XIV

Всероссийская
научно-практическая
конференция

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

СБОРНИК
МАТЕРИАЛОВ

Иваново 2023

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XIV ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ИВАНОВО, 13 АПРЕЛЯ 2023 г.

MACHINES AND MECHANISMS RELIABILITY AND DURABILITY

COLLECTION OF MATERIALS OF THE XIV th ALL-RUSSIA
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE IVANOVO, APRIL 13, 2023

Иваново 2023

УДК 621+614.842
ББК 30
Н 17

Надежность и долговечность машин и механизмов : сборник материалов
Н 17 XIV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2023 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – 397 с. – ISBN 978-5-907353-88-6

В сборнике опубликованы материалы выступлений и статьи участников конференции, отражающие результаты научных исследований по направлениям: повышение надежности и долговечности деталей, механизмов, агрегатов, машин; актуальные проблемы расчета и конструирования машин и механизмов; моделирование, управление, автоматизация проектирования механических систем; проблемы износа в машинах и механизмах.

Материалы сборника конференции предназначены для широкого круга научных и инженерно-технических работников, адъюнктов, аспирантов, курсантов и студентов, занимающихся вопросами повышения надежности и долговечности машин и механизмов, и могут быть использованы для совершенствования практической, научной и педагогической деятельности.

The collection contains materials of speeches and articles of conference participants, reflecting the results of scientific research in the following areas: improving the reliability and durability of parts, mechanisms, assemblies, machines; actual problems of calculation and design of machines and mechanisms; modeling, control, automation of the design of mechanical systems; wear problems in cars and mechanisms.

The materials of the conference collection are intended for a wide range of scientific and engineering-technical workers, adjuncts, graduate students, cadets and students involved in improving the reliability and durability of machines and mechanisms, and can be used to improve practical, scientific and educational activities.

УДК 621+614.842
ББК 30

ISBN 978-5-907353-88-6

© Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2023

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНИЗМОВ, АГРЕГАТОВ, МАШИН

УДК 67.03

В. В. Абразумов, С. В. Фролов, А. А. Зюзина
Академия государственной противопожарной службы МЧС России

РАЗРАБОТКА ОГНЕЗАЩИТНОГО ГЕРМЕТИКА НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОГО ГРАФИТА

Аннотация: рассмотрен принцип функционирования терморасширяющихся композиций, обладающих огнезащитными свойствами. Предложен состав огнезащитного терморасширяющегося герметика на основе окисленного графита и выполнены огневые испытания по определению его огнестойкости. Предложена конструкция огнезащитной муфты противопожарной проходки для прокладки силового электрического кабеля.

Ключевые слова: окисленный (интеркалированный) графит, пенококс, кремнеземная ткань, кабельная проходка, тепловой поток.

V. V. Abrazumov, S. V. Frolov, A. A. Zyuzina

DEVELOPMENT OF A FLAME RETARDANT SEALANT BASED ON OXIDIZED GRAPHITE

Abstract: the principle of functioning of thermally expanding compositions with flame-retardant properties is considered. The composition of a flame-retardant thermally expanding sealant based on oxidized graphite has been proposed and experimental studies have been carried out to determine its fire resistance.. The design of a fire-retardant coupling of a fire-fighting penetration for laying a power electric cable is proposed.

Keywords: oxidized (intercalated) graphite, foam coke, silica fabric, cable penetration, heat flow.

В современной практике строительства широкое применение нашла пассивная огнезащита, заключающаяся в изолировании поверхностей строительных конструкций от воздействия пламени при пожаре огнестойкими материалами или покрытиями. Покрытия представляют собой огнезащитные составы интусменцентного типа, в основе принципа действия которых лежит механизм терморасширения под действием теплового потока с образованием пенококса, который выполняет функцию барьера для распространения огня из-за его высокой огнестойкости и исключительно низкой теплопроводности. Такие составы на основе химических соединений успешно применяются для производства терморасширяющихся красок, эмалей и лаков, предназначенных для тепловой защиты металлических конструкций.

В строительстве для прокладки инженерных коммуникаций через перекрытия, перегородки и стены используются противопожарные проходки – монолитные или

© Абразумов В. В., Фролов С. В., Зюзина А. А., 2023

сборные системы, препятствующие распространению огня и дыма в примыкающие к очагам возгорания помещения.

Такие системы предполагают использование огнезащитных паст, герметиков или мастик, пределы огнестойкости которых должны соответствовать аналогичным характеристикам строительных конструкций.

При прокладке электрических линий через стены используются противопожарные кабельные проходки, представляющие собой гильзы, в которых зазоры между кабелями и проводами заполняются огнестойкими составами в виде герметиков. Противопожарная заделка кабельных проходок должна выдерживать эксплуатационные температуры, превышающие 200°С; при пожаре – прямой контакт с открытым пламенем и кратковременный нагрев до 1100°С; сохранять герметичность, исключающую проникновение в смежные помещения не только огня, но и дыма.

Кроме того, герметик должен обладать высокими адгезионными и диэлектрическими свойствами; быть экологически безопасным в процессе нанесения состава и при нагреве; иметь высокую степень эластичности и продолжительный срок эксплуатации.

Представленная в работе огнезащитная муфта для противопожарной кабельной проходки представляет собой многокомпонентный композит, основой которого является огнестойкая кремнеземная ткань, обладающая высокими показателями прочности, эластичности и огнестойкости до 1200° С. Компоненты огнестойкого состава, нанесенные на ткань, в процессе нагрева должны выполнять различные функции: выделять в процессе их деструкции газообразные вещества, пары воды и подавлять процесс горения; образовывать высокопористый кокс, обладающий низкой теплопроводностью; обеспечивать необходимую прочность и пластичность каркаса пенококса. Для этого в состав огнезащитного герметика вводятся терморасширяющиеся компоненты, наполнители и связующее вещество на водной или органической основах.

Недостатком огнестойких герметиков, особенно зарубежного производства, является их высокая стоимость. С целью повышения экономичности герметика для кабельных проходок в представленной работе рассмотрен огнезащитный состав, в качестве основного компонента которого использован терморасширяющийся окисленный графит. Достоинствами его являются достаточно низкая температура вспучивания, экологичность и невысокая стоимость по сравнению с другими терморасширяющимися соединениями.

Окисленный графит получают из природного графита, особенность которого заключается в том, что при высокотемпературном нагреве он образует углекислый газ и поэтому не поддерживает горение [1].

Графит обладает слоистой структурой. Каждый слой атомов представляет собой массив шестиугольников (гексагональная форма), расположенных один над другим (рис.1, а). Связь между атомами в слое ковалентная, а между слоями действуют слабые Ван-дер-Вальсовы силы, чем и обусловлена анизотропия свойств графита и склонность к охрупчиванию.

Слоистая структура графита позволяет внедрить в межслойное пространство атомы или молекулы другого компонента (интеркалята), в качестве которого могут быть использованы как чистые химические элементы, так и их соединения.

Процесс интеркалирования осуществляется внедрением в кристаллическую решетку графита молекул и ионов серной кислоты в присутствии окислителя (рис.1, б).

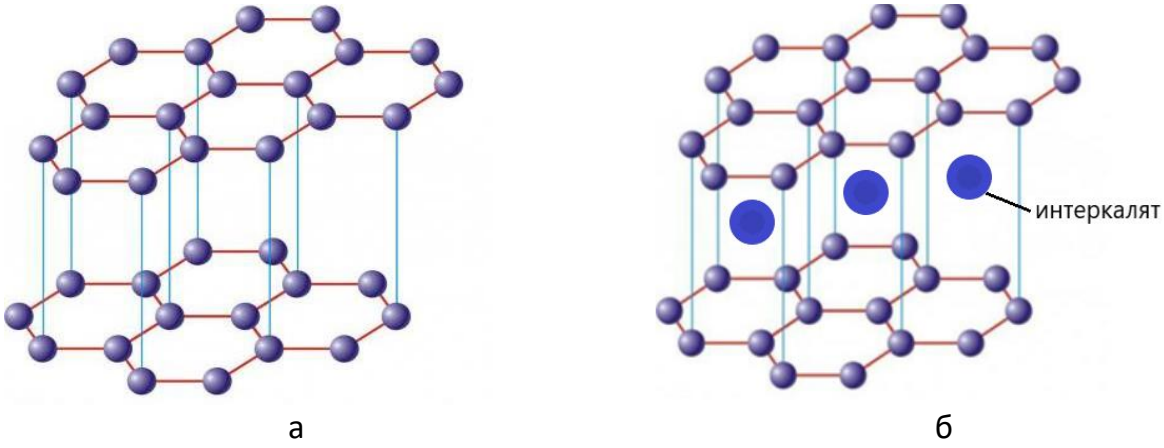


Рис. 1. Модель кристаллической решетки графита:
а – гексагонального; б – интеркалированного

В основе принципа терморасширения окисленного графита лежит процесс мгновенного испарения интеркалята при быстром нагреве его до высоких температур, следствием чего является расширение и изменение высоты графитовой частицы под действием давления паров.

В результате терморасширения образуются графитовые частицы «червеобразной» формы, представляющие собой углеродные пеноструктуры [2]. Такой графит называется терморасширенный графит (ТРГ) или пенографит (рис. 2.)

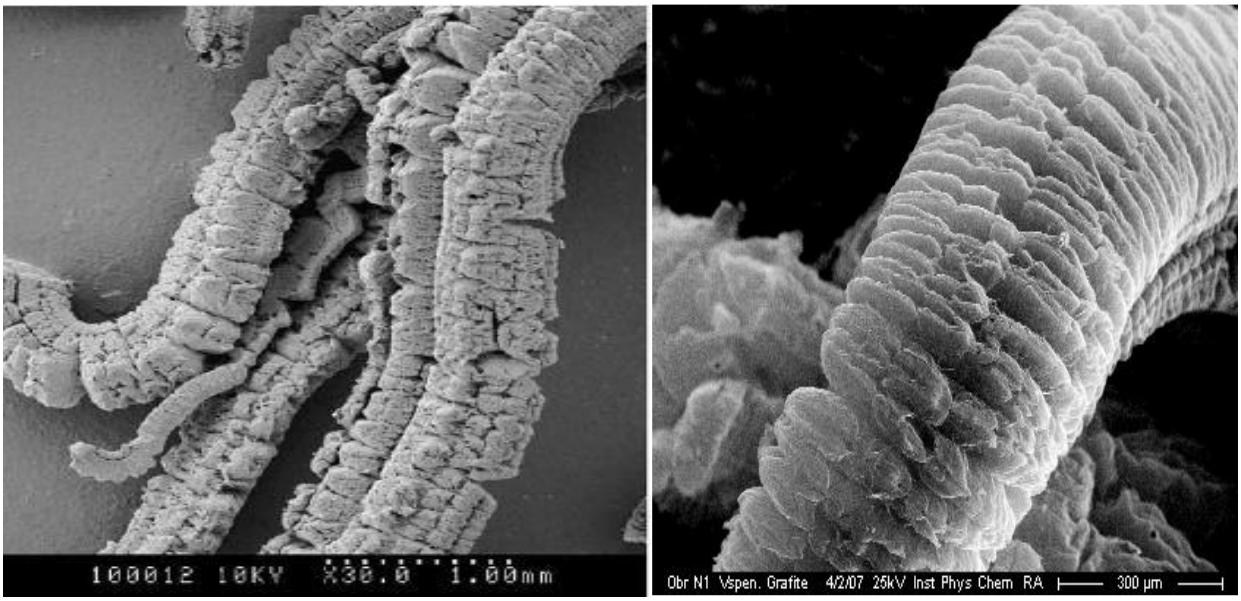


Рис. 2. Общий вид терморасширенного графита [2]

В качестве основного терморасширяющегося компонента использовался окисленный графит марки EG -250 (Китай), имеющий следующие характеристики: средний размер частиц – 80 мкм; температура начала вспучивания – 153 °С; объемный коэффициент вспучивания – 275.

С целью улучшения свойств герметика дополнительно в состав вводился терморасширяющийся полифосфат аммония, который представляет собой неорганическую соль фосфорной кислоты. Полифосфорная кислота при нагреве распадается с образованием летучего аммиака и паров воды, которые выполняют функцию замедлителя горения и пенообразователя, заставляющего герметик вспучиваться и образовывать слой пены [3, 4].

В качестве наполнителей использовались тригидрат оксида алюминия, мел природный дисперсный марки МТД-2 и древесная зола.

Тригидрат оксида алюминия ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) является замедлителем горения и выполняет функции наполнителя, антипирена и дымоподавляющей добавки [5]. Он содержит 34,6 % воды, которая при высоких температурах выделяется и поглощает значительное количество теплоты. Достоинством его также является то, что он не выделяет токсичных газов при воздействии высоких температур.

Мел природный состоит из карбоната кальция, некоторого количества карбоната магния и разнообразных оксидов металлов. Карбонат кальция повышает термическую стойкость и механическую прочность огнезащитного состава. Аналогичную функцию выполняет древесная зола, содержащая до 40 % карбоната кальция.

Связующее вещество предназначено для связывания компонентов порошковой смеси огнезащитного состава, в качестве которого в работе использована водная дисперсия поливинилацетата. Она обладает хорошими адгезионными свойствами ко многим материалам, сравнительно невысокой стоимостью и, что очень важно, высокими экологическими свойствами.

На основе анализа литературных данных, а также с учетом особенностей работы огнестойкого герметика в противопожарных проходках в качестве объекта исследования был выбран следующий состав, в масс. долях: графит окисленный EG-250 – 60; полифосфат аммония марки APP-201 – 40; тригидрат оксида алюминия – 7; мел дисперсный МТД-2 –12; зола древесная –20; поливиниацетатная дисперсия – 25; растворитель – вода.

Для оценки степени расширения огнезащитного состава в зависимости от толщины слоя определялся коэффициент вспучивания в соответствии с требованиями руководства по оценке качества огнезащиты [6].

Огневые испытания противопожарной кабельной проходки для электрического кабеля производились на образце перегородки, выполненной из газосиликатного блока толщиной 50 мм. Для этого в отверстие диаметром 50 мм устанавливается стальная гильза, в которой прокладывается силовой кабель марки ВВГ НГ 4х10 мм^2 с закрепленной на нём огнезащитной муфтой.

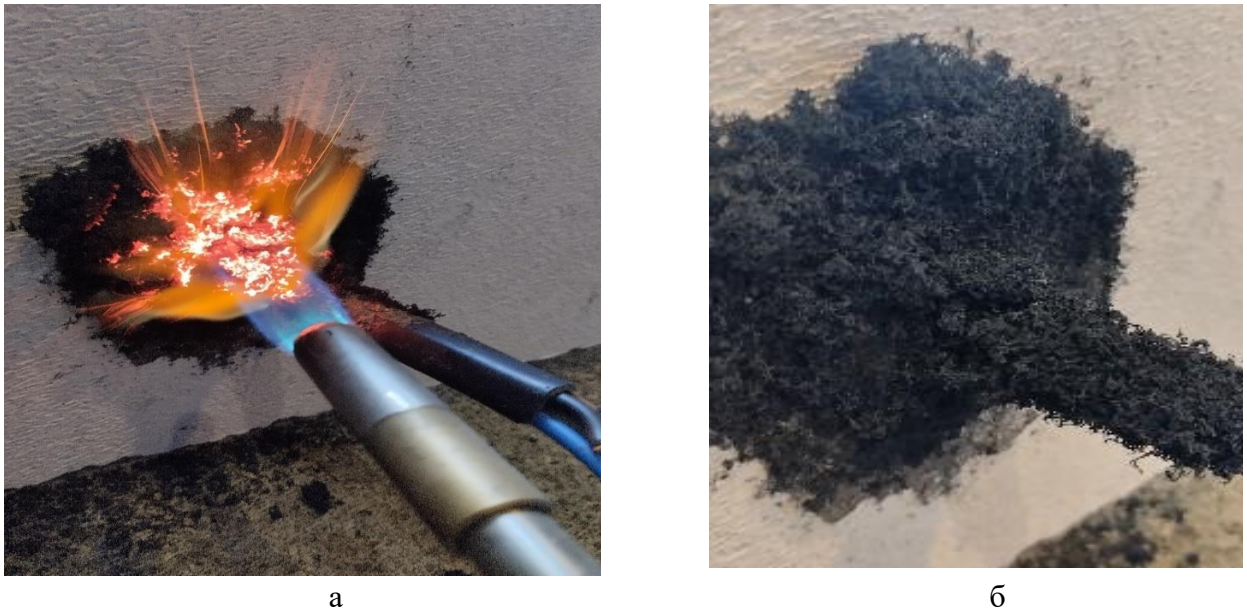
Огнезащитная муфта выполнена в виде спиральной навивки ленты из кремнеземной ткани марки КТ11-300 на поверхности кабеля и установлена в отверстие образца (рис. 3). На ленту и на кабель предварительно наносился кисточкой слой огнезащитного герметика толщиной 0,7…1,2 мм. Сушка производилась при температуре 40 ºС в течении 4 часов. Для дополнительной герметизации соединения на цилиндрическую и торцовую поверхности муфты наносился огнезащитный герметик.

а б

Рис. 3. Внешний вид кабельной проходки:
а – вход кабеля; б – выход кабеля

Образец перегородки с установленным в нём кабелем подвергался сушке при комнатной температуре в течении 24 часов.

Огневые испытания кабельной проходки проводились открытым пламенем газовой горелки (рис. 4, а).



а б

Рис. 4. Огневое испытание проходки пламенем газовой горелки

На «горячей стороне» кабельной проходки в результате вспенивания огнезащитного состава образуется пенококсовый слой, который представляет собой своеобразную «шубу» на поверхности кабеля и на входной части кабельной проходки (рис. 4, б).

Оценка эффективности огнезащиты кабельной проходки производилась визуальным осмотром горячей и холодной сторон образца.

Заключение

Предложенный состав огнезащитного герметика и конструкция кабельной проходки позволяют исключить проникновения пламени в смежное помещение в течении определенного периода времени.

Достоинством конструкции предложенной проходки является применение огнестойкой ленты из кремнеземной ткани, которая длительное время может работать при температуре нагрева до 1000 ºС.

Герметичность огнестойкой муфты, исключающая проникновение дыма, обеспечивается в результате действия давления, создаваемого между слоями ленты вследствие терморасширения герметика и повышающего плотность пенококса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Фиалков, А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе М.: Аспект-пресс, 1997. 717 с.

2.Сорокина Н.Е., Авдеев В.В., Тихомиров А.С. и др. Композиционные материалы на основе интеркалированного графита: учеб. пособие. - М.: Изд-во МГУ, 2010. - 50 с.

3. Ненахов, С.А. Физикохимия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. Литературный обзор / С.А. Ненахов, В.П. Пименова // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – №8. – С. 11-58.

4.Полифосфат аммония [Электронный ресурс] / Режим доступа https://ru.made-in-china.com/co_millywang

5. Ненахов С.А. Влияние наполнителей на структуры пенококса на основе полифосфата аммония / Пименова В.П., Натейкина Л.И. // Пожаро – взрывобезопасность. 2009. №7.

6. Руководство по оценке качества огнезащиты и установления вида огнезащитных покрытий на объектах. М.: ВНИИПО, 2011.

УДК 629.1.04

В. А. Альбах, Л. Н. Молотков
ТГПУ им. Л. Н. Толстого

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВПРЫСКА ТОПЛИВА FOXINJ

Аннотация: В статье рассмотрена проблема карбюраторных двигателей и износа системы дозирования топлива, проведен анализ проблемы, предложена система замена карбюраторов без изменения конструкции двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: карбюратор, система впрыска, топливо, двигатель, система впрыска.

V.A Albakh, L.N Molotkov

FOXINJ UNIVERSAL FUEL INJECTION SYSTEM

Abstract: The article considers the problem of carburetor engines and the wear of the fuel metering system, analyzes the problem, and proposes a system for replacing carburetors without changing the design of the internal combustion engine.

Keywords: carburetor, injection system, fuel, engine, injection system.

На данный момент широкое распространение до сих пор имеет карбюраторная техника, основной проблемой при данном способе смесеобразования является временной износ карбюраторов, рем-комплекты дают возможность менять внутренние части данного узла, но не решают проблему износа самого корпуса карбюратора. Таким образом, часто встречаемой проблемой является износ посадочных мест осей дроссельных заслонок, что приводит к подсосу воздуха и неправильному смесеобразованию в режимах холостого хода, а также некорректному смесеобразованию в переходных режимах. В таком случае восстановление не всегда возможно, а новые детали стоят дорого или не выпускаются, отсутствуют в продаже. Установка карбюраторов других моделей зачастую конструктивно недопустима, а также приводит к потерям мощности и сложностям в настройке. Бедная топливовоздушная смесь негативно влияет на двигатель, приводит к его перегреву, быстрому износу и выходу из строя.

Установка ЭБУ и инжекторной системы впрыска требует замены штатной проводки, установки дополнительных датчиков, внесения изменений в конструкцию двигателя. Для решения данной проблемы была разработана универсальная система впрыска FoxInj. Это электронная система управления впрыском топлива на базе платы Arduino[3] с микроконтроллером atmega328p [2] (рисунок).

© Альбах В. А., Молотков Л. Н., 2023

Рисунок. Плата управления впрыском.

Система подключается к штатному зажиганию транспортного средства и ориентируется по сигналу катушек зажигания, что не требует замены штатной проводки. Установка выносного бензонасоса и регулятора давления топлива не требует полной замены топливных магистралей. Открытое и доступное программное обеспечение ArduinoIDE позволяет создавать и корректировать код без дорогостоящего оборудования и программ. Низкая цена, отсутствие большого количества датчиков, всё это делает ее надежной в применении и доступной для пользователя. Предусмотренные режимы аварийной работы позволяют сохранить работоспособность, даже если один из датчиков вышел из строя.

В отличие от карбюратора(где зачастую для получения качественной воздушно-топливной смеси необходим подбор жиклеров, замена игл дозирования топлива), в системе FoxInj, опираясь на сигнал дроссельной заслонки, разрежение воздуха, температуру двигателя, возможно, изменять время открытия форсунки, что позволит регулировать качество топливовоздушной смеси намного проще, быстрее и в более точных диапазонах.

Таким образом, используя заводские запчасти, имеющиеся в открытой продаже и доступные по цене, возможно произвести не только ремонт транспортного средства, но и улучшить его характеристики, например снизить расход топлива, за счет отключения его подачи в режимах торможения двигателем, облегчить холодный запуск корректировкой смеси по температуре двигателя, или предпусковому впрыску[1]. Имея не высокую себестоимость запасных частей, а так же низкую стоимость контроллеров, FoxInj позволяет произвести замену устаревшей карбюраторной системы питания на более современную, схожую по работе с инжекторными автомобилями и мотоциклами, не изменяя конструкцию самого двигателя.

На данный момент FoxInj установлена на мотоцикле Honda Pacific Coast 800cc взамен вышедших из строя карбюраторов. За 5000км пробега данная система впрыска показала себя уверенно, решилась проблема бедной топливной смеси, мотоцикл перестал перегреваться, а также стабильнее работать в режимах повышенных температурных нагрузок. Улучшился пуск двигателя в холодную погоду, в режиме холостого хода отмечается стабильная работа двигателя с

удержанием оборотов на одном уровне. В перспективе планируется установка FoxInj на мотоциклетные двигатели различных конфигураций: двухцилиндровые оппозитные (ИМЗ «Урал»), популярные одноцилиндровые двигатели китайского производства(серии 170FMM, 166FML) . Дальнейшая разработка системы и объединение всех узлов в один корпус позволит устанавливать ее без лишних усилий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гирявец А.К Теория управления автомобильным бензиновым двигателем // Стройиздат. 2018 №1 С. 67-68.
2. Интернет источник Datasheet atmega 328p. www.static.chipdip.ru/lib/549/DOC001549488.pdf №2
3. Монк С. Профессиональная работа со скетчами // Питер. 2017 №3 С. 251.

УДК 621.391.883

К. А. Батенков
РТУ МИРЭА

СХЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ ОШИБОК В ЦИФРОВОМ ТРАКТЕ

Аннотация: В работе указывается, что в процессе эксплуатации (при передаче пользовательской информации) обнаружение ошибок в цифровой передаче возможно с использованием специальных механизмов обнаружения ошибок. Приведены примеры событий ошибок в цифровом канале.

Ключевые слова: коэффициент ошибочных битов, механизм обнаружения ошибок, цифровая система передач, секунда с ошибками.

K. A. Batenkov

SCHEMES FOR REGISTERING ERROR EVENTS IN DIGITAL PATH

Abstracts: The paper indicates that during operation (when transmitting user information), the detection of errors in digital transmission is possible using special error detection mechanisms. Examples of error events in the digital channel are given.

