендации по факторам укоренения, таким как время посадки, глубина посадки, укоренившиеся популяции растений, схемы посева, рекомендуемые обработки семян.

Такие требования в большей степени удовлетворяют лесную отрасль в Европе и других зарубежных странах благодаря удобным и доступным для производителей рекомендаций, вытекающим из текущих исследований касающихся лесовосстановления и лесоразведения. Однако в других регионах и странах, особенно в тех, где нулевая обработка почвы является относительно новой.

Второе требование заключается в том, чтобы операторы высевальных машин знали требования необходимые для оптимального высева лесных семян и высевальные способности различных видов лесопосадочных машин, а также типы конфигураций которые удовлетворяют требованиям для посадки в различные типы почв.

Разработка и внедрение круглогодичных стратегий управления лесными культурами для оптимизации состояния почвы и растительных остатков, как для посева, так и для работы сеялки, непосредственно перед посевом; а также оптимальный выбор, настройка и управление сеялками с их компонентами для максимального увеличения урожайности во время высева.

В то время как требования к посадке лесных семян хорошо известны, взаимосвязь между состоянием почвы, состоянием растительных остатков, стратегиями управления и характеристиками сеялки при посадке лесных семян не совсем понятна, особенно в системах производства с нулевой обработкой почвы.

Научные разработки, в основном являющиеся результатом постепенного сокращения механического нарушения почвы и растительных остатков за последние 50 лет, привели к появлению современных стратегий управления нулевой обработки почвы и посадочной техники. Тем не менее, проблемы остаются, в основном потому, что:

- системы с нулевой обработкой почвы зависят от местоположения;
- выбора типа сеялки для конкретных систем возделывания лесных культур;
- очень большие различия в производительности сеялок не обязательно связаны с параметрами и конструкцией [3].

Информация, полученная в результате исследования/проверки производительности конкретных компонентов сеялки, независимо от других переменных машины и системы возделывания культур, может использоваться только для информирования, а не для осуществления изменений.

Поэтому необходимо определить основные компоненты, влияющие на производительность сеялок с нулевой обработкой почвы, и обсудить последствия их взаимозависимых отношений для современных сеялок.

После этого сеялки с нулевой обработкой почвы необходимо классифицировать, и определить их широкие возможности к конкретным системам возделывания культур с нулевой обработкой почвы, оценить на основе компонентов сошника и укладки семян. Затем эта информация используется для обсуждения вопросов выбора и управления посадочным оборудованием для нулевой обработки почвы.

Список литературы

1. Драпалюк М.В. Перспективные технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках: моногр. – Воронеж, 2006. – 247 с.
2. Luoranen J. Autumn versus spring planting: the initiation of root growth and subsequent field performance of Scots pine and Norway spruce seedlings // *Silva Fennica*. 2018, vol. 52(2). <http://doi.org/10.14214/sf.7813>.
3. Драпалюк М.В., Ушаков Н.О., Жужукин Н.В., Журавлев А.Н. Анализ технологий и технических средств для посева мелких лесных семян в питомниках // *Лесотехнический журнал*. – 2021. – Т. 11, № 3 (43). – С. 130-139.

Сведения об авторах:

Жужукин Николай Викторович – аспирант.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Затылкин А.В.

АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Пенза

Ключевые слова: удары, вибрации, надежность, амортизатор, программа, алгоритм, инженерная методика.

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос моделирования влияния внешних механических воздействий на амплитудно-частотные характеристики стержневых конструкций радиоэлектронных средств. Проведен анализ аналогично программного обеспечения, выбран математический аппарат, базирующийся на основе метода конечных разностей. Предложенные теоретические положения доведены до алгоритмической и программной реализации.

MODELING OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL MECHANICAL INFLUENCES ON THE CORE STRUCTURES OF RADIO ENGINEERING DEVICES

Zatylnkin A.V.

JSC "Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza

Keywords: shocks, vibrations, reliability, shock absorber, program, algorithm, engineering methodology.

Abstract. In this article, the issue of modeling the influence of external mechanical influences on the amplitude-frequency characteristics of the core structures of radio-electronic means is considered. The analysis is carried out similarly to the software, a mathematical apparatus based on the finite difference method is selected. The proposed theoretical provisions are brought to the algorithmic and programmatic implementation.

Изделия современной радиоэлектронной промышленности относятся к сложным наукоемким изделиям, к которым предъявляются высокие требования по обеспечению надежности функционирования с учетом влияния комплекса внешних воздействующих факторов.

Применение методов математического моделирования дает возможность проводить исследования физических процессов, протекающих в конструкциях и их элементах, и определять на этапе проектирования их динамические характеристики, которые, в свою очередь, являются основой для прогнозирования поведения изделия в заданных условиях эксплуатации [1, 2].