Keywords: error bit rate, error detection mechanism, digital transmission system, second with errors

© Батенков К. А., 2023

Коэффициент ошибочных битов измеряется только на известных структурах битовых последовательностей. По этой причине измерения данного коэффициента выполняются с использованием четко определенных псевдослучайных двоичных последовательностей (PRBS – pseudorandom binary sequence). На практике псевдослучайные двоичные последовательности заменяют информацию, передаваемую при предоставлении услуги. Таким образом, коэффициент ошибочных битов измеряется при отключении канала, поскольку битовая структура произвольного сообщения обычно неизвестна.

В процессе эксплуатации (при передаче пользовательской информации) обнаружение ошибок в цифровой передаче возможно с использованием специальных механизмов обнаружения ошибок (EDC – error detection code – код с обнаружением ошибок).

Примерами таких внутренних механизмов являются контроль циклическим избыточным кодом (CRC – cyclic redundance check), контроль чётности (parity check) и контроль четности с чередованием по битам (BIP – bit interleaved parity). Механизмы обнаружения ошибок способны обнаруживать наличие одной или нескольких ошибок, появляющихся в заданной последовательности битов – блоке. Обычно невозможно определить точное количество ошибочных битов в блоке.

События ошибок в цифровом канале (рис. 1) [1]:

– секунда с ошибками s_e (ES – errored second) – односекундный период, в течение которого приняты один или несколько ошибочных битов, или в течение которого фиксируется потеря сигнала (LOS – loss of signal) или сигнал индикации тревоги (AIS – alarm indication signal).

– секунда с существенными ошибками s_s (SES – Severely Errored Second) – период в 1 секунду, имеющий коэффициент битовых ошибок, превышающий 0,001 или, или в течение которого фиксируется потеря сигнала (LOS) или сигнал индикации тревоги (AIS).

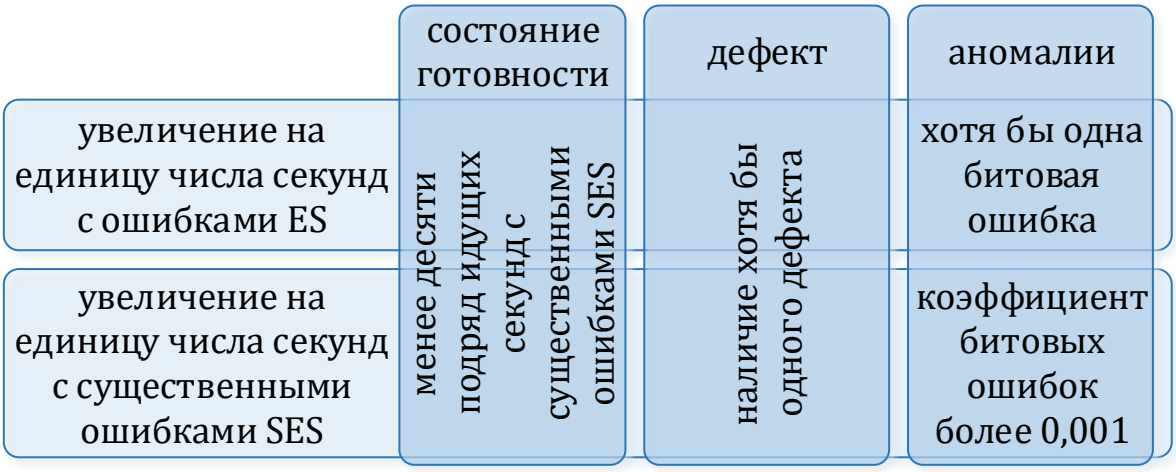


Рис. 1. Схема регистрации событий ошибок в цифровом канале

События ошибок в цифровом тракте (рис. **2**) [1]:

– *блок с ошибками* b_m (*EB – errored block*) – блок, в котором один или несколько битов приняты с ошибками;

– *секунда с ошибками* s_e (*ES – errored second*) – односекундный период, в течение которого приняты один или несколько ошибочных блоков, или, по крайней мере, с одним дефектом;

– *секунда с существенными ошибками* s_s (*SES – Severely Errored Second*) – период в 1 секунду, содержащий более 30 % блоков с ошибками, или, по крайней мере, с одним дефектом; SES – это подмножество ES;

– *блок с фоновыми ошибками* b_b (*BBE – background block error*): блок с ошибками, не являющийся частью секунд s_s с существенными ошибками SES;

– *период с существенными ошибками* t_p (*SEP – severely errored period*) – последовательность от 3 до 9 последовательных секунд с существенными ошибками SES, период завершается секундой, которая не является секундой с существенными ошибками SES [2].

Непрерывный поток секунд с существенными ошибками может быть предвестником периодов неготовности (unavailability). Периоды последовательных секунд с существенными ошибками длительностью T секунд ($2 \leq T < 10$) (некоторые операторы считают эти события "сбоями"), могут оказать серьезное влияние на обслуживание, например привести и разъединению коммутируемых служб [3, 4, 5].

Вторым наиболее часто используемым параметром (вторым по важности после коэффициента ошибочных битов) при анализе цифровых каналов является количество секунд с ошибками ES. Этот параметр является крайне важным для операторов цифровых систем передачи, поскольку определяет долю общего времени, в течение которого канал является свободным от ошибок [6].

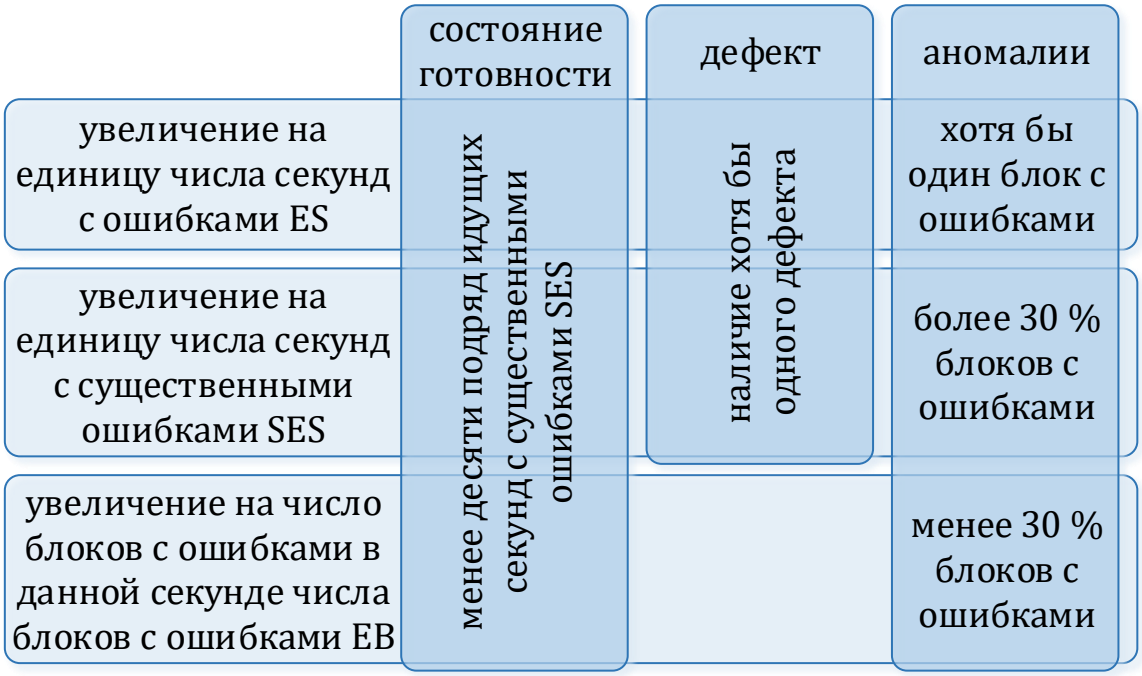


Рис. 2. Схема регистрации событий ошибок в цифровом тракте

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rec. G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections. – 2002–12. – Geneva : ITU-T, 2002. – 34 p.

2. Rec. G.828. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths. – 2000–03. – Geneva : ITU-T, 2001. – 24 p.

3. Батенков К.А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. С. 604.

4. Батенков К.А. Моделирование непрерывных каналов связи в форме операторов преобразования некоторых пространств // Труды СПИИРАН. 2014. № 1 (32). С. 171-198.

5. Батенков А.А., Батенков К.А., Фокин А.Б. Формирование сечений телекоммуникационных сетей для анализа их устойчивости с различными мерами связности // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 2. С. 371-406.

6. Бакланов И. Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-трендз, 1999. – 204 с.

УДК 620.193

С. К. Безносов, Е. Н. Тужиков
Уральский институт ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ РАЗРУШЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ, ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВУЮ СРЕДУ

Аннотация: в статье рассматриваются основные причины разрушения трубопроводов, перекачивающих нефтепромысловые среды. В результате проведенных металлографических исследований, включающих фрактографический анализ, определение химического состава металла фрагмента трубопровода, механические испытания, металлографические исследования макро- и микроструктуры материала, а также анализ фазового состава отложений продуктов коррозии сделаны выводы о причинах отказа трубопровода. Приводятся рекомендации по дальнейшей эксплуатации трубопровода.

Ключевые слова: коррозия, трубопровод, нефть, разрушение.

S. K. Beznosov, E. N. Tuzhikov

ON THE ISSUE OF THE CAUSES OF DESTRUCTION OF PIPELINES PUMPING OILFIELD MEDIA

Abstracts: the article discusses the main causes of the destruction of pipelines pumping oilfield media. As a result of metallographic studies, including fractographic analysis, determination of the chemical composition of the metal of the pipeline fragment, mechanical tests, metallographic studies of the macro- and microstructure of the material, as well as analysis of the phase

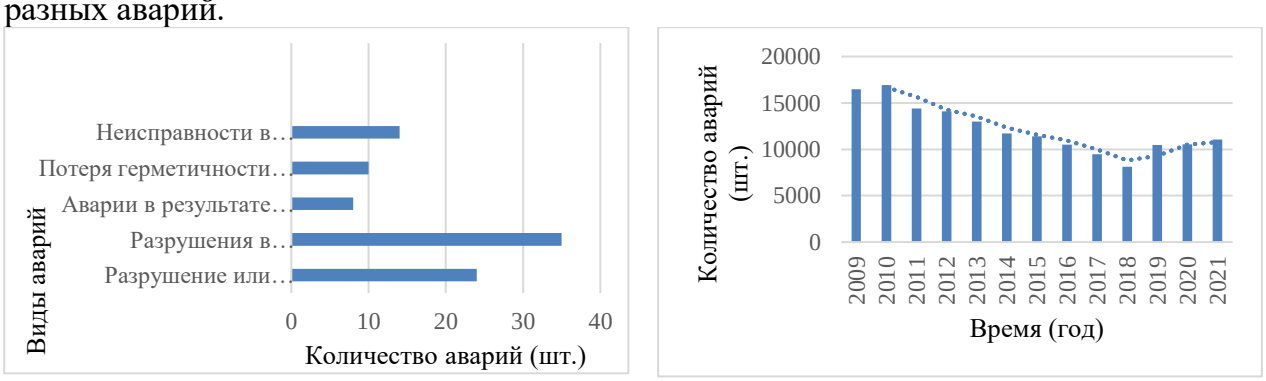
© Безносов С. К., Тужиков Е. Н., 2023

composition of deposits of corrosion products, conclusions were made about the causes of pipeline failure. Recommendations for further operation of the pipeline are given.

Keywords: corrosion, pipeline, oil, destruction.

На нефтедобывающих предприятиях протекают такие процессы как: добыча нефти, переработка, транспортировка, хранение и так далее. И на каждом из этих этапов, человек сталкивается с различными проблемами, которые несут за собой определенные последствия. Добыча и переработка нефти являются самыми трудными в этой цепи. С помощью специального оборудования, нефть добывают и отправляют на переработку с помощью подземных и наземных трубопроводов, здесь начинаются вышеупомянутые проблемы. Самой акцентированной проблемой на данном этапе будет являться коррозия.

Из определения, коррозия является реакционным воздействием металла с окружающей средой, что в последствии, приводит к его разрушению [1]. Но, рассматривая нефтедобывающее оборудование, его узлы, которые в большей степени подвержены коррозии, а также трубопроводы, она может вызываться и рабочими факторами. Такие факторы, в большинстве случаев, очень трудно контролировать. Помимо этого, коррозия отличается от других видов разрушения тем, что она протекает при абсолютно разнообразных условия, что делает ее ещё более опасной. Эта проблема является причиной многочисленных убытков ресурса каждый год, а также причиной разных аварий.



а б

Рис. 1. Причины аварий на трубопроводах:
а – общая статистика по причинам аварий на нефтедобывающих объектах;
б – аварии на трубопроводах из-за коррозии металла

Рассматривая общую статистику причин аварий на нефтедобывающих предприятиях (рис. 1а), можно увидеть, что разрушения в следствии воздействия коррозии захватывают практически тридцать процентов от общего их количества [2], что делает эту проблему по-настоящему актуальной. На графике аварий на трубопроводе (рис. 1б) наблюдаем, что с 2010 года достигнуто максимальное количество аварий, которое до 2018 года уменьшается, а в последующие года снова идет на увеличение, эту зависимость описывает точечная линия, указанная на рисунке.

Далее идет описание порядка определения причин разрушения трубопровода, перекачивающего нефтяные продукты, на основе определения и количественного содержания коррозионно-активных компонентов, металлографического исследова-

ния фрагмента трубопровода, а также описание рекомендаций по повышению эффективности противокоррозионных мероприятий, а также улучшение коррозионной ситуации.

В ходе проведенного исследования причин разрушения трубопровода были определены коррозионные факторы перекачиваемых сред, определен химический состав материала и его механические свойства. Проведены фрактографический анализ, металлографические исследования макро – и микроструктуры материала, а также анализ фазового состава отложений продуктов коррозии. По итогу сформулированы рекомендации по улучшению коррозионной ситуации.

В качестве исследуемого образца взяли фрагмент трубопровода из Мишкинского месторождения, Удмуртской Республики, Воткинского района.

Описание технологических характеристик трубопровода приведено в табл. 1.

Трубопровод имеет внутреннее (двухкомпонентная эпоксидная грунт-эмаль «ТРЭПП-ТР») и наружное антикоррозионное покрытие (экструдированный полиэтилен).

Использование пресных поверхностных вод на большинстве объектов привело к заражению продуктивных пластов сульфавосстанавливающими бактериями и к наличию в добываемых и перекачиваемых средах сероводорода – наиболее коррозионно-активного компонента. В связи с этим основным направлением коррозионного мониторинга является контроль уровня зараженности нефтепромысловых сред сульфатвосстанавливающими бактериями и содержания сероводорода в пластовых и подтоварных водах.

Таблица 1. **Описание технологических характеристик**

Месторождение	Наименование трубопровода	Протяженность, км	Диаметр и толщина стенки, мм	Год ввода	Материал	Тип перекачиваемой жидкости	$Q_{ж}$, $м^3$/сут	Обводненность, %	Qн, Т/сут	Р, рабочее Атм	Т, °с
Миш-кинское	Трубопровод	8,541	325х8	2013	Ст.20	водонефтя-ная эмульсия	6000	72	1400	12	12

Оптимальным методом защиты от коррозии оборудования является применение химических реагентов - ингибиторов коррозии и комплексных ингибиторов-бактерицидов.

Данные по содержанию коррозионно-опасных компонентов перекачиваемой среды представлены в табл. 2.

Таблица 2. **Коррозионно-опасные компоненты перекачиваемой среды**

Параметр	Значение
H_2S, мг/л	54,8
СВБ, кл/ $см^3$	10
Марка применяемого ИК	Cortron R-5603
Остаточное содержание ингибитора коррозии, мг/л	8,9

В ходе металлографического исследования выявлено, что диаметр трубопровода составляет 325 мм, толщина стенки 8 мм. На внешней поверхности трубы наблюдается отверстие диаметром 17 мм. На внутренней поверхности помимо сквозного отверстия наблюдается питтинговая коррозия. Питтинги расположены на одной линии с отверстием диаметром до 57 мм (рис. 2).

а б

Рис. 2. Фрагмента трубопровода:
а – общий вид трубопровода; б – коррозионные питтинги на внутренней поверхности (показаны стрелками)

При вырезке разрушенного фрагмента было установлено, что повреждение развивалось с внутренней поверхности трубы (рис. 3).

а б

Рис. 3. Фрагмент трубопровода со сквозным отверстием:
а– коррозионные питтинги на внутренней поверхности;
б – сквозное отверстие

Результаты химического состава материала фрагмента трубопровода приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Результаты состава материала фрагмента трубопровода**

№	Содержание химических элементов*, % масс.							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
фрагмент трубопровода	0,205	0,17	0,49	0,008	0,013	0,59	0,15	0,18
Сталь 20 по ГОСТ 1050-2013	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	≤0,03	≤0,035	≤0,25	≤0,3	≤0,3

* Fe – основа.

По результатам химического состава материала фрагмент трубопровода соответствует стали типа 20 согласно ГОСТ 1050-2013 [3] с повышенным содержанием Cr.

Испытания на определение механических свойств на соответствие ТУ 1317-233-00147016-02 [4] проведены на образцах, вырезанных из фрагмента трубопровода. Механические свойства материала фрагмента трубопровода соответствуют требованиям ГОСТ 20295-85 [5]. Средняя твердость фрагмента трубопровода составляет 145 HBW.

Исследование микроструктуры металла проводили на металлографических шлифах после травления в 5% растворе HNO_3 с применением оптического микроскопа при увеличениях х100 и х500 крат по ГОСТ 5639-82 [6].

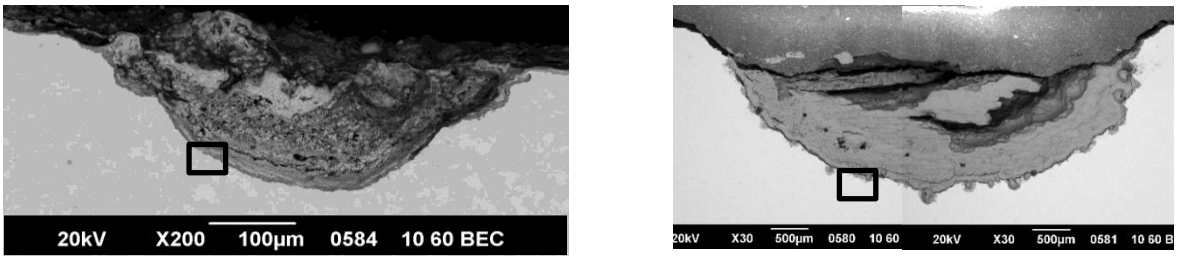
Величину зерна определяли по методу сравнения с эталонными шкалами на поперечных микрошлифах [6, приложение 2]. Величина зерна соответствует баллу 9.

Оценку величины полосчатости проводили по ГОСТ 5640-2020 [7], шкала 3 «описание микроструктуры для оценки феррито-перлитной полосчатости». Величина полосчатости соответствует 3 баллу.

Качество макроструктуры металла оценивали визуально по ГОСТ 10243-75 [8] по методу серного отпечатка (метод Баумана), приложение 5, на поперечном темплете фрагмента трубопровода, вырезанном вне зоны образования дефектов. Серный отпечаток снимали наложением фотографической бумаги (Унибром ГОСТ 10752-79 [9], предварительно замоченной в 5%-ном растворе серной кислоты) на поверхность шлифованного темплета.

В результате визуального анализа полученного серного отпечатка (по Бауману) установлено, что распределение серы по всему сечению трубы, имеет равномерный характер, какие-либо недопустимые дефекты типа флокенов, расслоений, трещин, корочек, остатков усадочных раковин и ликваций отсутствуют.

Также проведен качественный рентгеноспектральный микроанализ на микрошлифах, изготовленных в сечениях, проходящих через питтинги и через отверстие. Исследование показало, что продуктами коррозии являются сульфид, хлорид и оксид железа, других химических элементов, за исключением входящих в состав материала, не выявлено (рис. 4). На внутренней поверхности трубы, как вдали от коррозионных поражений, так и вблизи от них не наблюдается наличия изоляционного антикоррозионного покрытия.



а б

Рис. 4. Качественный рентгеноспектральный микроанализ: а, б – общий вид питтингов

В результате исследований сред согласно РД 39-0147103-362-86 [10] по степени агрессивного воздействия перекачиваемая среда относится к сильноагрессивной (наличие сероводорода).

Механические свойства (σв, σт, δ5,) материала фрагмента трубопровода соответствуют требованиям ГОСТ 20295-85 [5].

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что причиной разрушения трубопровода произошло от коррозионных поражений на внутренней поверхности, сформированных при взаимодействии материала трубы с водонефтяной эмульсией в связи с отсутствием изоляционного антикоррозионного покрытия.

Таким образом, по причине высокой агрессивности перекачиваемой среды и возможного отсутствия внутренней антикоррозионной изоляции в других участках трубопровода, необходимо продолжать постоянную закачку ингибитора коррозии в эффективной дозировке для снижения скорости внутренней коррозии трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории коррозии металлов и способы защиты от нее. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nauka.club/materialovedenie/osnovy-teorii-korrozii-metallov-i-sposoby-zashchity-ot-nee.html. (Дата обращения: 23.03.2023).

2. Коррозия накопленным итогом, или нефть в разлив. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.interfax.ru/business/743769. (Дата обращения: 23.03.2023).

3. ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2015.

4. ТУ 1317-233-00147016-02 Трубы бесшовные горячедеформированные нефтегазопроводные повышенной надежности при эксплуатации для месторождений ОАО «ТОМСКНЕФТЬ» ВНК. – М.: Издательство, 2002.

5. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1987.

6. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: Издательство стандартов, 1983.

7. ГОСТ 5640-2020 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры проката стального плоского. – М.: Издательство стандартов, 2021.

8. ГОСТ 10243-75 Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры. – М.: Издательство стандартов, 1978.

9. ГОСТ 10752-79 Бумага фотографическая «Унибром». Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1981.

10. РД 39-0147103-362-86 Руководство по применению антикоррозионных мероприятий при составлении проектов обустройства и реконструкции объектов нефтяных месторождений. – М.: Издательство стандартов, 1987.

УДК 622.23.08.

Д. А. Бекташов, О. В. Блинов, В. А. Годлевский
Ивановский государственный политехнический университет

КОМПЬЮТЕРНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Аннотация. Решение большинства задач, связанных с оценкой уровня надежности технологического оборудования, применяемого в промышленности, режущего инструмента и т.д., всегда сопряжено со сбором статистических данных об отказах, возникающих в процессе эксплуатации. Для ускорения расчетов создаются алгоритмы и компьютерные программы, которые установливают законы распределения и статистические параметры надежности технических объектов

Ключевые слова*:* надежность, экспоненциальный закон, программа.

D. A. Bektashov, O. V. Blinov, V. A. Godlevskiy

COMPUTER CALCULATION OF TECHNICAL OBJECTS MAIN RELIABILITY PARAMETERS UNDER CONDITIONS OF OBSERVED RANDOM VALUE EXPONENTIAL DISTRIBUTION LAW

Abstract*:* The solution of most problems related to the assessment of the level of technological equipment used in industry, cutting tools, etc. reliability, is always associated with the collection of statistical data on failures that occur during operation. To speed up calculations, algorithms and computer programs are created that establish distribution laws and statistical parameters of the reliability of technical objects.

Keywords: reliability, exponential law, program.

Экспоненциальный закон распределения находит широкое применение при решении практических вопросов надежности. Этому виду распределения подчиняется наработка на отказ ремонтируемых и неремонтируемых изделий при рассмотрении внезапных отказов, а также время безотказной работы сложных систем, прошедших период приработки и состоящих из элементов с различной интенсивностью отказов [1]. При экспоненциальном законе распределения времени возникновения отказов имеют место следующие зависимости между основными количественными характеристиками надежности [1–7]. Плотность вероятности (дифференциальная функция) времени между отказами определяется на основании формулы [2]:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$$

где λ — интенсивность отказов (параметр распределения); t — время безотказной работы (случайная величина).

© Бекташов Д. А., Блинов О. В., Годлевский В. А., 2023

Вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P(t) = \exp(-\lambda t)$$

Вероятность отказа определяется согласно:

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

Интенсивность отказов определяется по формуле:

$$\lambda(t) = 1/T_o$$

Экспоненциальный закон распределения чаще других применяется при определении надежности сложных производственных систем, состоящих из разнородных элементов с различными λ-характеристиками и работающих в условиях тяжелых механических и климатических нагрузок. К таким производственным системам относятся, например, пожарные автомобили и пожарно-техническое оборудование, технологические машины предприятий, режущий инструмент и т.п. Кроме того, при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы значительно упрощаются расчеты по определению количественных характеристик надежности, а это является немаловажным фактором при исследовании систем с большим количеством разнотипных элементов [1].

На этапе математической формулировки условие задачи задается в виде уравнений или формул, необходимых для ее решения. На этапе выбора метода вычислений математическая формулировка преобразуется в процедуру решения задачи, представляющую собой последовательность действий и логических связей между ними. Общую задачу обработки статистических данных, полученных в ходе испытаний на надежность, можно разбить на ряд частных задач:

- определение величины частного интервала;
- построение интервального вариационного ряда и определение частоты попадания случайной величины в частный интервал;
- расчет накопленных частот и частностей;
- расчет числовых характеристик распределения;
- расчет всех параметров экспоненциального закона распределения;
- построение графических зависимостей.

В качестве примера для демонстрации разработанной нами вычислительной программы возьмем результаты измерений наработки на отказ минералокерамического режущего инструмента. Были проведены стойкостные испытания, на основании которых, определялся закон распределения и рассчитывались основные показатели надежности. Так, исследовали процесс резания (чистовое точение) инструментом из минералокерамики ВОК-71. В качестве обрабатываемого материала использовалась инструментальная закаленная сталь У8. Использовали режимы резания t = 0,25 мм, S = 0,1 мм/об, V = 600 м/мин. В результате эксперимента был получен следующий вариационный ряд времеи стойкости режущего инструмента : 99, 109, 9, 120, 21, 47, 24, 14, 72, 35, 8, 11, 235, 9, 42, 65, 438,107, 13, 17, 59, 107, 327, 109, 6 с.

Определяем размах вариации:

$$R = |t_{max} - t_{min}| = 438\text{-}6 = 432$$

где t_{max} — максимальное значение варианта признака в полученном вариационном поле; t_{min} — минимальное значение варианта признака в полученном вариационном поле.

Определяем величину частного интервала

$$\Delta t = R/(1+3{,}322 \lg(n)) \; \Delta t = 76{,}54$$

где n — объем выборки.

Определяем шкалу интервалов интервального вариационного ряда, частоту попадания случайной величины в частный интервал (t_j), частоту попадания r_j случайной величины в частный интервал, рассчитываем частность попадания p_j случайной величины в частный интервал, рассчитываем накопленную частность $S(p_j)$, и все данные заносим в табл. 1.

$$p_j = r_j / n$$

где p_j – частота попадания случайной величины в частный интервал.

Таблица 1. **Результаты расчета статистических параметров выборки**

Δt	r_j	$p_j = r_j / n$	$S(p_j)$	t_j	$t_{jcp} = (t_j + t_{j+1})/2$
0 — 76,54	16	0,64	0,64	0	38,27
76,54 — 153,08	6	0,24	0,88	76,54	114,81
153,08 — 229,62	0	0	0,88	153,08	191,35
229,62 — 306,16	1	0,04	0,92	229,62	267,89
306,16 — 382,70	1	0,04	0,96	306,16	344,43
382,70 - 459,24	1	0,04	1,00	382,70	420,97
				459,24	

Определяем среднюю наработку на отказ:

$$T_o = (\sum t_{jcp} \cdot r_j) / \sum r_j \; , \; = 93{,}38$$

получаем для наших данных T_o . Определяем среднеквадратическое отклонение выборки: $\sigma(x) = 100{,}43$ с.

Вычисляем коэффициент вариации выборки:

$$V(X) = \sigma(x) / T = 1{,}08$$

Так как коэффициент вариации равен 1,08, то предполагаем, что наше распределение подчиняется экспоненциальному закону распределения наблюдаемой случайной величины. Потому, что при экспоненциальном законе $V(X) = 1$. Определяем основные показатели надежности для экспоненциального закона распределения: Интенсивность отказов составит:

$$\lambda = 1/T_o, = 0{,}0107$$

Вероятность отказов составит:

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

Тогда параметр потока отказов определяем:

$$a(t) = f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Полученные результаты расчетов заносим в табл. 2. Строим графические зависимости количественных характеристик от времени (умножаем все показатели на 104).

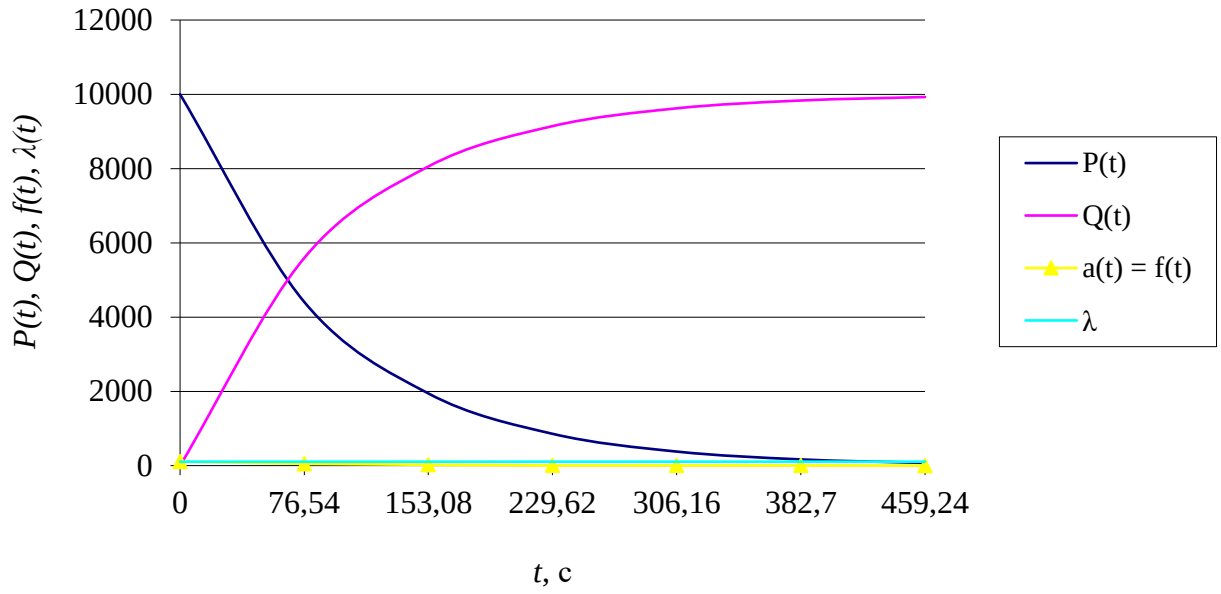
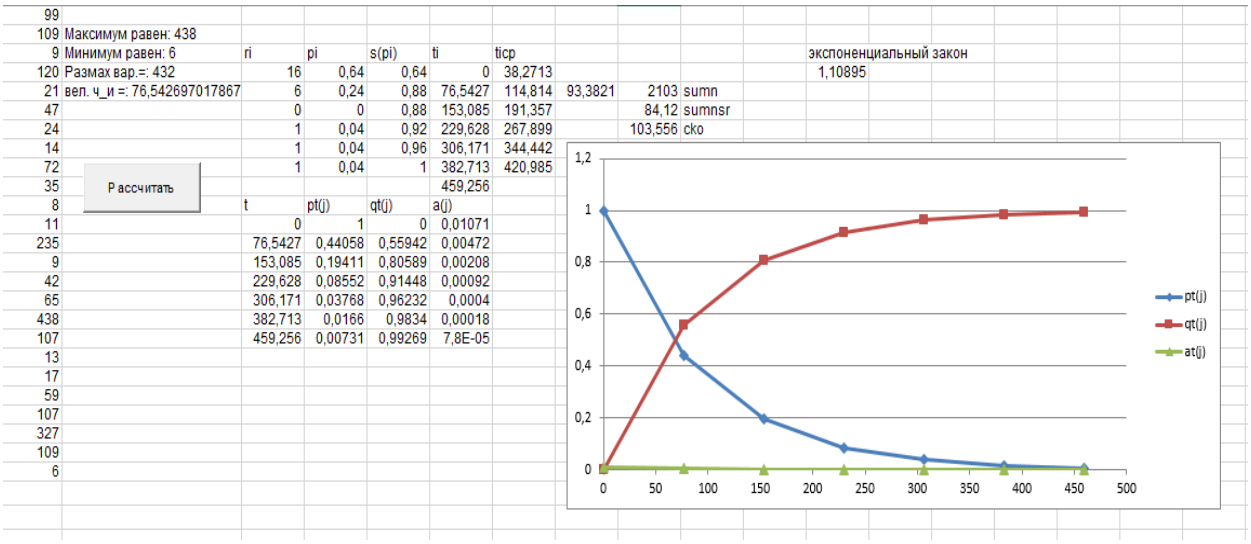


Рис. 1. Вид зависимости P(t), Q(t), f(t), λ(t)
для экспоненциального закона распределения

Таблица 2. **Рассчитанные значения параметров надежности инстиумента по результатам стойкостных испытаний**

t	*P(t)*	*Q(t)*	*a(t) = f(t)*
0	1	0	0,0107
76,54	0,4409	0,5591	0,0047
153,08	0,1944	0,8056	0,0021
229,62	0,0857	0,9143	0,0009
306,16	0,0378	0,9622	0,0004
382,70	0,0167	0,9833	0,00018
459,24	0,0073	0,9927	0,00008

После определения основных параметров надежности минералокерамического режущего инструмента ручным способом, представленным выше, появилась необходимость сокращение времени на проведение расчетов. Для этого была написана программа на языке Visual Basic for Applications. На программу получено свидетельство о государственной регистрации за № 2013612102 [8]. Результаты расчетов определения основных параметров надежности для экспоненциального закона распределения наблюдаемой случайной величины средствами ЭВМ представлены на рис. 2.



	ri	pi	s(pi)	ti	ticp			
	16	0,64	0,64	0	38,2713			
	6	0,24	0,88	76,5427	114,814	93,3821	2103	sumn
	0	0	0,88	153,085	191,357		84,12	sumnsr
	1	0,04	0,92	229,628	267,899		103,556	cko
	1	0,04	0,96	306,171	344,442			
	1	0,04	1	382,713	420,985			
				459,256				

t	pt(j)	qt(j)	a(j)
0	1	0	0,01071
76,5427	0,44058	0,55942	0,00472
153,085	0,19411	0,80589	0,00208
229,628	0,08552	0,91448	0,00092
306,171	0,03768	0,96232	0,0004
382,713	0,0166	0,9834	0,00018
459,256	0,00731	0,99269	7,8E-05

Рис. 2. Пример расчета основных показателей надежности и виды зависимости *P(t), Q(t), f(t), λ(t)* для экспоненциального закона распределения

В результате проведения стойкостных испытаний различных производственных систем получаются статистические данные по наработке на отказ. Обработка этих данных, определение закона распределения и расчет основных параметров занимает большое количество времени. С целью экономии этого времени была написана специальная программа для расчета основных параметров надежности экспоненциального закона распределения наблюдаемой случайной величины средствами ЭВМ [8]. Разработанная программа может применяться для обработки статистических данных любых производственных систем, надежность которых описывается законом экспоненты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкин В.С. Надёжность технических систем и техногенный риск. – Ростов-на-Дону: Изд.-во «Феникс», 2010, -432 с.

4. ГОСТ 27.002 - 89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Группа Т00. - М.: Издательство стандартов, 1990 г. - 40 с.

5. ГОСТ 27.003 - 90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. Группа Т51. - М.: Издательство стандартов, 1991 г. 27 с.

6. ГОСТ 27.203 - 83 Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. Группа Т51. - М.: Издательство стандартов, 1984 г. - 6 с.

7. ГОСТ 27.402 - 95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Ч 1. Экспоненциальное распределение. Группа Т59. - Минск: Издательство стандартов, 1997 г. - 39 с.

8. Bektashov, D.A. Calculation of the main parameters of the exponential law of distribution of the observed random variable // D.A. Bektashov, O.V. Blinov, A.A. Krapostin / Certificate for the computer program No. 2013612102. – 2013.

УДК 351.862.001, 614.8.084

А. В. Борисов, И. В. Борисова, В. А. Малышев
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ ТЕХНИКИ ПО ИНТЕГРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ КАЧЕСТВА

Аннотация: В статье на основании анализа существующих подходов к определению категорий образов техники сформированы предложения по порядку действий (алгоритм) определения обобщенных категорий качества образцов техники в системе МЧС России для отнесения ее к той или иной категории в целях обеспечения требуемого качества формирования Планов оснащения подразделений МЧС России современными образцами техники.

Ключевые слова: обеспечения оснащения подразделений МЧС России современными образцами техники и снаряжения, техническое средство, уровень качества образца техники, показатель уровня качества образца.

A. V. Borisov, I. V. Borisova, V. A. Malyshev

ON THE ISSUE OF CLASSIFICATION OF IMAGES OF TECHNOLOGY ACCORDING TO THE INTEGRAL CHARACTERISTIC OF QUALITY

Abstract: In the article, based on the analysis of existing approaches to the definition of categories of images of equipment, proposals are formed on the procedure (algorithm) for determining generalized categories of quality of samples of equipment in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia to assign it to a particular category in order to ensure the required quality of the formation of Plans for equipping units of the Ministry of Emergency Situations of Russia with modern samples of equipment.

Keywords: ensuring the equipping of the units of the Ministry of Emergency Situations of Russia with modern samples of equipment and equipment, technical means, the quality level of the sample of equipment, the indicator of the quality level of the sample.

Одной из основных целей совершенствования оснащенности подразделений МЧС России современными образцами техники на период до 2030 года является повышение возможностей спасательных воинских формирований (далее – СВФ), подразделений федеральной противопожарной службы (далее – ФПС), аварийно-спасательных формирований и спасательных служб за счет применения современной высокотехнологичной техники и снаряжения.

© Борисов А. В., Борисова И. В., Малышев В. А., 2023

Эта деятельность в МЧС России была организована во исполнение требований Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов, и модернизации оборонно-промышленного комплекса» [1] для обеспечения оснащения подразделений МЧС России современными образцами техники и снаряжения.

В качестве одного из ключевых показателей (целевых индикаторов) реализации планов (программ), установленных в данном Указе Президента Российской Федерации, выступает уровень (доля) оснащенности подразделений современными образцами техники и снаряжения.

В процесс реализации этих планов (программ) включены не только подразделения системы МЧС России (как потребители этих современных образцов техники), но и предприятия промышленности (в первую очередь, предприятия оборонно-промышленного комплекса), как поставщики техники для нужд МЧС России.

Поэтому от правильной расстановки приоритетов при формировании заказов и постановке задач на перспективу предприятиям-производителям на разработку, испытание и производство современных образов техники зависит качество формировании Планов оснащения подразделений МЧС России современными образцами техники.

Таким образом, объективно существует зависимость между основными свойствами образца техники, исходя из предназначения (эффективность применения, оперативность приведения в готовность к функционированию, запас ресурса, стоимость и др.), которые удовлетворяют современным требованиям и задаваемыми свойствами создаваемого образца техники, который должен удовлетворять современным требованиям на перспективу (среднесрочную или долгосрочную).

Следовательно, вопрос разработки научно-обоснованных критериев для понятий «перспективный образец» и «инновационная продукция» является актуальным.

Решению этой задачи посвящен ряд исследований, результаты которых опубликованы в открытых источниках [2, 3 и др.].

Авторы этих исследований предлагают систему классификации образов техники по интегральной характеристике качества, которая определяется системой показателей, описывающих основные свойства образца техники, исходя из предназначения (эффективность применения, оперативность приведения в готовность к работе, набор выполняемых функций, стоимость и т.д.).

При этом, уровень качества образца техники оценивается путем сравнения основных свойств оцениваемого технического средства (ТС), исходя из предназначения, с аналогичными свойствами эталонного (базового) образца (согласно ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения) [4].

При этом в данных источниках используется следующий набор основных понятий:

- базовый образец техники;
- современный образец техники;
- перспективный образец техники;
- устаревший образец техники.

Базовый образец техники – это техническое средство (далее – ТС), представляющее передовые зарубежные или отечественные научно-технические достижения и имеющее близкие к максимально выгодным значениям тактико-технических характеристик (далее – ТТХ).

Современный образец техники – это ТС, находящееся на оснащении, серийно производимое или модернизированное, основные ТТХ которого не уступают характеристикам существующих лучших отечественных или зарубежных аналогов.

Перспективный образец техники – это разрабатываемое ТС, основные ТТХ которого существенно превосходят характеристики отечественных и зарубежных аналогов или аналоги отсутствуют.

Устаревший образец техники – это снятое с производства ТС, не имеющее модернизационного потенциала, основные ТТХ которого уступают характеристикам отечественных или зарубежных аналогов [2], либо это снятый с производства образец, не имеющий модернизационного потенциала, основные ТТХ которого уступают характеристикам зарубежных образцов или, находящий ограниченное применение, не соответствующий современным задачам, по качественным показателям значительно уступающий отечественным и зарубежным аналогам более поздних выпусков и имеющий незначительный запас технического ресурса и срока службы [3].

Проведенный анализ существующих подходов к определению категорий образов техники [2,3,4], позволил сформировать предложения по порядку действий (алгоритм) определения обобщенных категорий качества образцов техники в системе МЧС России для отнесения ее к той или иной категории.

Основные этапы этого алгоритма включают в себя:

1) обоснование перечня основных характеристик для определения уровня качества образца ТС;

2) определение значений показателей качества базового образца ТС;

3) определение значений показателей качества исследуемого образца ТС;

4) сравнение полученных значений исследуемого образца с базовыми значениями;

5) установление категории качества образца ТС.

Обоснование перечня основных характеристик образца ТС осуществляется путем экспертного оценивания тех характеристик, которые описывают основные свойства образца техники, исходя из его предназначения (эффективность применения по прямому назначению, оперативность приведения в готовность к работе, набор выполняемых функций, стоимость и т.д.). При этом под эффективностью понимается степень достижения поставленной перед образцом ТС (процессом его применения) цели или степень приспособленности указанного образца к решению стоящих перед ним задач, степень достижения заданных целей функционирования [3]. В этом случае показатель эффективности будет мерилом или математическим эквивалентом степени достижения цели, а критерий эффективности – предельным значением показателя эффективности или математическим эквивалентом самой цели [3].

Показатели затрат характеризуют количество (объем) ресурса, израсходованное для достижения определенных целей. Зачастую достаточно общим эквивалентом различных видов затрат являются финансовые затраты [3], характеризуемые показателем стоимости жизненного цикла образца ТС (чаще всего интересует стоимость изготовления и эксплуатации, именно эти затратные показатели возможно сопоста-

вить с показателями эффективности). Наконец, под качеством продукции понимается совокупность свойств, обусловливающих ее пригодность удовлетворять потребности потребителя в соответствии с назначением [3]. Согласно [3] «показатель качества объекта есть вектор, компонентами которого являются показатели свойств объекта, существенных для его использования по назначению».

Сравнение исследуемого образца ТС с базовым целесообразно проводить как на текущий момент времени, так и по состоянию на любой момент времени в рамках рассматриваемого программного периода.

Выбор базового образца осуществляется с использованием метода экспертных оценок при соблюдении следующих ограничений:

исследуемый и базовый образцы находятся в одном классе ТС;

базовый образец ТС определяется на программный период с последующим ежегодным уточнением и возможной заменой на основе предпочтений экспертов;

в случае замены образца ТС интегральный показатель уровня качества нового базового образца ТС должен быть не ниже предыдущего.

В случае отсутствия у исследуемого образца техники прямых аналогов предлагается считать:

устаревшим образцом ТС – снятый с производства, не имеющий модернизационного потенциала, основные его ТТХ не позволяют в полном объеме решать задачи в соответствии с предназначением и тактико-техническими требованиями;

современным образцом ТС – серийно выпускаемый или модернизированный, основные его ТТХ позволяют в полном объеме решать задачи в соответствии с предназначением и тактико-техническими требованиями;

перспективным образцом ТС – разрабатываемый, представляющий передовые научно-технические достижения в развитии данного вида ТС, ожидаемые значения его ТТХ близки к максимально выгодным.

Математическое описание решаемой задачи состоит в следующем. На первом этапе проводится выбор 5-9 ключевых сравниваемых характеристик эффективности исследуемого образца с использованием экспертно-аналитического метода. Далее экспертами заполняется матрица парных сравнений выбранных характеристик в соответствии с методом анализа иерархий [5] для определения весовых коэффициентов. Ячейки матрицы парных сравнений заполняются на основе предпочтений экспертов в соответствии с иерархией суждений.

Этап определения значений показателя уровня качества образца ТС включает в себя следующие действия:

нахождение частных индикаторов характеристик ТС;

свертка полученных значений.

Целевой индикатор I_{xi} по i-ой характеристике определяется следующим выражением:

$$I_{Xi} = \frac{X_i}{X_{i\text{Б}}};\ (i = 1,n)$$

где X_i – величина выбранной характеристики исследуемого образца ТС,

$X_{iБ}$ – величина характеристики базового образца ТС.

Если повышению величины сравниваемой характеристики соответствует ухудшение качества образца ТС, т.е. чем больше числовое значение выбранной ха-

рактеристики, тем ниже должно быть значение целевого индикатора по этой характеристике, то следует принять для расчета обратную зависимость:

$$I_{Xi} = \frac{X_{iБ}}{X_i}; \ (i = 1,n).$$

Для нахождения интегрального показателя уровня качества исследуемого образца ТС необходимо осуществить свертку значений полученных целевых индикаторов характеристик с весовыми коэффициентами. Указанная свертка будет иметь аддитивно-мультипликативный характер:

$$K_{обр} = \sum \varepsilon_i \cdot I_{xi}$$

где $K_{обр}$ – интегральный показатель уровня качества исследуемого образца ТС;

ε_i – весовой коэффициент i-ой характеристики;

I_{xi} – целевой индикатор образца ТС по *i*-ой характеристике.

Представленная свертка позволяет получить оценку уровня качества образца ТС.

На заключительном этапе формируется вербальная оценка, отражающая уровень качества образца ТС: *перспективный, современный, устаревший.*

Для этого значение интегрального показателя уровня качества образца *Кобр* сопоставляется с интервалами, соответствующими данным вербальным оценкам, согласно алгоритму, представленному выше.

Поскольку ТТХ образцов ТС одного и того же класса лежат в неких интервалах: $X_i = [X_{min}; X_{max}]$, то для учета возможных отклонений интегрального показателя уровня качества, характеризующего уровень образца как «современный», также вводится определяющий интервал значений, а именно: $0,8 \le K_{обр} \le 1,2$.

Таким образом, по уровню качества образец ТС принадлежит к одной из следующих групп:

устаревшие образцы ТС – не имеют модернизационного потенциала, интегральный показатель уровня их качества имеет значение $K_{обр} < 0,8$;

современные образцы ТС – интегральный показатель уровня их качества определяется в интервале $0,8 \le K_{обр} \le 1,2$;

перспективные образцы ТС – интегральный показатель уровня их качества имеет значение $K_{обр} > 1,2$.

Предлагаемая допустимая погрешность (~20 %) не противоречит общепринятым подходам для проведения расчетов при определении технического уровня сложных систем [5]. Значение погрешности было предложено с учетом известных результатов ранее проведенных исследований на основе опыта формирования перечней образцов ТС, относимых к устаревшим, современным и перспективным [2].

Определение уровня качества образца ТС в данном случае рассматривается как классическая задача оценивания. По результатам оценивания уровня качества образца ТС, в отношении него принимается решение о принадлежности к одной из следующих категорий:

перспективный образец ТС;

современный образец ТС;

устаревший образец ТС.

Предлагаемый подход может применяться как в повседневной текущей деятельности органов управления по оценке качества закупаемых образцов техники, так и при планировании технического оснащения подразделений МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов, и модернизации оборонно-промышленного комплекса». Режим доступа URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/35267 (дата обращения 02.03.2023).

2. Онищенко Ю.А., Мозжухин А.Э. Основные положения методики определения обобщенных категорий качества образцов техники в системе МЧС России // Технологии гражданской безопасности, № 3 (53). 2017. С. 20-23.

3. Буренок В.М., Дурнев Р.А., Крюков К.Ю. Образец техники: устаревший, современный или перспективный // Вооружение и экономика, № 5 (42), 2017. С. 5-14.

4. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Режим доступа URL:http://docs.cntd.ru/document/1200001719 (дата обращения 02.03.2023).

5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.

6. Семенов С.С., Харчев В.Н., Иоффин А.И. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. М.: Радио и связь, 2004.