Поэтому, разработка программного обеспечения, способного проводить анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) исследуемой конструкции для выявления опасных резонансных частот в рабочем диапазоне является актуальной задачей.

В настоящее время существует различное программное обеспечение по моделированию внешних механических воздействий на конструкции бортовых радиоэлектронных средств. Наиболее распространенными являются:

- Программы «Balka» и «Beam» для расчета однопролетных статически определимых и многопролетных статически неопределимых 1D балок (стержней) Евгения Токарева (<http://beamcalc.ru>).

- Программа «Полюс» компании MechCad Software. (www.mechcad.net). «Полюс» позволяет проводить анализ статически определимых и неопределимых плоских конструкций. Строит эпюры продольных и поперечных усилий, крутящих моментов, перемещений узлов.

- Web ориентированные решения от Дмитрия Терехова, представленные на сайте sopromat.org.

- Конечно-элементное моделирование (например, ANSYS). При этом с относительной легкостью можно получить численное решение практически любой стержневой системы.

Подводя итог анализа программ моделирования воздействия внешних нагрузок на статические и динамические параметры стержней и стержневых конструкций можно сказать, что все они ориентированы на проведение расчетов для строительных сооружений и мало пригодны для проведения расчетов в области электроники [3]. Кроме того, наиболее функциональные программы не бесплатны.

Основным недостатком является построение АЧХ конструкции на основе результатов модального анализа, проводимого на различных частотах, что во-первых очень долго, а во-вторых есть возможность пропуска той или иной резонансной частоты.

Таким образом, следует сделать следующий вывод – разработка программы имитационного моделирования АЧХ стержневых конструкций, свободной от указанных недостатков, является актуальной задачей.

Стержневые конструкции могут совершать различные колебания. Для определения амплитуд, механических напряжений в элементах стержневых конструкций в процессе эксплуатации рассмотрим уравнение их движения при вынужденных колебаниях. Изгибные колебания в стержне, описываются однородным уравнением:

$$EJ \frac{\partial^4 \varpi}{\partial x^4} + \rho S \frac{\partial^2 \varpi}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $\varpi(x,t)$ – смещение точек стержня перпендикулярно упругой оси; E – модуль Юнга; J – момент инерции сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба; ρ – плотность материала; S – площадь поперечного сечения стержня.

Обозначая изгибную жесткость стержня как $C_s = EJ$, учтём потери энергии при колебаниях в виде диссипативной силы, пропорциональной скорости деформации и в правую часть добавим внешнюю силу $F(x, t)$, возбуждающую колебания и приложенную в точках крепления. Тогда уравнение вынужденных изгибных колебаний стержня запишется в виде:

$$C_s \frac{\partial^4 \varpi}{\partial x^4} + \eta \frac{\partial}{\partial t} C_s \frac{\partial^4 \varpi}{\partial x^4} + \rho S \frac{\partial^2 \varpi}{\partial t^2} = F(x, t), \quad (2)$$

где η – коэффициент вязкости материала.

В соответствии с методом конечных разностей заменим сплошной стержень совокупностью дискретных элементов с шагом разбиения по оси x , равным h_x . Массу каждого дискретного элемента сосредоточим в его центре – узле, лежащем на оси x ; силы взаимодействия между дискретными элементами заменяем упругими связями между узлами. Получим геометрическую дискретную модель стержня, состоящую из n узлов, соединенных упругими связями.

Заменив первую производную по времени в левой части (2) её разностным аналогом, и полагая, что $L(\omega) = \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4}$ запишем его в виде:

$$C_s L(\omega)_t + \frac{\eta}{\tau} [C_s L(\omega)_t - C_s L(\omega)_{t-\tau}] = -\rho S \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где τ – шаг дискретизации по времени, а сила $F(x, t)$ учитывается в начальных условиях.

Раскрыв скобки и сгруппировав подобные члены (3), получим:

$$-\left[\frac{(1 + \frac{\eta}{\tau})C_s}{\rho S} L(\omega)_t - \frac{\frac{\eta}{\tau} C_s}{\rho S} L(\omega)_{t-\tau} \right] = \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}, \quad (4)$$

Учитывая, что вторая производная от перемещения по времени есть ускорение a узла, запишем (4) в виде $a = \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}$ и, заменив вторую производную по времени разностным аналогом, получим:

$$-\tau^2 a = \omega_x(t + \tau) - 2\omega_x(t) + \omega_x(t - \tau).$$

Преобразуем (4) к виду явного разностного уравнения:

$$-\tau^2 a + 2\omega_x(t) - \omega_x(t - \tau) = \omega_x(t + \tau),$$

которое, будучи дополнено граничными и начальными условиями, образует явную разностную схему, которая в сочетании с геометрической моделью дает расчетную модель стержня.

Структурный состав программы позволяет пользователю ввести данные необходимые для проведения расчетов, просмотреть результаты и сохранить их в файл.