УДК 620

Д. М. Борисов, А. В. Топоров
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

КОНСТРУКЦИИ СПОСОБЫ И ТАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Аннотация: В данной работе приводятся общие сведения о компоновке пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента с учетом замечаний, сделанных на основании его опытного использования.

Ключевые слова: гидравлический аварийно-спасательный инструмент, испытание, привод, компоновка, эргономика, способы применения, модернизация, пожарный автомобиль, тормозная система

© Борисов Д. М., Топоров А. В., 2023

D. M. Borisov, A. V. Toporov

METHODS AND TACTICS OF APPLICATION OF THE MODERNIZED DESIGN OF THE PNEUMOHYDRAULIC DRIVE

Abstracts: This paper provides general information about the layout of the pneumohydraulic drive of the hydraulic rescue tool, taking into account the comments made on the basis of its experimental use.

Keywords: hydraulic emergency rescue tool, test, drive, layout, ergonomics, methods of application, modernization, fire truck, brake system.

Привод гидравлического аварийно-спасательного инструмента от источника сжатого воздуха предлагался неоднократно [1, 2]. Однако в ходе проведенных испытаний было установлено, что испытанная модель пневмогидравлического привода, совмещенного с дыхательным аппаратом, является крайне неэргономичной и неудобной при практическом использовании [3, 4]. Поэтому, требуется рассмотреть вопрос переработки расположения узлов таким образом, чтоб обеспечить беспрепятственный доступ к узлам станции для их обслуживания и быстрой замены баллона. Также большую роль играет вес и габариты станции. В идеале она должна получиться такой, чтобы ее снятие с отсека пожарного автомобиля и дальнейшая переноска к месту проведения работ могла производиться одним спасателем. В будущем предложено отказаться от возможности подключения лицевой панорамной части.

Исходя из практического опыта использования гидравлического аварийно-спасательного инструмента и рациональных соображений, предлагаю более консервативную и привычную компоновку узлов станции на трубчатом, металлическом каркасе. Габариты станции в итоге должны быть такими, чтобы снятие и дальнейшая переноска к месту работы свободно могла производиться одним спасателем. В результате, предполагается что габариты станции; длина, ширина, высота - будут выполнены в размерах 700х400х350 мм соответственно. Также для удобства переноски предлагается оснастить каркас станции плечевым ремнем (не указан на модели). 3d модель привода, имеющего предложенную компоновку приведена на рис. 1.

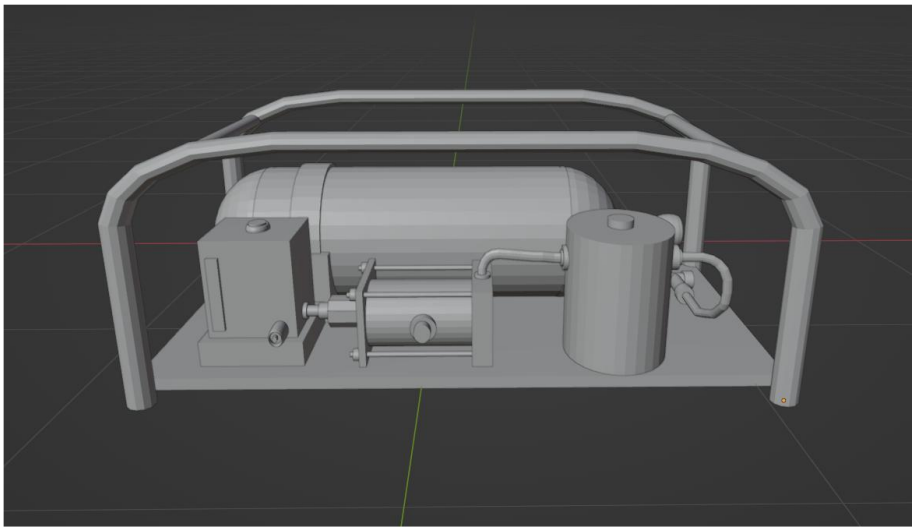


Рис. 1. Трёхмерная модель привода (вид спереди)

Компоновочная схема привода приведена на рис. 2. Корпус 1, изготовленный из легких сплавов, выполнен в виде несущей рамной конструкции, разделен на две секции. В верхней секции помещается баллон со сжатым воздухом 2, снабженный редуктором 3. В нижней секции помещается рабочая часть, состоящая из ресивера 4 присоединенного при по мощи шланга 5 к редуктору 3. К ресиверу 4 с через штуцер 6 присоединяется пневмогидравлический насос 7, преобразующий давление сжатого воздуха в давление рабочей жидкости. К пневмогидравлическому насосу 7 через шланг 8 подключен расширительный бачек 9, в котором находится запас жидкости для гидравлической системы. Рукава высокого давления, подключенные к гидравлическому аварийно-спасательному инструменту (не показаны) присоединяются к быстроразъемным соединениям 10 расположенным на пневмогидравлическом насосе 7. Для удобства переноски к корпусу 1 крепится плечевой ремень 11, и ручки 12. Представленная компоновка привода, по сравнению с первоначальной имеет ряд достоинств:

- независимость дыхательной системы и пневматической системы привода по используемым баллонам;
- возможность применения привода отдельно от дыхательной системы;
-возможность оставить привод на месте проведения аварийно-спасательных работ при необходимости экстренной эвакуации.

Таким образом, изготовление пневмогидравлического привода в виде отельного блока, и исключение из него дыхательного аппарата является более рациональным с точки зрения эргономики, удобства эксплуатации и гибкости применения.

С точки зрения тактики проведения спасательных работ следует отметить полную автономную работу спасателя. А если представить, что в будущем таких станций на вооружении подразделения будет не одна а несколько, то и работы по спасению будут проводиться гораздо быстрее, что является важнейшим фактором спасения человеческих жизней. Спасатель сможет управлять приводом аварийно-спасательного инструмента без помощи оператора на станции, в то время как единица боевого расчета свободная от управления приводом может, скажем, проникнуть в аварийный автомобиль и оказать первую помощь пострадавшим или в первую очередь, успокоить людей, осмотреть травмы, их тяжесть и принять тактически правильное решение. Данную особенность наверняка смогут прочувствовать на себе спасатели подразделений, где существует нехватка личного состава, и ввиду отсутствия свободных рук разрабатываемый привод будет хорошим помощником.

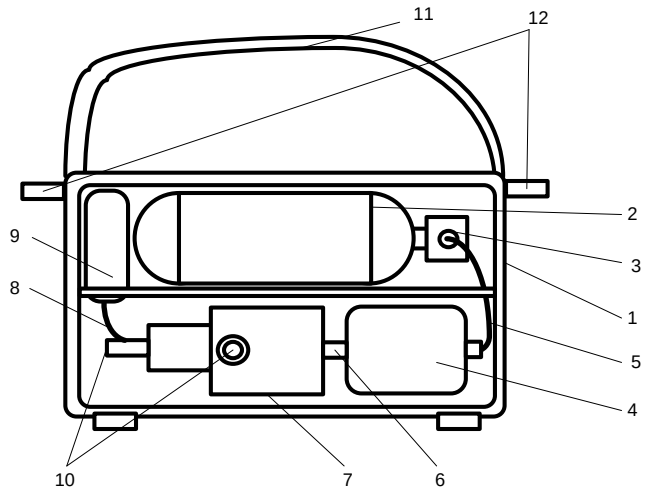


Рис. 2. Предлагаемая компоновка пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента

Исходя из изложенных выше доводов, я считаю, что модернизированный вариант пневмогидростанции сможет удовлетворить всем требованиям спасателей работающих с данной установкой.

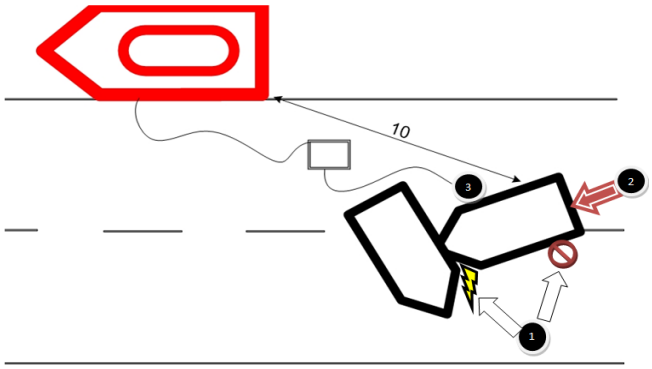


Рис. 3. Схема применения модернизированного привода во время ликвидации последствий ДТП от тормозной системы пожарного автомобиля

Также, хотелось бы предложить рассмотреть в дальнейшем вопрос внедрения в модернизированную пневмогидравлическую станцию возможности подключения к ресиверам пожарного автомобиля, оснащенного пневматической тормозной системой, что позволило бы осуществлять бесперебойную подачу воздуха под давлением в установку с постороннего источника.

Данную модификацию предлагается осуществить путем установки быстросъемного соединения на ресивер пневмогидростанции, и, соответственно, такого же быстросъёмного соединения на ресивере пожарного автомобиля.

Таким образом, в теории, компрессор, работающий на обеспечение пневматической тормозной системы, сможет обеспечить работу пневмогидронасоса и исполнительного инструмента без затрат воздуха из баллона входящего в конструкцию станции. Боевые действия проводимые при подобном порядке подключения ограничивается длинной пневматических шлангов. Однако при некоторых видах работ, например при ликвидации последствий ДТП, когда ПА может подъехать непосредственно к месту проведения работ, данный вид подключения гидравлической станции может положительно сказаться на динамике проведения спасательных работ. Так как будут отсутствовать паузы, связанные с заменой воздушных баллонов, исчерпавших свой запас воздуха.

Подводя итоги, разработка пневмогидравлического привода аварийно-спасательного инструмента положительно скажется на мобильности проведения спасательных работ на месте аварии и обеспечении работы инструмента при отсутствии горюче-смазочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Д.М., Топоров А.В. Проблемы эксплуатации пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90- й годовщине образования гражданской обороны. Иваново, 2022. С. 286-289.

2. Борисов Д.М., Топоров А.В. Разработка компоновочной схемы пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2022. С. 308-310.

3. Комаров И.В., Захаров Д.Ю. Психологическое и физическое влияние на газодымозащитников нагрузок различной степени тяжести с использованием опытного образца пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 1 (5). С. 327-330.

4. Свинин Н.В., Захаров Д.Ю., Волков О.Г. Влияние размера опытного образца пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента на функциональный баланс газодымозащитника В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России и 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов. Иваново, 2020. С. 300-306.

УДК 623.355.6

А. А. Бурлаков, О. В. Озеров
ФГВОУ ВО Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТЕХНИКИ СВЯЗИ

Аннотация: Определение оптимальных показателей системы технического обслуживания и ремонта, при которых обеспечивается техническая готовность техники связи.

Ключевые слова: оптимизация, система технического обслуживания и ремонта, техника связи, планирование эксперимента.

A. A. Burlakov, O. V. Ozerov

OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF COMMUNICATION EQUIPMENT

Keywords: optimization, maintenance and repair system, communication technology, experiment planning.

Abstracts: Determination of optimal indicators of the maintenance and repair system, which ensures the technical readiness of communication equipment.

© Бурлаков А. А., Озеров О. В., 2023

При организации технического обслуживания и ремонта техники связи (ТС) возникают противоречивые требования: с одной стороны необходимо обеспечить техническую готовность ТС проведением работ по техническому обслуживанию и ремонту при определенных затратах времени и ресурсов, с другой стороны затраты времени на техническое обслуживание и ремонт снижают готовность ТС. Необходимо определить оптимальные показатели системы технического обслуживания и ремонта, при которых обеспечивается техническая готовность ТС.

При определении значений показателей системы технического обслуживания и ремонта (времени контроля технического состояния, периода контроля, достоверности контроля, времени проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту) необходимо обеспечить выполнение требований по выбранному критерию эффективности функционирования ТС путем решения оптимизационной задачи.

Предлагается следующий порядок решения задачи оптимизации:

1. Выбираются показатели функционирования и целевого назначения СТО и Р.

2. Определяются наиболее значимые показатели. На их основе строится общий вид целевой функции *F*. На остальные показатели накладываются ограничения вида

$$Q_j \le Q_{j\,ДОП},$$
$$Q_j \ge Q_{j\,ДОП}$$

где $Q_{j\,ДОП}$ – допустимое значение *j*-го показателя, не вошедшего в состав целевой функции *F*.

3. На основе анализа целевого назначения СТО и Р определяются параметры, в наибольшей степени влияющие на целевую функцию *F* и на показатели, не вошедшие в нее. Эти параметры в дальнейшем рассматриваются в качестве оптимизируемых.

4. Целевая функция *F* и показатели оптимизируемых параметров представляются в математической форме

$$F = \varphi_1(x_1,...,x_n)$$
$$Q_1 = \varphi_2(x_1,...,x_n)$$
$$Q_l = \varphi_{l+1}(x_1,...,x_n)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_{l+1}$ – функциональные связи;

l – количество показателей, не вошедших в целевую функцию;

$x_1,\ldots,x_n$ – оптимизируемые параметры СТО и Р;

n – количество параметров, рассматриваемых в качестве оптимизируемых.

5. Определяется условие оптимальности решения, уточняется характер экстремума (максимума или минимума) функции *F*.

6. Выбирается математический метод решения задачи оптимизации с учетом ограничений, накладываемых как на показатели, не вошедшие в целевую функцию, так и на сами оптимизируемые параметры.

В результате решения задачи оптимизации получаем оптимальные значения параметров.

7. Выполняется интерпретация результатов решения с учетом особенностей рассматриваемой СТО и Р.

В качестве критерия оптимизации целесообразно выбрать минимум трудозатрат, связанных с проведением работ по техническому обслуживанию и ремонту ТС с учетом ограничений на их техническую готовность, а также на материальные средства, технологическое оборудование и личный состав.

Формализовано оптимизационная задача имеет вид

$$W = f\left(t_K, T_K\right) \to \min$$
$$K_\Gamma = f\left(t_K, t_{TO}, T_K, t_B, D_K\right) \geq K_\Gamma^{TP}$$
$$C = f\left(N_P, M_K\right) \leq C^{TP}$$

где W – трудозатраты, связанные с проведением работ по техническому обслуживанию и ремонту ТС;

$K_{\text{г}}$ – коэффициент технической готовности ТС;

$K_{\text{гтр}}$ – требуемый коэффициент технической готовности ТС;

C – материальные затраты, связанные с содержанием мастеров-ремонтников и приборов контроля.

Из многих возможных путей решения задачи оптимизации с учетом особенностей процесса эксплуатации ТС наиболее эффективным является метод Бокса-Уилсона или метод крутого восхождения. Этот метод позволяет получать статические математические модели процессов, используя факторное планирование, регрессионный анализ и движение по градиенту.

Идея метода Бокса-Уилсона заключается в последовательной постановке серий опытов, в каждой из которых одновременно варьируются по определенным правилам все факторы. Серии организуются таким образом, чтобы после математической обработки предыдущей можно было выбрать условия проведения следующей серии. Таким образом достигается область оптимума.

Планирование эксперимента предполагает активное вмешательство в процесс и возможность выбора в каждом опыте тех уровней факторов, которые представляют интерес. Объект, на котором возможен активный эксперимент, называется управляемым.

Планирование эксперимента – это метод выбора количества и условий проведения опытов, минимально необходимых для отыскания оптимальных условий для решения поставленной задачи.

Эффективность вычислительных экспериментов с имитационными моделями, формализованными в виде сетей массового обслуживания, существенно зависит от выбора плана эксперимента, так как именно план определяет объем и порядок проведения вычислений, приемы накопления и статистической обработки результатов моделирования системы в целом, что влияет на эффективность использования вычислительных ресурсов при моделировании.

При реализации статистических моделей процессов эксплуатации производится многократный розыгрыш случайных ситуаций, которые могут иметь место при известных законах распределения. В процессе многократных розыгрышей про-

изводится сбор статистической информации, конкретных реализаций с целью определения коэффициента готовности (*К*г). Накопленные реализации могут рассматриваться как выборка конечного объема количества розыгрышей и обрабатываются теми же методами, что и выборка, полученная в ходе натурных наблюдений.

Путем постановки и проведения эксперимента решается поставленная оптимизационная задача по определению значений показателей СТО и Р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предложения по организационно-техническому построению системы технического обеспечения связи и АСУ / Алифиренко А. А., Боговик А. В., Хайрулин М. Ф.// Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. V Межвузовская научно-техническая конференция: труды конференции.; – СПб.: ВАС. – 2020. С. 59-62.

2. Постановка задачи на моделирование системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления при выполнении специальных задач / Вишняков Н. П., Семенов С. С., Педан А. В., Яковлев А. А.// Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. V Межвузовская научно-техническая конференция: труды конференции.; – СПб.: ВАС. – 2020. С. 100-105.

УДК 62-2

А. В. Бурцев, В. А. Калентьев
Уральский институт ГПС МЧС России

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАГРУЗКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ДЛИНЕ БОЧКООБРАЗНЫХ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ МУФТ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация: В данной работе предложено вводить в расчетные формулы коэффициент концентрации расчетной нагрузки, использование которого позволит выполнять расчет напряжений в бочкообразных зубьях по формулам, основанным на гипотезе плоских сечений с точностью, достаточной для инженерных расчетов.

Ключевые слова: коэффициент концентрации, напряженное состояние, бочкообразный зуб, зубчатая муфта.

A. V. Burtsev, V. A. Kalentyev

DETERMINAION OF THE LOAD CONCENTRATION AND STRESS DISTRIBUTION ALONG THE LENGTH OF THE BARREL TEETH OF GEAR COUPLINGS IN ORDER TO INCREASE RELIABILITY

© Бурцев А. В., Калентьев В. А., 2023

Abstracts: In this paper, it is proposed to introduce into the calculation formulas the coefficient of concentration of the design load, the use of which will allow the calculation of stresses in barrel-shaped teeth according to formulas based on hypothesis of flat sections, with an accuracy sufficient for engineering calculations.

Keywords: concentration coefficient, stress state, barrel tooth. gear coupling.

Проблема повышения надежности деталей машин и механизмов является одной из важнейших задач в машиностроении, т.к. являясь комплексным свойством и основным показателем качества отвечает за безотказность, долговечность и ремонтопригодность.

Зубчатые передачи в машиностроении занимают одну из ключевых составляющих современного автомобилестроения. Кроме того, зубчатые передачи составляют основу трансмиссий автомобильной и гусеничной техники, а также коробок перемены передач, коробок отбора мощности (КОМ), раздаточных коробок и приводов различных механизмов. КОМ также являются основным механизмом дополнительных трансмиссий на пожарных автоцистернах.

Конструкции зубчатых муфт, входящих в структуру зубчатых соединений, позволяют обеспечивать передачу высоких крутящих моментов между валами привода и исполнительного механизма, а также компенсацию углового, радиального и осевого смещений. Благодаря перечисленным возможностям и небольшим размерам, зубчатые муфты широко применяются в различных видах пожарной и аварийно-спасательной техники, а также в приводах пожарных насосов, механизмов для сушки и намотки рукавов, барабана лебедки и др.

Поэтому исследование действительных напряжений в бочкообразных зубьях натурных зубчатых втулок с целью установления количественной оценки неравномерности распределения напряжений по длине зубьев актуально.

Расчеты напряжений изгиба в зубьях прямозубых зубчатых колес, выполненные с использованием гипотезы плоских сечений, достаточно просты и наглядны, хотя лишь приближенно характеризуют действительное напряженное состояние зубьев. Погрешности схемы расчета в этом случае учитываются введением поправочных коэффициентов в расчетные формулы и соответствующим выбором экспериментально проверенных допускаемых напряжений.

Возможность использования гипотезы плоских сечений для расчета напряжений в бочкообразных зубьях зубчатых муфт требует дополнительной проверки. Сама бочкообразная форма зубьев зубчатых втулок ведет к переменной концентрации нагрузки на небольшой части длины зуба, так как нагрузка по длине зубьев перемещается в течение одного оборота зубчатой муфты и ее равнодействующая максимально удаляется от среднего по длине сечения зуба на расстояние, равное половине рабочей длины зуба втулки 0,5 b_p. Концентрация нагрузки вызывает неравномерное распределение напряжений по длине бочкообразного зуба; закономерность изменения напряжений по длине зуба и максимум местных напряжений зависят от наибольшего удаления линии действия равнодействующей внешней нагрузки от середины зуба.

Исследования распределения напряжений по длине зубьев, проведенные ранее на моделях зубьев зубчатой рейки и эвольвентных зубьев [1,3] и на зубьях натурных зубчатых колес [2], не содержат рекомендаций, которые можно было бы использовать при расчете прочности бочкообразных зубьев зубчатых муфт.

Выполнено экспериментальное исследование действительных напряжении в бочкообразных зубьях натурных зубчатых втулок с целью установления количественной оценки неравномерности распределения напряжений по длине зубьев и внесения уточнения в методики геометрического и прочностного расчета бочкообразных зубьев.

Опытные зубчатые втулки, изготовленные на ОАО «Электростальском заводе тяжелого машиностроения» и рассчитанные на угловой перекос осей до 6°, имели следующие основные параметры: 1-я втулка — модуль $m = 6$ мм, число зубьев $z = 32$, длина зуба $b = 35$ мм, радиус окружности смещений исходного контура $R = 45$ мм; 2-я втулка — $m = 4$ мм, $z=49$, $b = 35$ мм, $R = 45$ мм.

На противоположных сторонах двух соседних зубьев каждой зубчатой втулки были наклеены *10* проволочных тензометрических датчиков сопротивления с базой *5* мм. Смонтированные нами датчики (*10* рабочих и *10* компенсационных) в измерительную цепь были подключены к статическому тензометру по обычной схеме.

Зубчатые втулки закрепляли в специальном приспособлении, установленном на нагрузочном винтовом прессе ДМ-30. Нагрузку от пуансона пресса передавали на зубья посредством калиброванного ролика, помещаемого во впадине зуба (для 1-й втулки $d_{рол}=17,77$ мм, $P=10000$ *Н*; для 2-й втулки $d_{рол}=10,35$ мм, $P=2500$ *Н*). Принятая схема нагружения зубьев позволила удвоить количество измерительных точек и при обработке опытных данных за счет их усреднения компенсировать даже незначительное несовпадение оси ролика с осью впадины зуба. Рабочие датчики захватывали галтель и ножку зуба втулки, реагируя на усредненные деформации в области опасного сечения зуба. Оси датчиков размещали в направлении нормали к окружности смещений исходного контура, центры решеток датчиков — на радиусе R_p с шагом $t=7,5$ мм; величина $R_p = 40$ мм для зубьев $m = 6$ мм и $R_p = 42$ мм для зубьев $m = 4$ мм.

Ось зубчатой втулки параллельна оси калиброванного ролика; две точки — точки приложения внешней нагрузки от ролика, лежат в серединном плоском сечении втулки. Изменение положений точек приложения внешней нагрузки по длине зуба, т. е. смещение линии действия внешней силы от середины зуба втулки, получали за счет поворота оси зубчатой втулки на угол ω при сохранении первоначального положения калиброванного ролика. Были определены действительные напряжения в зубьях втулок в условиях статического нагружения в пяти точках по длине зуба при семи различных положениях сосредоточенной (точнее, распределенной на длине до 5 мм) внешней нагрузки.

Получены волнообразные графики распределения напряжений по длине натурных бочкообразных зубьев, построенные на основе обработки экспериментальных данных (рис. 1). Расположение осей решеток датчиков по длине зуба связано с нижней осью абсцисс, где также записаны номера датчиков измерительных точек: 1; 6; 2; 7; 3; 8 и т. д. С верхней осью абсцисс связаны точки приложения внешней нагрузки Q в зависимости от ее расстояния от середины зуба втулки; это расстояние соответствует половине рабочей длины зуба втулки $0,5b_p$ в условиях ее работы в муфте. На верхней оси абсцисс оно отложено безразмерным отношением $b_p : b$. Эксперимент проводили при следедующих его значениях: 0 — кривая *О; 0,46* — кривые *1* и *2; 0,6* —кривые *3* и *4; 0,86* — кривые *5* и *6*. Графики показывают, что даже при симметричном (центральном) нагружении зубьев ($b_p : b = 0$, кривая *О)* действительные наибольшие напряжения $\sigma_м$ в измерительных точках *3* и *8* значительно отличаются от средних напряжений $\sigma_{ср.}$ определенных по кривой *О*. Эта неравномерность воз-

растает с удалением линии действия внешней нагрузки от середины зуба, т.е. при внецентренном нагружении.

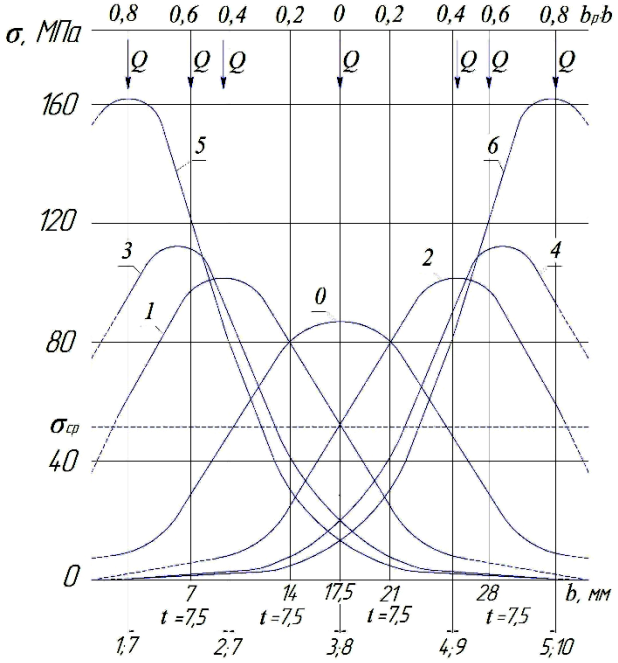


Рис. 1. Графики изменения напряжений по длине зуба 2-й втулки (*m=4* мм)

Для оценки неравномерности распределения напряжений введем коэффициент, численно равный отношению

$$K = \sigma_м / \sigma_{ср},$$

где $\sigma_м$ – действительное наибольшее напряжение при данном положении линии действия внешней нагрузки;

$\sigma_{ср.}$ — среднее напряжение, определенное по кривой *О*.

Этот коэффициент, отражающий концентрацию нагрузки на небольшой части длины бочкообразного зуба, назовем коэффициентом концентрации (увеличения) расчетной нагрузки. Для анализа экспериментальных значений коэффициента концентрации расчетной нагрузки построен график $K=f(b_p:b)$ (рис. 2). Из графика следует, что оптимальными условиями нагружения бочкообразных зубьев можно считать такие, когда рабочая длина зуба втулки не более половины всей его длины; при этом значение $K<2$. Если же принять $b_p=b$ — m, как это реализовано в действующем ГОСТР 50895-96 (5006-83) «Муфты зубчатые. Технические условия», то значения *К* возрастают до 3,0 — 3,3. Этот график позволяет также найти значения *К,* соответствующие действительным условиям работы зубчатой муфты, и учесть их при определении расчетных напряжений в бочкообразных зубьях.

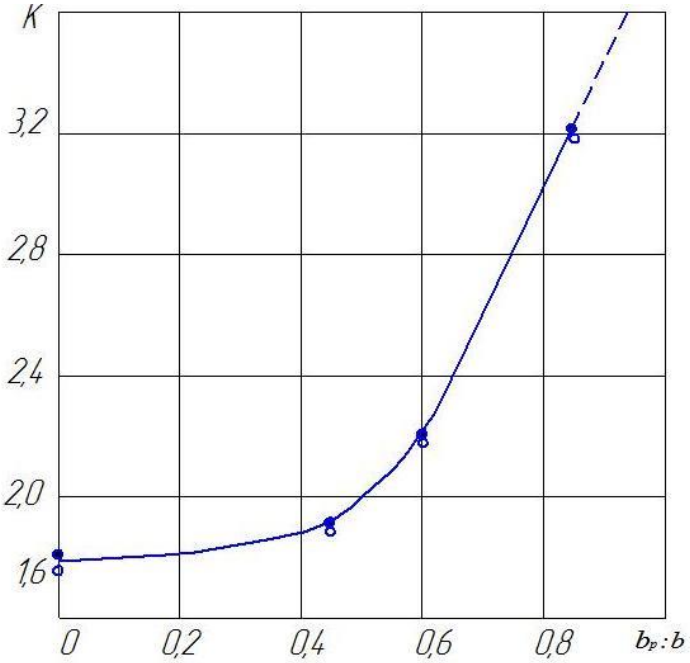


Рис. 2. Экспериментальные значения коэффициента концентрации (увеличения) расчетной нагрузки: ○ — для 1-й зубчатой втулки *m=6* мм); ● — для 2-й зубчатой втулки (*m=4* мм)

Таким образом, при проектировании новых зубчатых муфт целесообразно исходить из рабочей длины зуба втулки $b_p = 0{,}5b$ и вводить в расчетные формулы коэффициент концентрации расчетной нагрузки K=2; использование этого коэффициента позволит выполнять расчет напряжений в бочкообразных зубьях по формулам, основанным на гипотезе плоских сечений с точностью, достаточной для инженерных расчетов.

Проведенные нами исследования позволяют предполагать повышение надежности и долговечности работы бочкообразных зубьев зубчатых муфт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенкова Э.В. Определение коэффициентов формы зуба и градиентов напряжений при плоском напряженном состоянии эвольвентных зубьев // Вестник машиностроения. 1972. №1. С.26-31.

2. Семенча П.В., Зислин Б.А., Шубина Н.Б. Распределение напряжений по длине бочкообразных зубьев // Вестник машиностроения. 1970. №10. С.22-33.

3. Шлейфер М.А. Оценка влияния концентрации нагрузки на напряжения в галтели зубчатого колеса // Вестник машиностроения. 1967. №8. С.38-41.

УДК 621.315.17

Л. В. Власова, П. А. Покровский
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация: Представлены результаты расчета механических нагрузок на провода (грозотросы) воздушных линий электропередачи при возможных условиях эксплуатации линии. Представлены зависимости значений удельных механических нагрузок от величины скорости ветра и толщины стенки гололеда.

Ключевые слова: overhead power line, mechanical calculation of the wire, design of overhead lines.

L. V. Vlasova, P. A. Pokrovsky

CALCULATION OF MECHANICAL LOADS ON WIRES OF OVERHEAD POWER LINES

Abstracts: Presentation of the results of mechanical calculations on wires (lightning cables) of overhead power lines under possible operating conditions. Representations of the dependence of specific mechanical characteristics on the magnitude of the wind speed and the density of the ice tissue.

Keywords: overhead power line, mechanical calculation, design of overhead lines.

На надежность работы и технико-экономические показатели сетей электроэнергетических систем оказывает значительное влияние конструкция воздушных линий электропередач. Поэтому выбор конструкции и расчет по условиям механической прочности провода воздушной линии – это важные задачи проектирования электроэнергетических сетей [2].

В общем случае при проектировании конструктивной части воздушных линий основными задачами являются выбор и проверочные расчеты конструкций проводов и грозозащитных тросов, механических нагрузок и сил, действующих на провода, механических напряжений проводов и тросов при различных режимах работы и для всего возможного диапазона изменений климатических влияний и условий местности.

Спецификой проектирования воздушных линий является экономическая целесообразность расчетов механической прочности проводов и опор на воздействие сил давления ветра, веса гололедных образований, возникающих при экстремальных природных условиях. Расчет удельных механических нагрузок требует известности данных о характеристиках проводов воздушных линий. Марка и сечение проводов выбираются на основании электрических расчетов воздушных линий, проводимых до проектирования её конструктивного исполнения. Данные по конструкции и технические характеристики принимаем по справочно-нормативным источникам [4].

Нагрузки на конструкции воздушных линий создаются внешними воздействиями, к которым относятся нагрузка, создаваемая ветром, и нагрузки от веса гололе-

© Власова Л. В., Покровский П. А., 2023

да, веса проводов, тросов. Для расчета нагрузок от проводов и тросов на опоры при проектировании и других расчетах пользуются значениями габаритных, ветровых и весовых пролетов.

В настоящее время при механических расчетах воздушных линий электропередач напряжением выше 1000 В, выполненных неизолированными сталеалюминевыми проводами, применяется методика расчета механических нагрузок, описанная в Правилах устройств электроустановок [3]. Основная цель расчета – проектирование экономически целесообразной, механически прочной и надежной воздушной линии электропередачи.

При выполнении механического расчета проводов различных сечений F при различной длине пролета l удобно использовать удельные механические нагрузки на провод, т. е. нагрузки, приведенные к 1 м длины и 1 мм^2 сечения провода.

В соответствии с [3] удельные нагрузки, обусловленные гололедом и ветром, подразделяются на нормативные и расчетные. Нормативные нагрузки учитывают конструкцию воздушной линии, а именно высоту подвеса провода и его диаметр. Расчетные нагрузки дополнительно учитывают степень ответственности линии электропередачи, опыт эксплуатации линий со схожими характеристиками в рассматриваемом районе.

В работе рассматривался наиболее широко распространённый в сетях 110 кВ провод марки АС-120/19. Анализ удельных механических нагрузок проводился для случая с расчетной длиной пролета 150 м. Расчет удельных механических нагрузок ВЛ произведен при изменяющихся метеоусловиях. В статье представлены зависимости величин удельных механических нагрузок от переменных метеорологических параметров при:

1) воздействии ветровых нагрузок на провод без отложений;

2) воздействии нагрузок от отложений без ветра;

Метеорологические воздействия на воздушные линии определяются в виде статических величин максимальных механических нагрузок в соответствии с представленными в [3] требованиями, таблицами, картами районирования территории СНГ по толщине стенки гололеда и скоростным напорам ветра [1].

Нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы, действующая перпендикулярно проводу (тросу), для каждого рассчитываемого условия определяется по формуле (1):

$$P_W^H = \alpha_w \cdot K_l \cdot K_W \cdot C_X \cdot W \cdot F \cdot sin^2(\varphi), \qquad (1)$$

где α_w – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету воздушной линии,

K_l – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку,

K_W – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности,

C_X – коэффициент лобового сопротивления,

W – нормативное ветровое давление, Па;

F – площадь продольного диаметрального сечения провода, мм^2;

φ – угол между направлением ветра и осью воздушной линии.

Площадь продольного диаметрального сечения провода (троса) F определяется по формуле (2):

$$F = \left(d + 2 \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{у}}\right) \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где d – диаметр провода, мм;

K_i и K_d – коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода;

$b_{\text{у}}$ – условная толщина стенки гололеда, мм;

l – длина ветрового пролета, м.

Расчетная ветровая нагрузка на провода (тросы) по методу допускаемых напряжений определяется по формуле:

$$P_{W\text{П}} = P_W^H \cdot \gamma_{\text{Н}W} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_f, \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{Н}W}$ – коэффициент надежности по ответственности,

$\gamma_{\text{р}}$ – региональный коэффициент,

γ_f – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Нормативная линейная гололедная нагрузка на 1 м провода и трос определяется по формуле:

$$P_{\text{Г}}^H = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{у}} \cdot \left(d + K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{у}}\right) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3},$$

где K_i, K_d - коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода;

$b_{\text{э}}$ - толщина стенки гололеда;

d - диаметр провода, мм;

ρ - плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см^3;

g - ускорение свободного падения, принимаемое равным 9,8 м/с^2.

Расчетная линейная гололедная нагрузка на 1 м провода (троса) $P_{\text{г.п}}$ при механическом расчете проводов и тросов по методу допускаемых напряжений:

$$P_{\text{Г.П}} = P_{\text{Г}}^H \cdot \gamma_{\text{Н}W} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d,$$

где γ_d - коэффициент условий работы.

Удельные нагрузки γ_i на провода и тросы учитывают механические силы от веса проводов и гололедных образований, а также давление ветра на провода без гололеда или с гололедом. Удельные нагрузки относятся к единице длины и единице поперечного сечения провода или троса.

Нагрузка от массы провода γ_1:

$$\gamma_1 = g\frac{G_0}{F},$$

где g – ускорение свободного падения;

G_0 – масса 1 м провода, кг/м;

F - действительное сечение провода, мм^2.

Нагрузка от массы гололеда γ_2 может быть определена как:

$$\gamma_2 = \frac{P_{\text{Г.П}}}{F}$$

Нагрузка от массы провода и гололеда, γ_3:

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2$$

Нагрузка от давления ветра на провод без гололеда, γ_4 может быть определена как:

$$\gamma_4 = \frac{P_{W\text{П}}}{F}$$

Суммарная удельная нагрузка на провод от его массы и давления ветра на провод:

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}$$

Зависимость удельной нагрузки на провод от его массы и давления ветра на провод при различных скоростях ветра представлена на рис. 1. Зависимость строится по расчетным данным, представленным в табл. 1.

Зависимость удельной нагрузки от массы провода и гололеда при различной толщине стенки гололеда на поверхности провода приведена на рис. 2. Зависимость строится по расчетным данным, представленным в табл. 2.

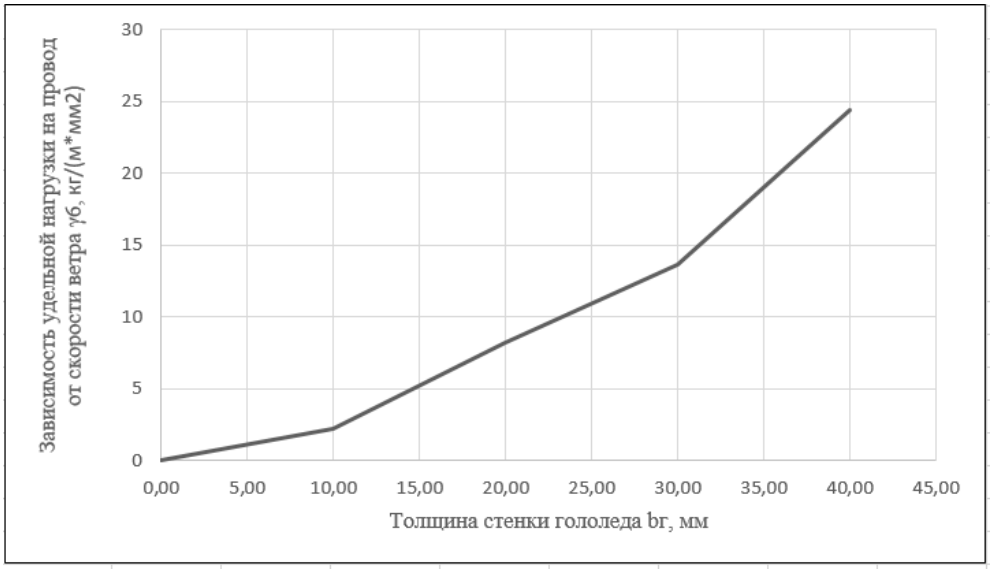


Рис. 1. Зависимость удельной нагрузки на провод от его массы и давления ветра на провод при различных скоростях ветра

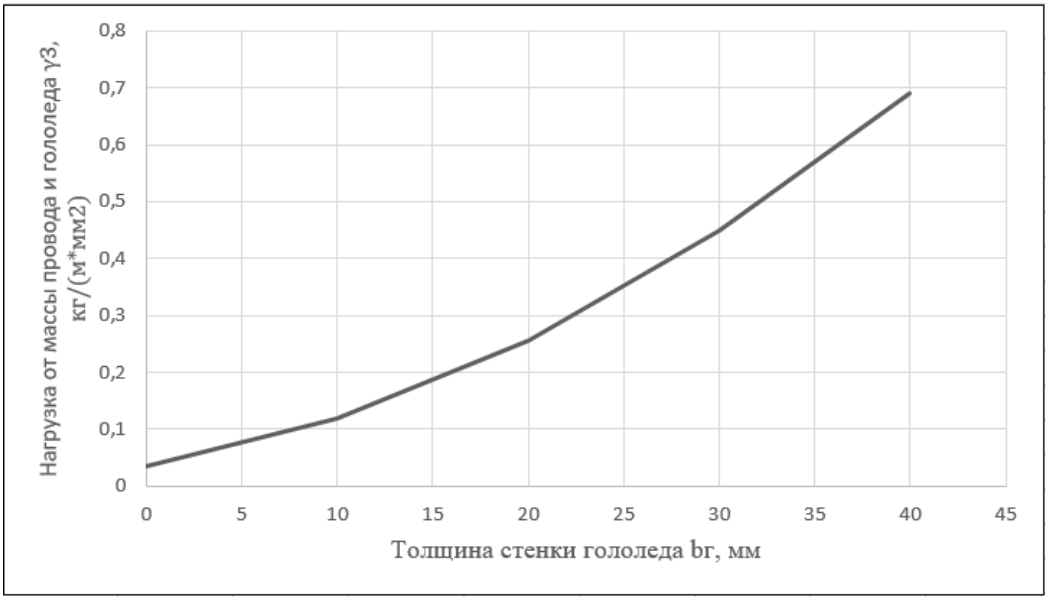


Рис. 2. Зависимость удельной нагрузки от массы провода и гололеда от толщины стенки гололеда

Таблица 1. **Зависимость удельной механической нагрузки на провод от массы провода и скорости ветра**

v, м/с	0	10	20	30	40
γ_6, $\frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{мм}^2}$	0,034	2,2	8,2	13,7	24,4

Таблица 2. **Зависимость удельной механической нагрузки от массы провода и толщины стенки гололеда**

$b_г$, мм	0	10	20	30	40
γ_3, $\frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{мм}^2}$	0,034	0,119	0,257	0,448	0,691

Проанализировано влияние метеорологических параметров на удельную механическую нагрузку провода воздушной линии.

Графически сформирована динамика изменения величин удельных механических нагрузок при изменении скорости ветра и толщины стенки гололеда с учетом нагрузки от массы провода, в совокупности основные воздействующие параметры отражают наиболее реальные сочетания воздействий на воздушную линию.

Произведен анализ и оценка воздействия на провод воздушной линии по величине скорости ветра и толщины стенки отложений на проводе. По данным расчета можно сделать вывод о том, что ветровая нагрузка оказывает более сильное механическое воздействие на провод, чем гололедные отложения. Полученные выводы соответствуют выводам авторов других работ [1].

Представленная методика расчета и анализа может быть использована при проектировании воздушных линий для других типов линий любых классов напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, П. А. Анализ ожидаемых механических нагрузок на провода (грозотросы) воздушных линий электропередачи в процессе их эксплуатации / П. А. Кузнецов, С. В. Аверьянов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 3, № 1(26). – С. 131-140.

2. Петров, В. С. Механический расчет проводов и тросов воздушных линий как основа расчета надежности конструкций / В. С. Петров, Т. И. Дубровская // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 6(31). – С. 124. – DOI 10.15862/99TVN615. – EDN VOBHJR.

3. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. - М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.-421 с.

4. Файбисович, Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей/ Под ред. Д.Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 390 с.

УДК 630.847

И. В. Гиберт, А. А. Покровский
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ФОРМЫ СВЯЗИ ВЛАГИ С МАТЕРИАЛОМ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Аннотация: Рассмотрены различные классификации связей влаги с капиллярно-пористыми материалами. При сушке напорных пожарных рукавов показана применимость классификации материалов как объектов сушки, где определяющими параметрами являются внутренняя структура материала и его тепловые характеристики.

Ключевые слова: напорный пожарный рукав, влага, связь, сушка.

I. V. Gibert, A. A. Pokrovsky

FORMS OF MOISTURE BONDING WITH THE MATERIAL OF PRESSURE FIRE HOSES

Abstracts: Various classifications of moisture bonds with capillary-porous materials are considered. When drying pressure fire hoses, the applicability of the classification of materials as drying objects is shown, where the determining parameters are the internal structure of the material and its thermal characteristics.

Keywords: pressure fire hose, moisture, communication, drying

Напорный пожарный рукав – это один из основных видов пожарного оборудования при помощи которого выполняется транспортировка огнетушащего вещества. Пожарный рукав представляет собой тканый или ткановязаный каркас, обрамляющий внутреннее гидроизоляционное покрытие. Материалом для изготовления

© Гиберт И. В., Покровский А. А., 2023

каркасов пожарных рукавов служат нити, состоящие из химических или натуральных волокон. Внутреннее гидроизоляционное покрытие может быть изготовлено из резин, латекса или каких-либо других полимерных материалов. Рукава с каркасом из натуральных волокон часто не содержат внутреннего гидроизоляционного покрытия. Для продления срока службы рукавов на них наносят защитное покрытие или осуществляют пропитку каркасов. Таким образом, для нужд пожаротушения могут быть использованы напорные рукава из натуральных или синтетических волокон.

В нашем случае объектами исследования являются напорные пожарные рукава с армирующим каркасом из натуральных волокон (рисунок). Данные каркасы ткут из льняных или хлопковых нитей. Конструкции рукавов с нитями из натуральных волокон имеют ряд преимуществ, к которым можем отнести меньшую массу, меньшие габариты скатки и лучшую стойкость к повышенным температурам.

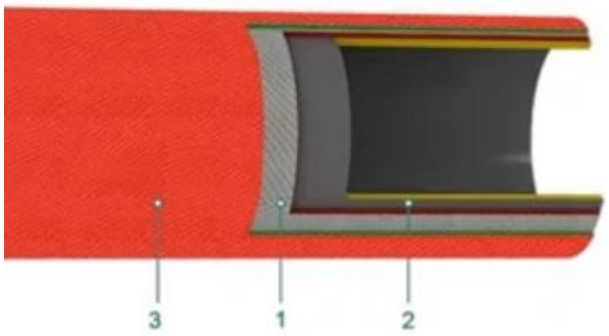


Рисунок. Конструкция напорного рукава с армирующим каркасом из нитей натуральных волокон:
1 – наружный защитный слой;
2 - внутренний гидроизоляционный слой;
3 – армирующий каркас

Для продления срока службы пожарных рукавов и поддержания их в рабочем состоянии необходимо регулярное проведение технического обслуживания, к которому относится сушка. В настоящее время в пожарно-спасательных частях сушка пожарных рукавов производится естественным или принудительным при помощи сушильных установок с различным способом подвода тепла. Конвективный способ сушки является наиболее эффективным при удалении влаги из текстильных и нетканых материалов, которые входят в структуру пожарных рукавов.

При рассмотрении кинетики процесса конвективной сушки напорных пожарных рукавов, как и сушки любого материального тела, необходимо знать одну из важнейших характеристик – это связь влаги с материалом. Впервые все влажные материалы по коллоидно-физическим свойствам и возможности изменения своих размеров при удалении из них влаги были разделены на три группы: коллоидные, капиллярно-пористые и коллоидные капиллярно-пористые.

Коллоидные тела при удалении из них влаги изменяют свои размеры и форму, но при этом сохраняют эластичность. В таких телах преобладает адсорбционная и осмотически связанная влага.

В капиллярно-пористых телах жидкость, в основном, связана капиллярными силами.

Коллоидные капиллярно-пористые тела, занимая промежуточное положение, при сушке дают усадку, а стенки капилляров у этих материалов эластичны и при поглощении влаги набухают.

Данная классификация влажных материалов получила свое развитие в виде системы твердая фаза – распределяемое вещество. Данная классификация базируется на основе анализа структурных и кинетических свойств материалов твердой фазы

в процессах сушки, адсорбции и экстрагирования. Эта классификация отражает кинетические особенности массопереноса в отдельных группах материалов и позволяет выбрать математическое описание процесса.

Капиллярно-пористые и коллоидные капиллярно-пористые материалы подразделяются на подгруппы в зависимости от размера пор.

Капиллярно-пористые материалы подразделяют на:

- макрокапиллярно-пористые материалы;
- микрокапиллярно-пористые материалы.

Группа коллоидных капиллярно-пористых материалов делится на:

- коллоидные макрокапиллярно-пористые материалы;
- коллоидные микрокапиллярно-пористые материалы.

В тоже время кинетику и термодинамику процесса сушки определяют форма и энергия связи влаги с материалом.

Формы связи влаги с материалом подразделяются на: химическую, которая может быть ионной и молекулярной; физико-химическую, включающую адсорбционную и осмотическую связи; физико-механическую.

Наиболее прочной связью является химическая. Данная связь может быть нарушена при химическом воздействии или прокаливании. Ранее считалось, что химическая связь не может быть разрушена, но исследования в данной области показали, что при сушке может удаляться и химически связанная влага. Это характерно при сушке материалов, содержащих органические жидкости, которые могут образовывать с материалом различные комплексные химические соединения. При этом химическая связь может быть ионной или молекулярной. Ионная связь образуется в результате химических реакций, а молекулярная при кристаллизации из раствора.

Адсорбционная, осмотическая и структурно-связанная влага относятся к физико-химической форме. Адсорбционная влага образуется при ее адсорбции материалом, осмотическая является результатом избирательной диффузии через полупроницаемую мембрану, а структурно-связанная влага при образовании геля.

Адсорбционно-связанная влага представляет собой образование на поверхности твердого тела мономолекулярного слоя адсорбированной влаги под действием молекулярного силового поля поверхностных молекул. Этот слой наиболее сильно связан с телом. Последующие полимолекулярные слои удерживаются менее прочно, и ее свойства постепенно приближаются к свойствам свободной жидкости.