Основная программа содержит перечень всех используемых модулей и несколько исполняемых операторов, обеспечивающих создание нужных окон и связь программы с операционной системой Windows. Работоспособность программы обеспечивается кодом, содержащимся в отдельных модулях. Код процедур и функций располагается в исполняемой части модуля, которая может быть скрыта от пользователя.

Алгоритмическое обеспечение разработанной программы показано на рисунке 2. Порядок выполнения операторов соответствует решению математических уравнений подробно описанных в пункте 2 данной работы и соответствует предложенной структурной схеме программы.

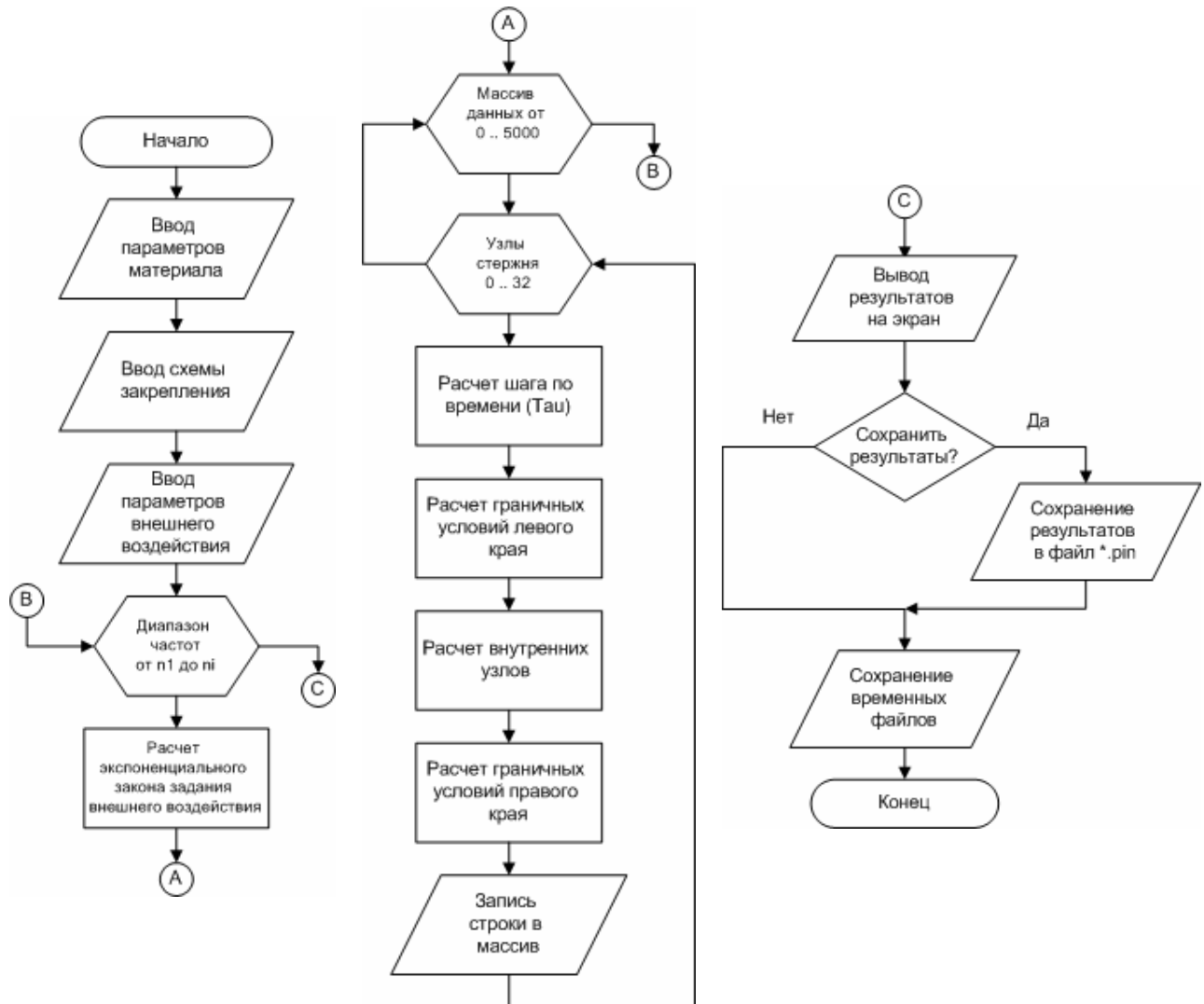


Рис. 2. Алгоритмическое обеспечение программы

Несмотря на то, что интерфейсы непрерывно совершенствовались в течение двух десятилетий, опубликованы руководства по созданию интерфейсов и созданы средства их разработки проблема совершенствования интерфейсов пользователя с учетом более глубоких познаний менталитета и психологии пользователя является актуальной. Тем более что проблема разработки однопользовательских интерфейсов еще не решена, а если индивидуальное взаимодействие с некоторой системой не проходит для пользователя легко и комфортно, то в результате этот недостаток будет негативно отражаться на качестве работы всей системы, независимо от того насколько она хороша в других своих проявлениях.