Физико-механически связанная влага обусловлена силами поверхностного натяжения и капиллярным давлением. В этом случае влага свободно удерживается в поровом пространстве тела, в микро- и макрокапиллярах. Эта влага удаляется механическим воздействием на материал.

Осмотическое давление, которое приводит к избирательной диффузии воды из окружающей среды через полунепроницаемую оболочку становится причиной осмотической связи.

Внутренняя структура материала и его тепловые характеристики являются определяющими параметрами при классификации материалов как объектов сушки.

По данной классификации полимерным материалы разделены на четыре группы в зависимости от уменьшения критического радиуса пор:

- непористые и макропористые материалы с диаметром пор свыше 100 нм.
- однородно- и неоднородно-пористые материалы с критическим диаметром пор до 6 нм;

- материалы с критическим диаметром пор от 6 до 2 нм;

- материалы с ультрамикропористой структурой. Размеры пор соизмеримы с размерами молекул удаляемой жидкости.

Известен метод термограмм сушки для определения видов связи влаги с материалом. Суть метода заключается в одновременном снятии на диаграммную ленту потенциометра кривой сушки и термограммы. Термограмма представляет собой кривую разности температур тонкого высушиваемого материала толщиной 1–2 мм и постоянной температуры воздуха в термостате в зависимости от времени. На термограмме наблюдается ряд сингулярных точек, при проецировании которых на кривую сушки можно найти влагосодержание, соответствующее определенному виду связи влаги с материалом.

Для определения энергии связи влаги с натуральными (хлопковыми, шерстяными, шелковыми) и химическими (вискозными, полиамидными, фениловыми) волокнами и нитями проводились исследования термогравикалометрическим и адсорбционным методами. Изотермы сорбции, десорбции исследуемых материалов имеют S-образный характер.

S-образную форму имеют также изотермы сорбции воды целлюлозным волокном. Текстильные волокна на основе целлюлозы и ее производных сорбируют воду при существенном изменении их объема и линейных размеров.

По изотермам сорбции – десорбции можно рассчитать эффективный радиус пор и общий объем пор в материале, а также получить кривую распределения пор по радиусу, а по изотермам – объем микропор.

В настоящее время для определения пористой структуры материалов известны следующие методы: статистической обработки микрофотографий, ртутной порометрии, электронной микроскопии, рентгеновский, капиллярной пропитки, радиоактивных индикаторов. Для исследования внутрипористой структуры материалов как объектов сушки наиболее рациональным считается адсорбционный метод, заключающийся в обработке изотерм сорбции – десорбции.

Исходя из вышесказанного необходимо отметить, что в настоящее время не создано всеобщей классификации влажных материалов. В вопросах сушки напорных пожарных рукавов наиболее применима классификация влажных материалов как объектов сушки, в которой в качестве определяющих характеристик рассмотрена внутренняя структура и тепловые характеристики материалов.

Для обобщения характеристик материалов напорных пожарных рукавов как объектов сушки требуются дальнейшие исследования их теплофизических и технологических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский А.А., Киселев В.В., Топоров А.В. Математическое моделирование процесса сушки напорных пожарных рукавов // Современные проблемы гражданской защиты. - 2019. - № 4 (33). - с. 74-82.

2. Покровский А.А., Киселев В.В., Колобов М.Ю. Разработка мобильного комплекса для сушки напорных пожарных рукавов // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. - 2021. - № 3 (67). - с. 77-83.

3. Покровский А.А., Топоров А.В., Колобов М.Ю. Удаление органического растворителя из основы синтетической кожи в токе водяного пара // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. - 2016. - № 4 (48). - с. 74-77.

УДК 621.313

И. А. Грачев, Н. А. Морозов
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РАБОЧЕГО ЗАЗОРА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ ПО ВНЕШНЕМУ МАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Аннотация: Рассматриваются методы диагностики синхронных генераторов, отмечается возможность выявления электромагнитных повреждений по характеру распределения внешнего магнитного поля машины, показана возможность определения по результатам измерения внешнего магнитного поля эксцентриситета ротора, что повышает надёжность диагностирования выработки подшипников при длительной работе.

Ключевые слова: синхронный генератор, диагностика, внешнее магнитное поле, коэффициент несимметрии поля, эксцентриситет.

I. A. Grachev, N. A. Morozov

POSSIBILITIES OF DIAGNOSING THE ECCENTRICITY OF THE SYNCHRONOUS MACHINE WORKING GAP BY THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD

Abstracts: The methods of diagnostics of synchronous generators are considered, the possibility of detecting electromagnetic damages according to the character of distribution of the machine's external magnetic field is noted, the possibility of determining the eccentricity of the rotor by the results of measuring the external magnetic field, which increases the reliability of diagnosing the bearing failure during prolonged operation, is shown.

Keywords: synchronous generator, diagnostics, external magnetic field, field asymmetry coefficient, eccentricity.

В пожарно-спасательном деле часто используются электрические машины, в том числе и синхронные генераторы. В 2015 году спасатели МЧС России вместе с сотрудниками «Крымэнерго» работали над чрезвычайной ситуацией, связанной с проблемой обеспечения электроэнергией некоторых регионов Республики Крым. Спасатели использовали передвижные дизель-генераторные установки мощностью 240 кВт на базе автомобиля «Камаз», которая питала трансформаторные подстанции в населенных пунктах Бахчисарайского района. [1]

© Грачев И. А., Морозов Н. А., 2023

Помимо сухопутных агрегатов используются и специальные установки, которые ставят на спасательных судах. Это улучшенные генераторы серии ГМС (мощность 200–600 кВт, напряжение 230–400 В при частоте вращения 500–750 об/мин), соединенные с дизелями посредством эластичной муфты.

Необходимо обеспечивать надёжную и бесперебойную работу передвижных установок, так как в экстренных ситуациях они должны выполнять требуемые функции. Надежность обеспечивается диагностикой состояния оборудования и своевременным выявлением отклонений его параметров от допустимых, для чего разрабатываются всё новые методы исследования надежности синхронных машин.

Существует множество методов диагностики, такие как: диагностика электрических машин по параметрам потребляемой энергии заключающаяся в контроле потребляемого тока и последующем спектральном анализе разложением полученных сигналов в ряд Фурье. Для фиксации сигналов используются сигнальные датчики, которые ставятся снаружи машины;

- вибродиагностика, включающая в себя диагностику колебаний и вибраций различных элементов электрической машины, что часто не применимо для дизель-генераторов потому, что он сам создаёт большие вибрации;
- контроль температуры узлов электрогенератора, который осуществляется с помощью специального прибора – тепловизора. На экране прибора можно увидеть перегревы отдельных узлов машины;
- установка внутри машины датчиков электромагнитного поля. Главным недостатком метода является необходимость предусмотреть их установку ещё на стадии проектирования машины;
- метод частичных разрядов. Внутрь машины помещают специальные антенны, которые фиксируют количество разрядов в толщине изоляции и их частоту.

Более перспективным направлением является диагностика электрических машин по внешнему магнитному полю (ВМП), разработанная в последние годы. Главное достоинство метода в том, что нет необходимости внедрять внутрь машины различные устройства. Суть метода заключается в фиксации с помощью датчика Холла картины распределения ВМП, её анализе и определении повреждений обмотки по коэффициенту несимметрии поля [2, 3, 4, 5].

Для получения полной картины распределения внешнего магнитного поля нами разработан трёхкоординатный датчик (рис. 1), который позволяет записывать значения составляющих внешнего магнитного поля в трёх координатах: радиальной, тангенциальной и осевой. Это повышает надежность полученных результатов.

Использование метода эффективно только тогда, когда мы знаем, как проявляются контролируемые повреждения в ВМП. На кафедре Электромеханики ИГЭУ проводится работа по определению взаимосвязи внутренних повреждений синхронного генератора и проявлением их во внешнем магнитном поле. Полученные сигналы заводились в расчётную среду Excel, где было проведено сравнение графиков индукции, создаваемой обмоткой возбуждения без повреждений и с наличием повреждения. Они отличаются друг от друга смещением относительно нулевой линии. После чего высчитывался коэффициент несимметрии поля, который равен отношению значения средней линии кривой к амплитуде её пульсации, которые показаны на рис. 2. [6]

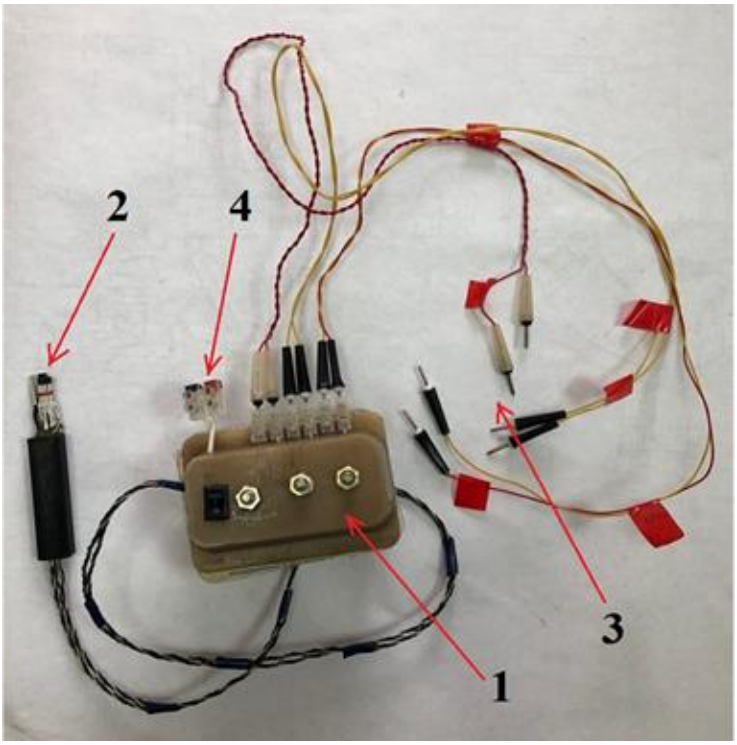


Рис. 1. Трёхкоординатный датчик для измерения ВМП

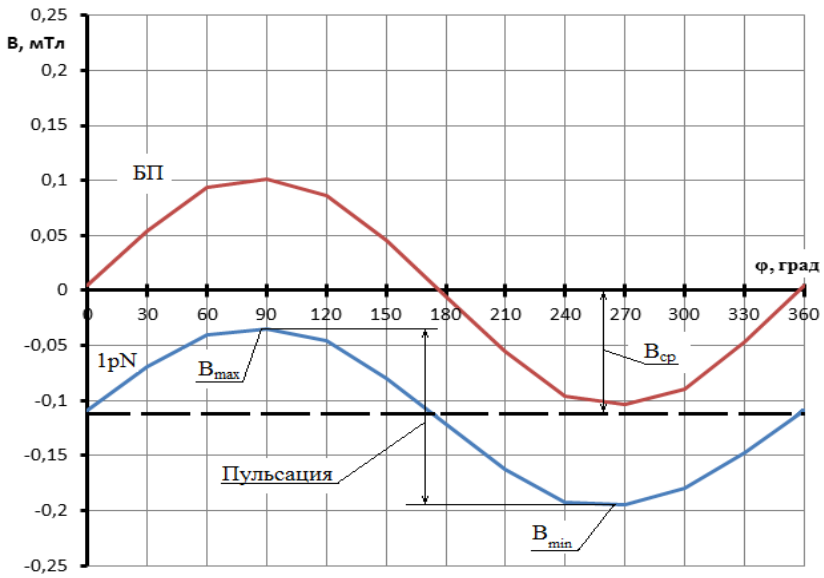


Рис. 2. Определение коэффициента несимметрии поля (КНП)

Во время проведения эксперимента было замечено, что в случае, когда все обмотки работали исправно, поле все равно пульсировало, что объясняется наличием эксцентриситета. Таким образом, по внешнему магнитному полю можно определить величину эксцентриситета и использовать тот же самый коэффициент несимметрии поля (КНП), что и для контроля повреждения обмоток возбуждения.

В настоящее время ведется работа по проведению экспериментального исследования ВМП синхронного турбогенератора при контролируемом эксцентриситете ротора, так как для использования этого метода необходима чёткая корреляция меж-

ду значениями эксцентриситета, положения его оси при разных режимах работы генератора и проявлением его во внешнем поле.

Методика проведения эксперимента может быть представлена следующим алгоритмом. В рабочий зазор помещают немагнитные прокладки из изоляционного материала. С помощью них мы задаём значение эксцентриситета, сначала его отсутствие, а потом с изменением установки прокладок его нарастание. Данные с измерительного датчика снимаются в нескольких точках: сверху, по бокам и снизу машины. Такое же положение занимают и прокладки в рабочем зазоре. Сигналы с коннектора передаются на компьютер, где в программе LabView иллюстрируются графики индукции от времени. По полученным данным проводиться анализ связи повреждения машины и проявлением в ВМП.

Стоит задача определения количества датчиков и их расположения для получения надёжных результатов диагностики эксцентриситета. Ранее проведённые опыты показали, что наиболее яркими проявлениями ВМП могут быть зафиксированы по поперечным сечениям машины по её центру и в плоскости соответствующей торцу сердечника статора с обеих сторон от центрального сечения машины. По ранее полученным данным можно сделать вывод о том, что самые лучшие результаты дают радиальная и осевая составляющая. Но как они себя будут проявлять при исследовании эксцентриситета пока не ясно. Наиболее сложной задачей явится выявление динамического эксцентриситета и при нарушении параллельности осей ротора и расточки статора, что возможно в машинах не очень большой мощности и при неравномерной выработке опор ротора в ходе длительной эксплуатации агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Главное управление МЧС России по Республике Крым : официальный сайт. – Симферополь. – Обновляется в течение суток. – URL: https://82.mchs.gov.ru (дата обращения 4.03.2023) – Текст. Изображение : электронные.

2. Новосёлов, Е.М. Разработка метода функциональной диагностики обмотки ротора асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций по внешнему магнитному полю: дис. … канд. техн. наук: 05.14.02 / Е.М. Новосёлов – Иваново, 2018. – 234 с.

3. Новоселов, Е.М. Оценка возможности использования радиальной составляющей внешнего магнитного поля в целях диагностики асинхронных электродвигателей / Е.М. Новоселов, В.А. Савельев, А.А. Скоробогатов, А.С. Страхов, И.Н. Сулыненков // Вестник ИГЭУ. – 2018. – №3. – С. 38-46.

4. Океанский, А.П. Диагностика электромагнитных несимметрий синхронных машин на основе анализа внешнего электромагнитного поля / А.П. Океанский, А.Н. Морозов, Ю.Б. Казаков // XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов: Тез. докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2018. – С. 359.

5. Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский. Диагностика электромагнитных несимметрий по внешнему полю электрических машин // «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий» (ПЭЭЭ-2017): V Всеросс. научн.-техн. конф. / ФГБОУ ВО «Тольяттинский гос. ун-т», Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 376-380.

6. Морозов, А.Н. Коэффициент несимметрии поля при повреждениях обмотки возбуждения неявнополюсной синхронной машины / А.Н. Морозов // Матер. междун. н.-т. конф. "Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии" (XXI Бенардосовские чтения). Иваново, 2021. – Т. 3. Электротехника. С. 196-198.

УДК 519.876.5

С. Ю. Еремочкин, А. А. Жуков, Д. В. Дорохов
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК

Аннотация: при исследовании режимов работы электропривода механизированных установок, все большее предпочтение отдается методу компьютерного имитационного моделирования. Исследование, выполненное с применением данного метода, является более доступным и менее ресурсозатратным для исследователя, по сравнению с физическим и математическим моделированием. В данной работе предлагается универсальная модель для имитирования нагрузки на валу электродвигателя механизированных установок, позволяющая выполнять моделирование работы электропривода с постоянной и переменной во времени нагрузкой на валу.

Ключевые слова: компьютерное имитационное моделирование, электропривод, нагрузка на валу, SimInTech

S. Y. Eremochkin, A. A. Zhukov, D. V. Dorokhov

DEVELOPMENT OF COMPUTER SIMULATION MODEL OF THE LOAD ON THE SHAFT OF AN ELECTRIC MOTOR OF MECHANIZED INSTALLATIONS

Abstracts: When studying the operating modes of the electric drive of mechanized installations, an increasing preference is given to the method of computer simulation. The research performed using this method is more accessible and less resource-intensive for the researcher, compared with physical and mathematical modeling. In this paper, a universal model is proposed for simulating the load on the shaft of an electric motor of mechanized installations, which allows simulating the operation of an electric drive with a constant and time-variable load on the shaft.

Keywords: computer simulation, electric drive, shaft load, SimInTech

Интенсивное развитие электронной вычислительной техники обеспечило ее широкое применение для автоматизации проектирования и научных исследований. На стадии проектирования с помощью компьютера решают различные задачи: моделирование управления электромеханических и других систем, расчет различных характеристик проектируемых систем, оформление документации и т.д.

Имитационное моделирование основывается на проведении исследований на имитационных моделях, которые имитируют поведение реальных физических объектов, процессов и систем во времени в течение заданного периода. Любая компью-

© Еремочкин С. Ю., Жуков А. А., Дорохов Д. В., 2023

терная имитационная модель разбивается на элементарные явления, подсистемы и модули, которые описываются наборами математических уравнений и алгоритмов, имитирующих их с сохранением структуры и действительной последовательности протекания [1, 2].

Данный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с:

1. физическим моделированием, так как не требует наличия дорогостоящего оборудовании для испытаний, а также исследователю представляется возможность ускорять или замедлять течение времени во время самого эксперимента, что значительно ускоряет процесс проведения исследований;
2. методом математических уравнений, так как исследователю не нужно самостоятельно производить расчет сложных дифференциальных уравнений и изучать методики построения графиков и диаграмм, из-за того, что почти в каждом современном пакете присутствует возможность графического представления результатов исследований и экспериментов, что так же ускоряет процесс проведения и оформления исследований.

Для выполнения имитационного моделирования механизированных установок вращательного движения в среде SimInTech был разработан блок «Нагрузка», представленный на рис. 1.

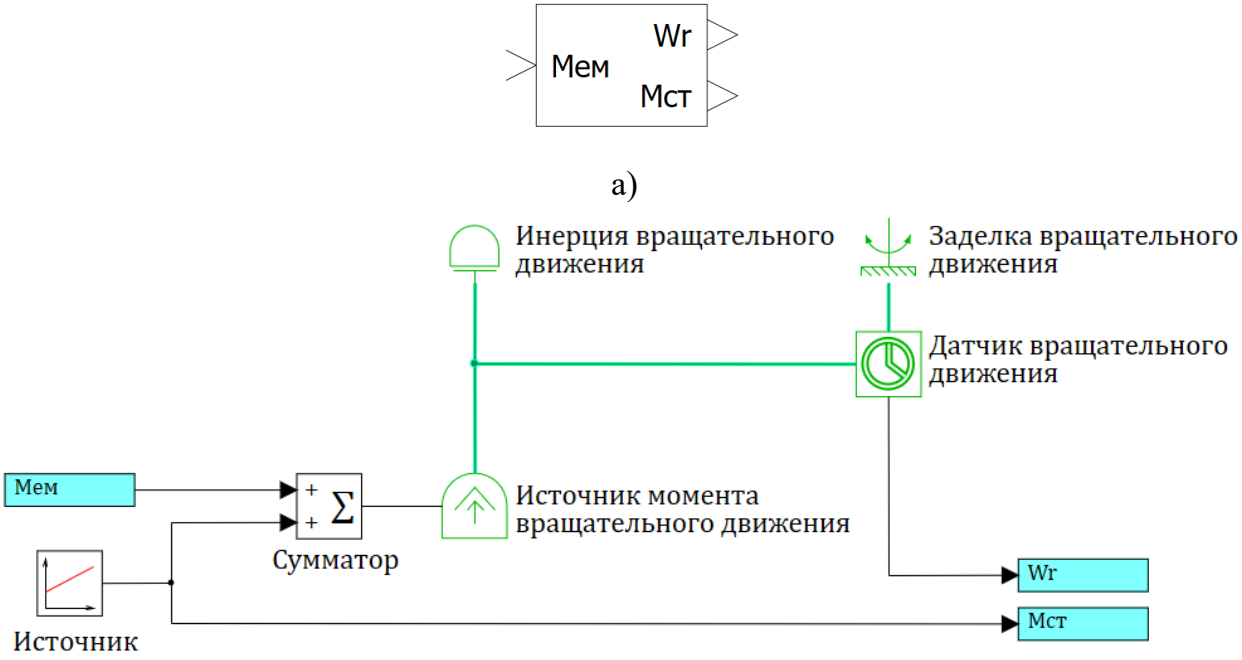


Рис. 1. Изображение блока «Нагрузка» на схеме (а) и его структурная схема (б)

Порт входа «Mem» служит для соединения внешней части схемы со схемой, находящейся внутри блока и осуществляет прием значений угловой скорости вращения вала электродвигателя для последующей передачи на вход блока «Сумматор», который вместе с блоком «Источник» осуществляет задание момента нагрузки на вал электродвигателя. С помощью блока «Источник» задается значение момента нагрузки на валу электродвигателя, которое с помощью блока «Сумматор» алгебра-

ически складывается с значением крутящего момента вала электродвигателя, поступающего с порта входа «Mem».

Результат сложения поступает на вход блока «Источник момента вращательного движения», который соединен с блоком «Инерция вращательного движения». Связка данных блоков позволяет осуществлять решение уравнения движения вращающегося вала электродвигателя с заданным значением момента инерции по следующей формуле (1):

$$J\frac{d\omega(t)}{dt} = M(t) \quad (1)$$

где J - момент инерции вала электродвигателя, кг·м^2;

$\omega(t)$ - угловая скорость вала электродвигателя, рад/с;

$M(t)$ - суммарный вращательный (крутящий) момент вала электродвигателя, Нм;

t – время моделирования, с [3].

Значения крутящего момента поступает на вход блока «Датчик вращательного движения», соединенного с блоков «Заделка вращательного движения». Связка данных блоков позволяет определять значение угловой скорости вращения вала электродвигателя по следующему выражению (2):

$$\omega(t) = \omega(t) - \omega_3(t) \quad (2)$$

где $\omega(t)$ - угловая скорость вращения вала электродвигателя;

$\omega_3(t)$ - угловая скорость, поступающего с блока «Заделка вращательного движения»;

$\omega(t)$ - измеряемая разность угловых скоростей [4].

Причем значение угловой скорости, поступающее с блока «Заделка вращательного движения» является постоянным в течение всего времени моделирования и равно нулю.

Далее, рассчитанное значение угловой скорости поступает на порт выхода «Wr», служащего для соединения внутренней части схемы разработанного блока с внешней схемой.

Значение статического момента нагрузки поступает на порт выхода «Мст», служащего для соединения внутренней части схемы разработанного блока с внешней схемой.

С помощью имитационной модели получим осциллограмму изменения момента на валу при мгновенном набросе момента нагрузки для асинхронного электродвигателя марки «4АА50В4У3». Осциллограммы будут иметь вид, представленный на рис. 2.

Для более подробного анализа величин развиваемого момента построим статическую механическую характеристику, изменяя с помощью блока «Источник» величину момента нагрузки на вал электродвигателя, и зафиксируем установившиеся значения угловой скорости электродвигателя.

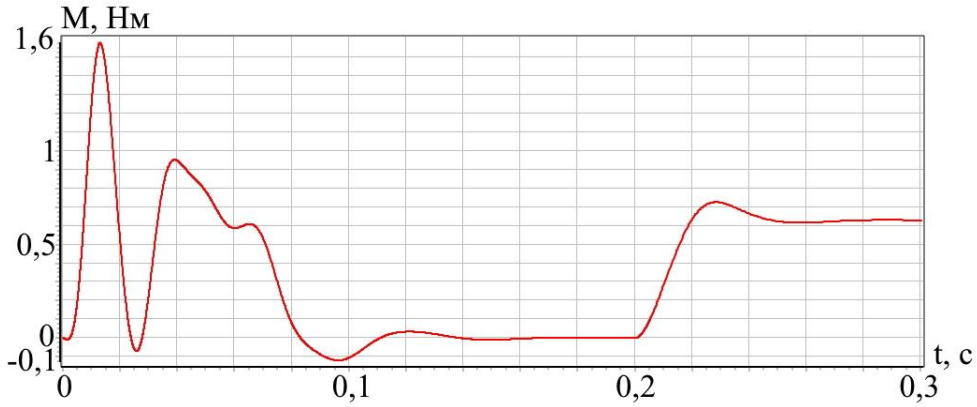


Рис. 2. Осциллограмма изменения момента на валу в режиме пуска и работы под нагрузкой

Сведем результаты исследования в таблицу для более удобного анализа.

Таблица. **Точки для построения статической механической характеристики**

№ точки	1	2	3	4	5
M, Нм	1,25	1,36	1	0,62	0
ω, рад/с	0	65	119	138	157

По полученным точкам из таблицы построим статическую механическую характеристику асинхронного электродвигателя марки «4АА50В4У3» (рис. 3).

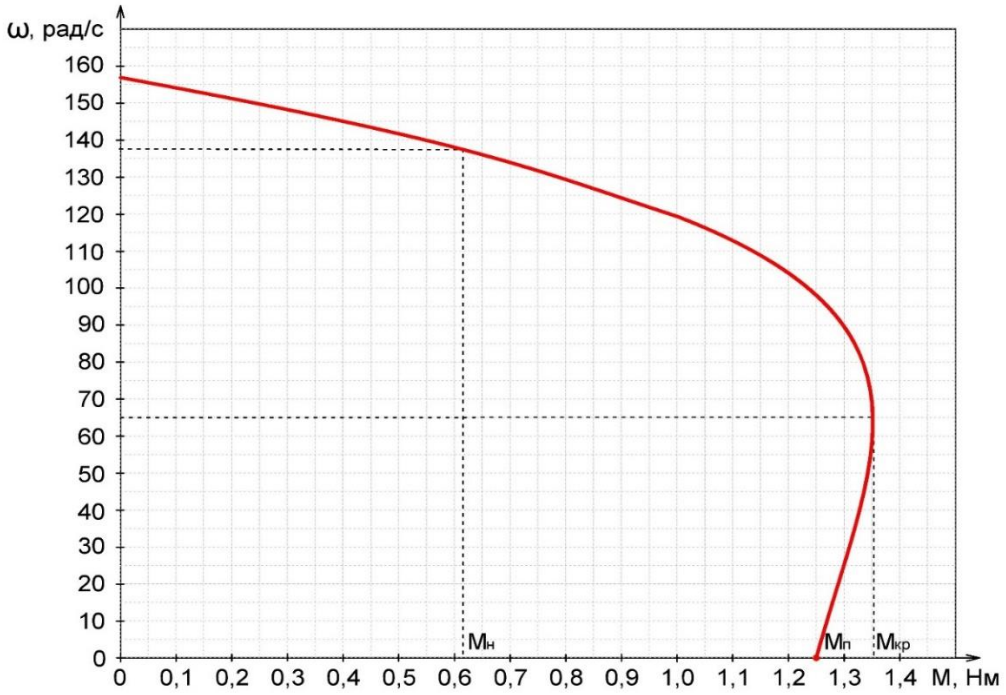


Рис. 3. Статическая механическая характеристика асинхронного электродвигателя марки «4АА50В4У3»

Статическая механическая характеристика электродвигателя, полученная с помощью разработанной имитационной модели нагрузки, имеет вид, схожий с общеизвестными характеристиками, а значения пускового ($М_П$ = 1,25 Нм), критического ($М_К$ = 1,36 Нм) и номинального ($М_Н$ = 0,62 Нм) моментов соответсвуют значениям, указанным в пасспортных данных электродвигателя «4АА50В4У3» [5].

Полученные результаты моделирования свидетельствуют о достоверности разработанной имитационной модели. Данная модель нагрузки на валу электродвигателя рекомендуется для решения задач компьютерного имитационного моделирования работы электропривода механизированных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин, М.В., Воронцов, А.Г. Электромеханотронные комплексы и их моделирование по взаимосвязанным подсистемам: учебник. СПб.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2017.

2. Акопов, А.С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата. Люберцы: Юрайт, 2016.

3. Инерция вращательного движения [Электронный ресурс] // Справочная система SimInTech. URL: https://help.simintech.ru/#biblioteki_blokov/mekhanika/elementy_vrasheniya/4200.html (дата обращения: 10.03.2023).

4. Идеальный датчик вращательного вращения [Электронный ресурс] // Справочная система SimImTech. URL: https://help.simintech.ru/#biblioteki_blokov/mechanich_datchiki/4230.html (дата обращения: 10.03.2023).

5. Кацман М.М. Электрические машины: учебник, 12-е изд., стер. М. : Академия, 2013.

УДК 004.023

А. В. Ермилов
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ НА ПОЖАРЕ

Аннотация: В статье выделены и раскрыты особенности территориальных гарнизонов пожарной охраны, влияющие на процесс привлечения дежурных караулов к месту вызова для спасения людей и тушения пожара. Делается вывод, что среди компонентов, характеризующих оперативную обстановку и объем работы оперативных подразделений в населённом пункте, основным является «интенсивность потока вызовов дежурных караулов». В основе изучения выделенного компонента лежит гипотеза о свойствах потоков, которая включает в себя такие показатели как: ординарность вызовов; отсутствие последействия; стационарность потоков.

Ключевые слова: органы управления, моделирование, силы и средства, пожар, функционирование противопожарной службы.

© Ермилов А. В., 2023

A. V. Ermilov

THE MAIN COMPONENT OF THE MODELING SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT FOR THE MANAGEMENT OF FORCES AND MEANS IN A FIRE

Abstracts: The article highlights and reveals the features of territorial garrisons of fire protection, affecting the process of attracting guards on duty to the place of call to rescue people and extinguish a fire. It is concluded that among the components characterizing the operational situation and the volume of work of operational units in a locality, the main one is «the intensity of the call flow of duty guards». The study of the selected component is based on the hypothesis about the properties of flows, which includes such indicators as: the ordinariness of calls; the absence of aftereffects; the stationarity of flows.

Keywords: management bodies, modeling, forces and means, fire, functioning of the fire service.

Эффективность привлечения сил и средств территориального пожарно-спасательного гарнизона непосредственно влияет на сохранение жизни и здоровья людей и материальных ценностей государства. Одним из направлений, позволяющим повысить вероятность успешного решения основной боевой задачи, является «моделирование информационной поддержки органов управления силами и средствами на пожаре».

Моделирование находится в прямой зависимости от отличительных особенностей каждого субъекта Российской Федерации. В совокупности, данные особенности оказывают непосредственное влияние на процесс функционирования подразделений пожарной охраны. К особенностям субъектов можно отнести:

1. Расположение в территориальных границах субъекта Российской Федерации уникального количества населенных городских и сельских пунктов. Населенные пункты имеют неодинаковую численность: жителей, сил и средств подразделений пожарной охраны и обстановки с пожарами. Также, важно выделить уровень жизни населения, так как загруженность транспортных магистралей личным автотранспортом непосредственно влияет на временной параметр следования дежурного караула на место вызова.

2. Положительная и отрицательная динамика изменения количества городов и сельских населённых пунктов. Это становится возможным за счёт миграции людей в наиболее крупные города, что приводит к увеличению численности населения областного центра. Выделенная особенность приводит к возникновению и развитию новых микрорайонов в городах, увеличению плотности застройки зданий и сооружений (в том числе промышленных и высотных зданий), роста интенсивности автомобильного потока на транспортных магистралях.

3. Расстояние между городами и сельскими населёнными пунктами.

4. Качество состояния дорожного покрытия на транспортных магистралях города и сельского населенного пункта. Данная особенность приводит к тому, что взаимосвязь с рядом удаленных населенных пунктов может носить затрудненный, или даже сезонный характер.

Математическое моделирование позволяет всесторонне рассмотреть оперативную обстановку в районе выезда пожарно-спасательной части. Итогом анализа будет являться выделение в оперативной обстановке внутренних и внешних компо-

нентов, существенно влияющих на эффективность решения вопросов, касающихся спасения людей и тушения пожара [1].

Среди компонентов, характеризующих оперативную обстановку и объем работы оперативных подразделений в населённом пункте, основным можно выделить «интенсивность потока вызовов дежурных караулов», а именно среднее число их вызовов в единицу времени.

В специальной литературе подчеркивается, что совокупность вызовов является случайной величиной, поэтому становится невозможным точно предсказать момент поступления всех вызовов в пожарную охрану. То есть, сам процесс поступления вызовов в городах и сельских населенных происходит неравномерно и больше является вероятностной величиной. Также, важно отметить, что количество вызовов, поступающих в час или сутки (единицу времени), является дискретной случайной величиной, которая зависит от протяжённости интервала времени. Таким образом. изучение закономерностей поступления вызовов в подразделения пожарной охраны основано на вероятностно-статистических методах.

В основе процесса поступления вызовов лежит гипотеза о свойствах потоков, которая включает в себя такие показатели как: ординарность вызовов; отсутствие последействия; стационарность потоков [2].

Свойство «ординарность вызовов» показывает вероятность того, что за время Δt поступит более одного вызова, есть бесконечно малая величина высшего порядка малости относительно Δt и ею можно пренебречь [2].

Свойство «отсутствие последействия» показывает, что количество вызовов в данном промежутке времени не зависит от того, сколько вызовов поступило в предыдущие промежутки времени [2];

Свойство «стационарность потоков» показывает, что вероятностные характеристики процесса поступления вызовов не зависят от времени.

Выделенные свойства лежат в основе распределения вероятностей количества вызовов подразделений пожарной охраны в любом временном интервале *t*, которое описывается законом Пуассона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические методы и модели управления в ГПС и РСЧС: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2011 172 с.

2. Анциферов Д.С. Анализ закономерностей потока вызовов противопожарной службы кемеровской области // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (http://ipb.mos.ru/ttb). № 1 (53), 2014

3. Баканов М.О., Тараканов Д.В., Кузнецов А.В., Столяров А.В. Модель циклического мониторинга природных пожаров затяжного характера // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 2 (40). С. 14-19.

4. Кузнецов А.В., Бутузов С.Ю., Тараканов Д.В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27-33.

5. Кузнецов А.В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 18-23.

УДК 621.3.019.3: 62-784.43: 537.523.9

А. Е. Ефимов[1], А. Г. Бубнов[1,2]
[1] Ивановский государственный химико-технологический университет
[2] Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДА НА НАДЁЖНОСТЬ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ФОРМАЛЬДЕГИДА В ПЛАЗМЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Аннотация: Оценены показатели надёжности газоразрядных ячеек с диэлектрическим барьерным разрядом. Показано, что применение электрода из нержавеющей стали при очистке воздуха от формальдегида многократно увеличивает наработку на отказ реактора с диэлектрическим барьером. Выявлено значительное снижение резервирования системы с реакторами такого типа.

Ключевые слова: показатели надёжности, летучие органические соединения, диэлектрический барьерный разряда, формальдегид, степень превращения.

A. E. Efimov, A. G. Bubnov

THE ELECTRODE MATERIAL INFLUENCE ON THE AIR PURIFICATION RELIABILITY FROM FORMALDEHYDE IN A BARRIER DISCHARGE PLASMA

Abstracts: The gas-discharge cells with a dielectric barrier discharge reliability indicators are estimated. It has been shown a stainless steel electrode use in the air purification from formaldehyde greatly increases the time between failures of a reactor with a dielectric barrier. A significant reduction in the redundancy of the system with reactors of this type was revealed.

Keywords: reliability indicators, volatile organic compounds, dielectric barrier discharge, formaldehyde, conversion degree.

Эколого-экономическая эффективность плазменно-химических технологий (ПХТ), в том числе реакторов с диэлектрическим барьерным разрядом (ДБР), зависит от надёжности его элементов. Низкий уровень надёжности элементов, может приводить не только к снижению производительности систем очистки путем возникновения вынужденных простоев, но и удорожает стоимость их ремонта и технического обслуживания, из-за необходимости частой замены компонентов. Кроме того, отказы технических средств могут привести к аварийным ситуациям, последствия которых негативным образом отражаются на показателях состояния окружающей среды. Поскольку, в настоящее время в нормативной и технической документации отсутствуют данные по показателям надёжности газоразрядных очистных устройств, то актуальной задачей является проведение определительных испытаний перспективных ПХТ. Исходя из описанного, целью работы являлось получение экспериментальных данных по надёжностным характеристикам реактора с ДБР при удалении формальдегид из воздуха в присутствии неизолированных электродов из различных материалов.

© Ефимов А. Е., Бубнов А. Г., 2023

Эксперимент проводился на различных установках с плазменно-химическим реактором ДБР, в которых неизолированный электрод располагался коаксиально. При этом в качестве материала последнего использовался алюминий (*Al*), титан (*Ti*) и нержавеющая сталь (НС) марки AlSi 304/08Х18Н10Т. Основное отличие реакторов заключалось в составе стеклянной внешней оболочки (молибденовое (1) и боросиликатное (2)). Диэлектрический промежуток газоразрядной ячейки был неоднородным и состоял из воздуха и стекла, которое являлось изолятором внешнего электрода. Высоковольтного трансформатор возбуждал газовый разряд, при этом значение переменного тока последнего было не выше 50 мкА (частота 50 Гц), а напряжения между электродами было постоянным 15,4 кВ (удельная мощность составляла 0,04 Вт/см^3). Кроме того, исследование показателей надёжности для реактора 1 проводилось в присутствии электродов только из Al и Ti, электрод из нержавеющей стали использовался в ректоре 2.

В качестве ЛОС рассматривался формальдегид, загрязняющий воздух. Исходные концентрации формальдегида без использования ДБР составляли 30 (внутренний электрод из *Al* или *Ti*) и 10 мг/м^3 (электрод из НС). Содержание поллютанта в воздухе до и после очистки оценивалось фотометрическим методом с применением серной и хромотроповой кислот [1].

Оценка показателей надёжности проводилась на основе [2], в частности, экспериментально определялась наработка на отказ (снижения степени превращения ($T_о$)) и среднее время восстановления ($T_в$). На основе полученных значений рассчитывались коэффициент готовности ($K_г$), интенсивность отказов, вероятность безотказной работы (P) и кратность резервирования (m). Важно то, что для оценки P использовалось показательное распределение.

Следует отметить, что в работе, кроме индивидуальной *P* для ячейки ДБР, определялась также $P_{сист}$, которая была теоретической и оценивалась для очистной установки, состоявшей из 3 элементов: системы подачи воздуха (P_1 = 0.99), системы питания (отказ трансформатора (P_2 = 0.99), системы генерации активных частиц (реактор с ДБР (P_3 определялась экспериментальным путём)). Время, которое использовалось для оценки вероятности безотказной работы оборудования, составляло 8 ч (480 мин). Кроме того, в качестве опорного значения $P_{сист}$ для резервирования выбрано 0,99, т.к. в литературе и нормативной документации отсутствуют требования к *P* технических средств.

Результаты определения и расчёта показателей надёжности реактора с ДБР представлены в табл. из которой видно, что показатели надёжности коаксиальной системы с ДБР в значительной степени меняются в зависимости от подобранного материала неизолированного электрода (время снижения степени превращения формальдегида до 90 % при использовании электродов из Al или Ti не превышало 360 мин). Применение нержавеющей стали в качестве неизолированного электрода позволило достигнуть значения наработки, превышающего 6000 мин.

Таблица. **Надёжностные характеристики реактора ДБР**

Показатели	**Материал электода**		
	Ti	***Al***	***HC***
	C_0**, мг/м^3**		
	30		**10**
Наработка на отказ (T_o), мин	220	360	6000
Время восстановления ($T_в$), мин	55	55	55
Коэффициент готовности ($K_г$)	0,96	0,95	0,99
Вероятность безотказной работы элемента системы (P_3)	0,11	0,26	0,92
Количество ячеек с ДБР для резервирования, шт.	40	11	2

Исходя из описанного выше, систему очистки воздуха от формальдегида (с начальными концентрациями 30 и 10 мг/м^3), состоящую из 3 элементов, включая сам реактор ДБР, необходимо прорезервировать всего 1 раз (m=1) – для достижения $P_{сист}$ = 0,99. При этом система генерации активных частиц для достижения требуемого значения P должна быть прорезервирована (ячейка ДБР с электродами из *Al*, *Ti* и НС), 40 (m=39), 11 (m=10) и 2 раза (m=1) соответственно.

Высокое значение T_o для ячейки с ДБР в присутствии электрода из нержавеющей стали, вероятно, обусловлено отсутствием конденсированной фазы, образующейся в результате воздействие активных частиц плазмы на молекулы формальдегида. При этом последнее является причиной снижения степени очистки в системах с электродами из *Al* или *Ti*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник временных отраслевых методик для определения загрязнения веществ в атмосферном воздухе в районах размещения предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Ч. I и II. М.: Госкомитет СССР по гидрометеорологии и здравоохранению, 1985. 351 с.

2. Ефимов, А.Е. Надёжность очистки воздуха от паров муравьиной кислоты в реакторе с диэлектрическим барьерным разрядом / А.Е. Ефимов, А.Г. Бубнов // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 3. С. 43–49. doi: 10.24852/2411-7374.2022.3.44.50.

УДК 620.178.74

В. Е. Жуков, П. В. Пучков
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ О ЗАРОЖДЕНИИ ТРЕЩИН В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЗКАХ

Аннотация: Высокое значение ударной вязкости материалов играет важную роль для деталей машин и механизмов, для строительных конструкций, для штамповочного оборудования и др. В данной статье описываются результаты исследований конструкционной стали Ст3 на ударную вязкость. Определена зависимость относительной деформации образца от количества циклов нагружения.

Ключевые слова: ударные нагрузки, вязкость, трещина, деформация, низкоуглеродистая сталь.

V. E. Zhukov, P. V. Puchkov

ON THE ISSUE OF THE ORIGIN OF CRACKS IN LOW-CARBON STEEL UNDER SHOCK LOADS

Abstracts: The high value of the impact strength of materials plays an important role for machine parts and mechanisms, for building structures, for stamping equipment, etc. This article describes the results of studies of structural steel St3 on impact strength. The dependence of the relative deformation of the sample on the number of loading cycles is determined.

Keywords: impact loads, viscosity, crack, deformation, low-carbon steel.

Высокое значение ударной вязкости материалов играет важную роль для деталей машин и механизмов, для строительных конструкций, для штамповочного оборудования и др. Материалы с высокой вязкостью хорошо сопротивляются зарождению и распространению в их структуре усталостных трещин под воздействием повторно-переменных напряжений (вибраций, резонансных колебаний).

Ударная вязкость чистых металлов или сплавов во многом зависит от химического состава, вида термической обработки, и от других внутренних факторов. Вязкость также во многом зависит от условий, в которых работает материал (окружающей температуры, скорости нагружения, наличия или отсутствия концентраторов напряжения).

В данной статье описываются исследования некоторых механических свойств низкоуглеродистой конструкционной стали. Целю проведения эксперимента являлось установление значения относительной деформации образца, при которой образец начинает разрушаться (происходит зарождение трещины). Для испытаний выбрана конструкционная низкоуглеродистая (0,14–0,22 % С) сталь обыкновенного качества марки Ст3 наиболее широко применяемая для изготовления сортового проката. Для эксперимента подготовлены стандартные образцы квадратного сечения с U–образным концентратором напряжений (рис. 1). Ширина стандартного U – образного концентратора напряжений согласно ГОСТ составляет B=2±0,05 мм, радиус

© Жуков В. Е., Пучков П. В., 2023

сопряжения R=1±0,07 мм. Образец подвергался двухопорному изгибу при многократном воздействии молота. Для испытания образца использовался маятниковый копер КМ-5 (метод Шарпи). Преимуществом метода испытания на ударную вязкость является простота и наглядность эксперимента. Запас энергии копра с молотом весом 5,0 кг при угле зарядки маятника 116° при свободном падении составляет 294,3 Дж. Скорость удара составляет 3,5 м/с. На рис. 2 изображены стадии деформации стандартного образца при последовательном нанесения 6 ударов молотом. Исходя из фотографий, представленных на рис. 2 можно сделать вывод, что сталь марки Ст3 очень пластична и хорошо сопротивляется зарождению и распространению трещины в поперечном сечении образца. Как видно из рис. 2 образец не был разрушен полностью за 6 ударов, ввиду того, что для полного разрушения образца требуется механическая энергия, превышающая 294 Дж. Ударная энергия свободно падающего молота была затрачена не только на распространение трещины в сечении образца, но и на пластическую деформацию, часть энергии выделялась в виде тепла в следствии пластической деформации образца. Однако, экспериментально установлено, что после третьего удара молотом на сопряжении концентратора напряжений образовалась трещина (рис. 3). Трещина зародилась в центре сопряжения концентратора напряжений и при последующих ударах разрасталась к краям образца.

Рис. 1. Стандартный образец с U–образным концентратором напряжений для определения ударной вязкости (Ст3)

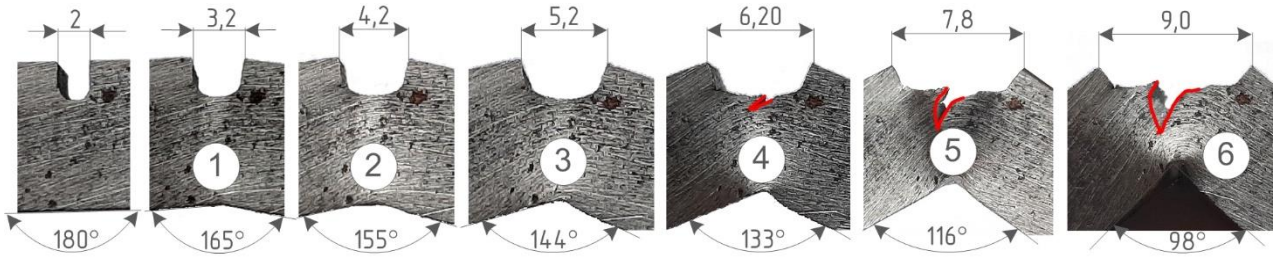


Рис. 2. Стадии деформации образца при нанесении серии ударов молотом копра КМ-5

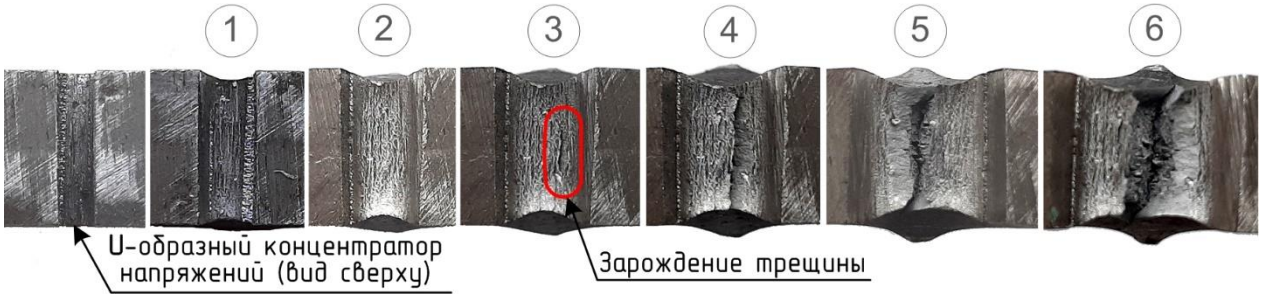
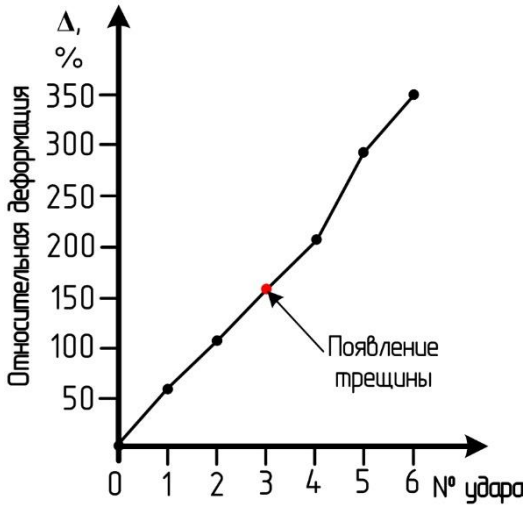


Рис. 3. Зарождение и распространение трещины на образце из Ст3 при многократном динамическом воздействии

На основании полученных экспериментальных данных построен график зависимости относительной деформации образца от количества динамических нагружений.

Эмпирически установлено, что после 3-го удара на образце появилась трещина, при этом относительная линейная деформация образца составила 160 %. На рис. 4 на графике видно, что относительная деформация образца при многократном приложении нормированной ударной нагрузки имеет линейную зависимость.