С учетом рассмотренных положений разработки интерфейса информационных систем, предложен интерфейс программы имитационного моделирования АЧХ стержневых конструкций радиотехнических устройств, показанный на рисунке 3.

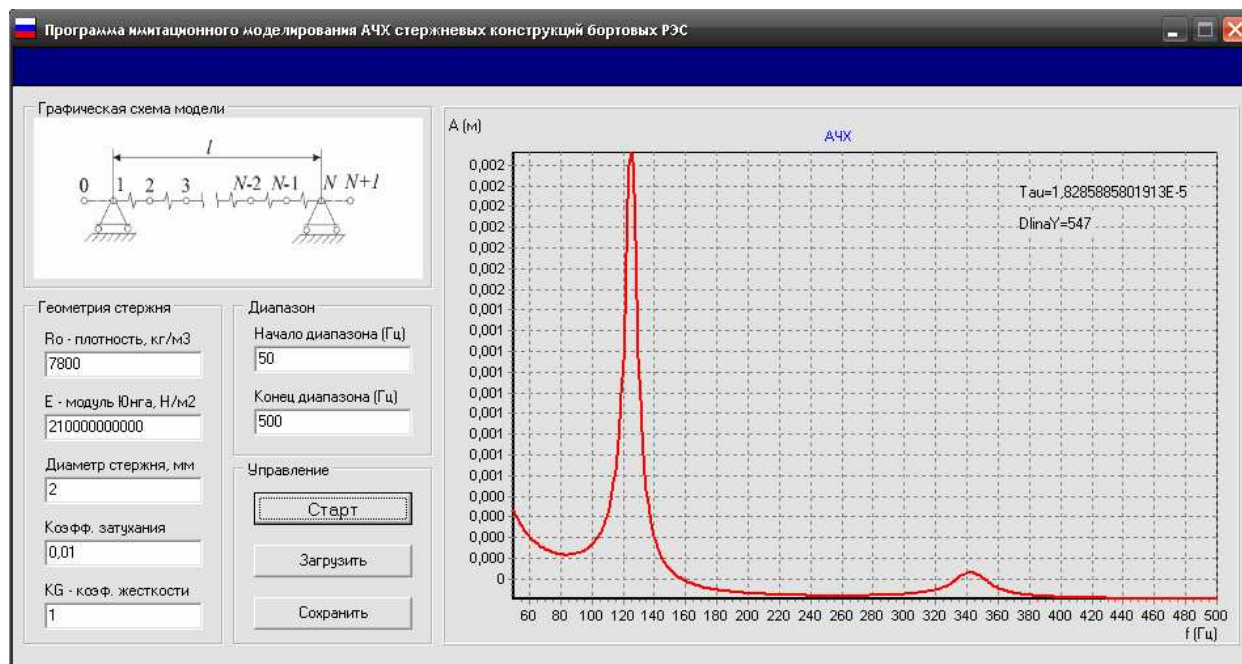


Рис. 3. Интерфейс программы имитационного моделирования АЧХ стержневых конструкций бортовых радиотехнических устройств

Применение методов математического моделирования дает возможность проводить исследования физических процессов, протекающих в конструкциях и их элементах, и определять на этапе проектирования их динамические характеристики, которые, в свою очередь, являются основой для прогнозирования поведения изделия в заданных условиях эксплуатации. Поэтому разработанное программное обеспечение, способное проводить анализ амплитудно-частотных характеристик исследуемой конструкции для выявления опасных резонансных частот в рабочем диапазоне является актуальным и востребованным.

Список литературы

1. Таньков Г.В., Трусков В.А., Затылкин А.В. Исследование моделей стержневых конструкций радиоэлектронных средств // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – С. 156-158.
2. Затылкин А.В., Таньков Г.В. Моделирование изгибных колебаний в стержневых конструкциях РЭС // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2006. – С. 320-323.
3. Затылкин А.В., Ольхов Д.В., Юрков Н.К. Система обработки экспериментальной информации в проектных исследованиях радиотехнических устройств // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 94-99.

Сведения об авторах:

Затылкин Александр Валентинович – к.т.н., начальник сектора АО «НПП «Рубин».

Научное периодическое издание

Механика и машиностроение. Наука и практика:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 7,27.

Подписано в печать 09.12.22г. Заказ №22-24.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/mimnip.html>
<https://doi.org/10.26160/2658-6185-2022-5>

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

Главный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru/spbf/>

E-mail: spbf@srcms.ru