Количество динамических нагружений	Ширина концентратора напряжений, **B, мм**	Относительная деформация образца, **Δ, %**
0	2±0,05	0
1	3,2	60
2	4,2	110
3	5,2	160
4	6,2	210
5	7,8	290
6	9,0	350

Рис. 4. График зависимости относительной деформации образца от количества динамических нагружений

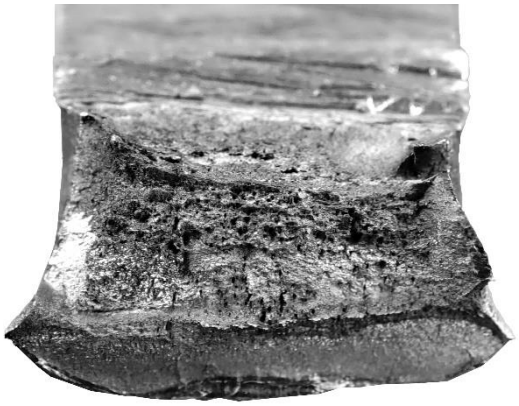


Рис. 5. Излом разрушенного образца из стали Ст3

После окончательного разрушения образца был изучен его излом (рис. 5). Представленный на рис. 5 вид излома характерен для вязких, пластичных материалов. Поверхность излома негладкая, матовая, хорошо рассеивает световые лучи. Строение поверхности излома волокнистое, на поверхности излома наблюдается значительная зона пластической деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадов А.У.Х., Пучков П.В. Вопросу о хладноломкости конструкционных сталей. В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов XII всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 170-173.

2. Киселев В.В., Зарубин В.П. Повышение износостойкости шарнирных соединений карданных передач пожарных автомобилей. / Пожарная и аварийная безопасность. 2023. № 1 (28). С. 7-13.

3. Зарубин В.П., Киселев В.В. Применение алмазного выглаживания для повышения износостойкости поверхностей валов пожарных насосов. / Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18. № 10 (214). С. 451-453.

4. Пучков П.В., Иванов В.Е. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 1. С. 85-87.

УДК 614.843.63

Е. Г. Казутин
ГУО «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЦИСТЕРНАМ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: Проанализированы основные параметры определяющие надежность пожарных автомобилей и их установленных на них цистерн. Введено понятие нового параметра теории надежности – расход ресурса.

Ключевые слова: пожарная автоцистерна, цистерна, предельное состояние, ресурс, расход ресурса.

E. G. Kazutin

THE MAIN REQUIREMENTS FOR THE TANKS OF FIRE TRUCKS

Abstracts: The main parameters determining the reliability of fire trucks and their tanks installed on them are analyzed. The concept of a new parameter of reliability theory – resource consumption is introduced.

Keywords: fire tanker, tank, limit condition, resource, resource consumption.

К пожарным автомобилям (далее – ПА) и установленным на них цистернам предъявляется ряд требований, изложенных в нормативно-технической документации [1, 2]. Пожарная автоцистерна (далее – ПАЦ) должна обеспечивать высокую боевую готовность, оперативность прибытия к месту вызова и эффективность подачи огне-

© Казутин Е. Г., 2023

тушащих веществ. Поэтому надежность для ПАЦ является важнейшей ее составляющей. В ГОСТ 27.002-89 [3] определено, что это свойство выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Одним из свойств надежности, определяющим сохранность работоспособного состояния ПАЦ до наступления предельного состояния (далее – ПС) является долговечность. Одна из проблем при оценке долговечности – это разделение наступления отказов и ПС [4–8].

В свою очередь показателем долговечности, характеризующим запас возможной наработки ПАЦ от начала эксплуатации или после проведения ремонта до наступления ПС, является ресурс [3]. Согласно [9, с. 5, 6], под понятием «ресурс изделия» принято понимать его собственный технический ресурс. В зависимости от того, как выбирают начальный момент времени, в каких единицах измеряют продолжительность эксплуатации и что понимают под ПС, понятие ресурса, естественно, получает различное толкование. В качестве меры продолжительности может быть выбран любой неубывающий параметр, характеризующий продолжительность эксплуатации объекта. Для самолетов и авиационных двигателей естественной мерой ресурса служит налет в часах, для автомобилей (в том числе ПА) – пробег в километрах и т.п. Если наработку измерять числом циклов, то ресурс будет принимать дискретные значения [10, 11]. Чаще всего продолжительность измеряется временным параметром. В зарубежных изданиях используется подход, в котором «ресурс» связан с денежным эквивалентом, за который можно реализовать в дальнейшем изделие в течение короткого времени, что расширяет данное понятие по отношению к техническим средствам [12]. Часто физические процессы, связанные с изменением ресурсных свойств и приводящие к снижению стоимости объекта, называются физическим износом [13, с. 71, 72]. В применяемой методике оценки недвижимости, машин и оборудования [14, 15] определение физического износа производится через остаточный ресурс. Физический износ, используемый при оценке стоимости машин и износ в результате механических действий (например, трения) имеют различное значение. В механике под изнашиванием понимают процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Износ – результат изнашивания, может выражаться в единицах длины, объема, массы и других. Количественно эти параметры в процессе эксплуатации, как правило, изменяются незначительно. Таким образом, анализ определений физического износа и остаточного ресурса показывает, что они не являются взаимодополняющими понятиями, хотя логически их сумма равна начальному ресурсу объекта оценки. Анализ материалов по определению ресурса автомобильной, тракторной, строительно-дорожной, пожарной и других видов техники показывает, что само понятие ресурса до ПС машины в них трактуется по-разному. При этом для квалификации факта исчерпания ресурса привлекаются разнообразные критерии. Например, для пожарной техники ПС регламентируют гамма-процентные ресурсы агрегатов и средний срок службы до списания, капитального ремонта (далее – КР) [16, с. 23]. Ресурс сложных технических изделий, к которым относятся и ПАЦ, является важной технико-экономической характеристикой. При этом фактический ресурс должен быть согласован с оптимальными значениями срока службы, продолжительностью от начала эксплуатации (после проведения КР) до достижения ПС. К сожалению,

назначенный ресурс в большинстве отраслей не достигает оптимальных с экономической точки зрения значений, а по ряду изделий средний фактический ресурс оказывается меньше назначенного [17]. Задачи оценки ресурса ПА (цистерны) должны иметь место при проектировании, эксплуатации, хранении, после проведения ремонта и выработки ресурса. Для ПАЦ методики оценки остаточного ресурса через стоимость неприемлемы, если их рассматривать с технической точки зрения. Нельзя утверждать, что чем дороже составная часть объекта, тем большим ресурсом она обладает. Ресурс сложного объекта со многими составными частями, как правило, определяется с помощью ряда логических условий, описывающих комбинации ПС основных составных частей [18, с. 115]. Можно предположить ситуацию, когда ПАЦ имеет отдельные работоспособные элементы после того, как будет выработан весь ее ресурс и достигнуто ПС. ПАЦ, как совокупность деталей, будет обладать определенным ресурсным потенциалом до тех пор, пока остается работоспособной хотя бы одна из ее деталей, имеющая остаточный ресурс, отличный от нулевого значения. В этих условиях расходы ресурсов основных частей и их деталей различны. Это обстоятельство используется на практике, когда после списания ПАЦ ряд ее агрегатов (узлов, деталей), сохранивших работоспособность, в том числе и цистерны, устанавливаются на другие ПА [19]. Для восполнения отсутствующего пробела в терминологии надежности [3] и разработки метода оценки расхода ресурса мобильных машин, в работе [20] введено понятие расхода ресурса автомобиля. Оно позволяет оценивать изменение ресурсного потенциала машины в процессе ее жизненного цикла. В монографии [21] определено, что расход ресурса составных частей мобильной техники должен включать учет двух факторов: пробега (наработки) и времени эксплуатации (коррозионного воздействия). В этой связи целесообразно разработать рациональные подходы к оценке действия обоих факторов при определении ресурса цистерн ПА.

Ресурс цистерны ПА равен сумме расхода ресурса и остаточного ресурса. Если в режиме ожидания основное воздействие на расход ресурса цистерн ПА оказывает агрессивность коррозионной среды – перевозимой жидкости, то в режиме использования добавляется ее динамическое перемещение и нагружение конструкции (крепления) цистерны и ПА. Эти воздействия следует суммарно оценивать в результате эксплуатации ПА для оценки расхода ресурса. Это понятие применяется и к цистерне ПА, как неотъемлемой его части, имеющей специфический жизненный цикл (постоянно чередующиеся режимы ожидания и использования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система стандартов пожарной безопасности. Автомобили пожарные основные. Общие технические требования. Методы испытаний : СТБ 11.13.24-2017. – Введ. 01.03.18. – Минск : Учреждение «НИИ ПБ и ПЧС» МЧС Респ. Беларусь, 2018. – 54 с.

2. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытания : ГОСТ 34350-2017. – Введ. 01.12.2019. – М. : Стандартинформ, 2018. – 68 с.

3. Надежность в технике. Термины и определения : ГОСТ 27.002-89. – Введ. 01.07.1990. – М. : Госуд. комитет СССР по стандартам, 1989. – 36 с.

4. Рабинович, А. Ш. Классификация отказов при определении ресурса сопряжения, узла, агрегата // Труды ГОСНИТИ – А. Ш. Рабинович, Л. Н. Лельчук, А. А. Сельцер. – М., 1973. Т.37.

5. Сельскохозяйственная техника. Надежность. Порядок определения показателей : ТКП 282-2010 (02150). – Введ. 01.06.2011. – Минск : БелГИСС, 2012. – 43 с.

6. РТМ 70.0001.246-84. Критерии предельного состояния тракторов и их составных частей. – М., 1985.

7. Хазов, Б. В. Справочник по расчету машин на стадии проектирования / Б. В. Хазов, Б. А. Дидусев. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

8. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации : РД 26.260.004.91. – Введ. 01.01.1992. – М., 1992. – 31 с.

9. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1984. – 312 с.

10. Дубов, А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Безопасность труда в промышленности. 2003. № 3. С. 46–49.

11. Шевнин, В. М. Методы оценки остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы / В. М. Шевнин, Ю. М. Гофман // Подъемные сооружения и спец. техника. – 2001. – № 2. – С. 25–26.

12. Дубровин, В. И. Методы оценки остаточного ресурса изделий (обзор) / В. И. Дубровин, В. А. Клименко // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 162–168.

13. Ковалев, А. П. Оценка стоимости машин, оборудования и транспортных средств / А. П. Ковалев [и др.]. – М. : Интерреклама, 2003. – 488 с.

14. Саммигулин, Г. Х. Алгоритм расчета остаточного ресурса производственных зданий и сооружений по значениям параметров технического состояния / Г. Х. Саммигулин // Инновационная наука. – 2016. – №1 (13). – С. 124–128.

15. Лейфер, Л. А. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей / Л. А. Лейфер, П. М. Кашникова // Имущественные отношения в РФ. – 2008. – № 1 (76). – С. 66–79.

16. Кулаковский, Б. Л. Пожарная аварийно-спасательная техника и связь : учеб. / Б. Л. Кулаковский. – В 2 ч. Ч. 2, кн. 1. – Минск : КИИ МЧС, 2013. – 264 с.

17. Ксендзов, В. Н. Прогнозирование остаточного ресурса деталей приводов машин / В. Н. Ксендзов, Г. А. Дыко, С. П. Мурашко // Надёжность и контроль качества. – 1988. – № 10. – С. 18–24.

18. Волков, Д. Н. Надежность строительных машин и оборудования / Д. Н. Волков, С. Н. Николаев. – М. : Высш. школа, 1979. – 400 с.

19. Об утверждении инструкции о порядке списания имущества, относящегося к основным средствам в Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, подчиненных ему органов, подразделениях и организациях : приказ МЧС Республики Беларусь, 31 дек. 2015 г., № 294. – Минск, 2015. – 42 с.

20. Альгин, В. Б. Расчет реальной надежности машин. Подход ресурсной механики / В. Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 1 (14). – С. 10–20.

21. Альгин, В. Б. Расчет мобильной техники : кинематика, динамика, ресурс / В. Б. Альгин. – Минск : Беларус. наука, 2014. – 171 с.

УДК 621.039.586

И. А. Кайбичев
Уральский институт ГПС МЧС России

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ПОЖАРАМИ НА РЕАКТОРАХ ТИПА РМБК НА ОСНОВЕ ОСЦИЛЛЯТОРА AROON

Аннотация: Рассмотрена возможность применения осциллятора Aroon для технического анализа временного интервала между пожарами на реакторах типа РМБК.

Ключевые слова: технический анализ, осциллятор Aroon, временной интервал между пожарами, реакторы типа РМБК

I. A. Kaibichev
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia

TECHNICAL ANALYSIS OF THE TIME INTERVAL BETWEEN FIRE IN RMBC TYPE REACTORS BASED ON THE AROON OSCILLATOR

Abstract: The possibility of using the Aroon oscillator for technical analysis of the time interval between fires at RMBC reactors is considered.

Keywords: technical analysis, Aroon oscillator, time interval between fires, RMBC type reactors

Для оценки ситуации на фондовом рынке применяют технический анализ [1, 2]. В качестве рабочих инструментов используют индикаторы и осцилляторы [3, 4].

Исследуем возможность использования одного из популярных инструментов технического анализа осциллятора Aroon [5] к оценке ситуации с пожарами на реакторах большой мощности канальных (РМБК). На данный момент времени в Российской Федерации работают 11 реакторов большой мощности канальных [6]. На территории СССР и РФ в период 1974 – 2019 годов [6] зарегистрировано 7 пожаров на реакторах РМБК (табл. 1).

© Кайбичев И. А., 2023

Таблица 1. **Пожары на АЭС в период с 1974 по 2019 годы**

№	Дата	Название АЭС	Причина	Объекты возникновения пожаров
1	07.01. 1974	Ленинградская	Техническая неисправность	Корпус реактора
2	30.11.1975	Ленинградская	Техническая неисправность, ошибка персонала	Контур реактора и системы охлаждения
3	26.04.1986	Чернобыльская	По вине персонала	Активная зона реактора
4	05.09.1988	Игналинская	Техническая неисправность	Трансформаторы и кабельные каналы
5	11.10.1991	Чернобыльская	Техническая неисправность	Трансформаторы и кабельные каналы
6	10.02.2008	Курская	Техническая неисправность	Датчики и механизмы системы давления
7	18.02.2018	Курская	Техническая неисправность	Трансформаторы и кабельные каналы

От причин пожаров в целях дальнейшего анализа абстрагируемся. Нас интересует временной интервал между пожарами. Расчет количества дней между пожарами выполним с помощью программы Microsoft Excel (рис. 1). Наличие заметных колебаний на графике временного интервала между авариями (рис. 2) приводит к выводу о нецелесообразности использования регрессионного анализа [7-9] на всем имеющемся промежутке наблюдения. Поэтому применим для анализа осциллятор Aroon [5].

В основе схемы расчета осциллятора Aroon [5] лежит следующий алгоритм. На первом этапе нужно выбрать размер скользящего окна в n периодов. Для определенности положим n = 4.

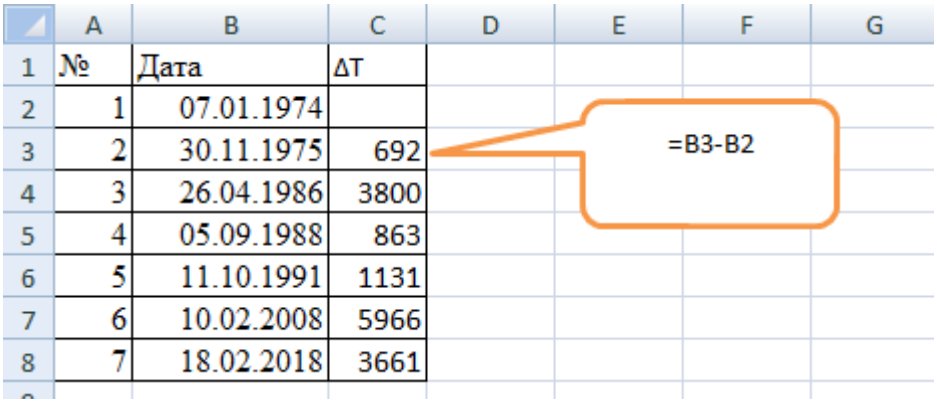


Рис. 1. Расчет количества дней между пожарами

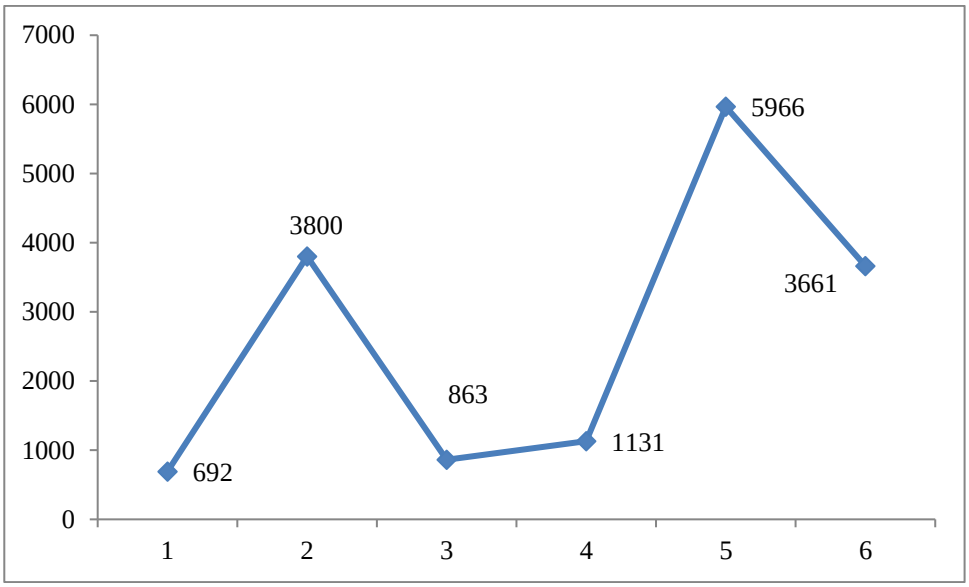


Рис. 2. Временной интервал между пожарами (кол-во дней)

На втором этапе с помощью программы Microsofr Excel внутри данного скользящего окна (рис. 3) определим максимум (выделен красным) и минимум (выделен синим).

	A	B	C	D	E	F	G
1	692	4					
2	3800	1					
3	863	3					
4	1131	2	H	L			
5			2	3			

=РАНГ(A1;$A$1:$A$4;0)

Рис. 3. Скользящее окно в 4 члена ряда

С помощью функции РАНГ определим ранги в рассматриваемом диапазоне 1–4 членов ряда временного промежутка между пожарами. В данном случае максимум внутри скользящего окна расположен вторым (2 член ряда), после него нет есть 2 периода. Поэтому, количество периодов после максимума H=2. Минимум расположен в начале окна (1 член ряда), до конца окна есть 3 периода. Поэтому, количество периодов после минимума L=3.

Третий этап состоит из двух операций. В первой производится расчет показателей Aroon Up и Aroon Down

$$\text{Aroon Up} = 100 * (\text{n} - \text{H})/\text{n}; \quad (1)$$

$$\text{Aroon Down} = 100 * (\text{n} - \text{L})/\text{n}. \quad (2)$$

Показатель Aroon Up дает число периодов (в процентном виде), прошедших после максимума в скользящем окне от общего количества периодов n. В нашем случае H=2 и показатель Aroon Up=50.

Показатель Aroon Down рассчитывает число периодов (в процентном виде), прошедших после достижения ценой минимума за последние n периодов, от общего количества периодов n. В нашем случае L=3 и показатель Aroon Down=25.

Вторая операция рассчитывает значение осциллятора Aroon:

$$\text{Aroon} = \text{Aroon Up} - \text{Aroon Down}. \quad (3)$$

В нашей ситуации Aroon=25. Положительное значение осциллятора дает прогноз роста временного интервала между пожарами для 5 члена ряда (значение которого на момент расчета осциллятора Aroon не известно). Реальное значение 5 члена ряда составило 5966 дней (рис. 1). Имеет место рост с 1131 дня (4 член ряда) до 5966 дней (5 член ряда). В итоге делаем вывод, что прогноз роста совпал с фактической обстановкой.

Следующее действие алгоритма состоит в сдвиге скользящего окна на 1 член ряда (рис. 4).

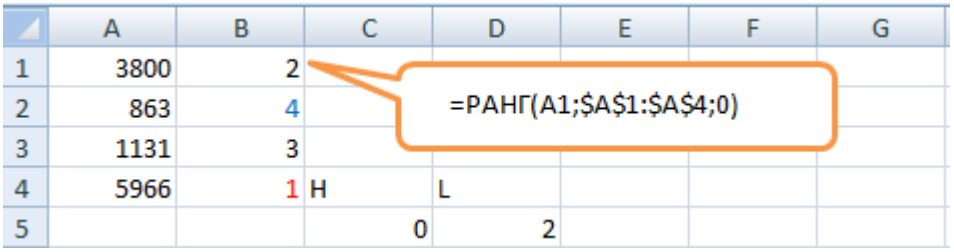


Рис. 4. Скользящее окно после сдвига

Видно, что максимум расположен в окне на 4 позиции, поэтому H=0. Минимум расположен вторым в окне, после него есть 2 периода, поэтому L=2. В результате повторения алгоритма расчета осциллятора даст значение осциллятора Aroon=75. Следовательно, в для 6 члена ряда можно ожидать рост временного интервала между пожарами. Реальное значение 6 члена ряда составило 3661. Наблюдаем спад с 5966 дней (5 член ряда) до 3661 дней (6 член ряда). В итоге делаем вывод, что прогноз роста не совпал с фактической обстановкой.

Рассмотренный в исследовании технический анализ временного периода между пожарами на реакторах РМБК с помощью осциллятора Aroon может дополнить ранее широко применявшийся метод регрессионного анализа [7–9]. Наличие заметных колебаний временного интервала между пожарами (рис. 1) приводит к необходимости использования нелинейных моделей, прогнозирование с помощью которых на практике редко дает совпадение прогноза с фактической обстановкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мэрфи Д.Дж. Технический анализ фьючерсных рынков: Теория и практика. - М.: Сокол, 1996- 479 с.

2. Швагер Дж. Технический анализ. Полный курс. – М.: Альпина Паблишер, 2001. – 768 с.

3. Achelis S. B. Technical analysis from A to Z. NY: McGraw-Hill, 2001. - 267 p.

4. Colby R.W. The encyclopedia of technical market indicators. NY: McGraw-Hill, 2003. - 177 p.

5. Chande T.S. The Time Price Oscillator // Technical Analysis of Stocks & Commodities, 1995, v. 13, N 9. - P. 360-374.

6. Титов С.А., Барбин Н.М., Кобелев А.М., Прытков Л.Н. Системный и статистический анализ пожаров, произошедших на реакторах типа РБМК // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 22 апреля 2022 года, г. Железногорск – Изд-во: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. - с. 199 – 201.

7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – М.: «Диалектика», 2007. – 912 с.

8. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.

9. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа. – К.: «Корнийчук», 2011. – 376 с.

УДК 681

К. А. Катаев, В. В. Киселев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ВЫБОР ШАССИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ НАЗЕМНОГО ПРИМНЕНЕНИЯ

Аннотация: в статье приведен краткий обзор существующих пожарных роботизированных устройств. Описываются применяемые в роботизированных устройствах типы шасси. Указаны преимущества и недостатки различных типов шасси. Сформулировано предложение по выбору шасси наземных мобильных роботизированных устройств.

Ключевые слова: тип шасси, роботизированное устройство, пожар, мобильность, движитель.

K. A. Kataevv, V. V. Kiselev

CHOICE OF CHASSIS FOR MOBILE ROBOTIC DEVICES FOR GROUND APPLICATIONS

Abstracts: the article provides a brief overview of the existing fire-fighting robotic devices. The types of chassis used in robotic devices are described. The advantages and disadvantages of various types of chassis are indicated. A proposal has been formulated for choosing a chassis for ground-based mobile robotic devices.

Keywords: chassis type, robotic device, fire, mobility, propulsion.

© Катаев К. А., Киселев В. В., 2023

Под повышением эффективности противопожарной защиты, понимается укомплектование подразделений пожарными автомобилями и использование современных технических средств при тушении пожаров с целью минимизации воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество.

Термин «роботизированное устройство» можно определить как универсальное автоматизированное устройство для осуществления механических действий [1, 2]. Именно стремление заменить человека на тяжелых и опасных работах и породило сначала идею робота, затем первые попытки ее реализации и, наконец, возникновение и развитие современной робототехники и роботостроения.

Достижения в области робототехники не перестают удивлять. Современные роботы используются во всех отраслях: в боевой сфере, в медицине, в промышленности, в быту, в науке, также есть роботы, которые обеспечивают безопасность. Роботы расширяют понимание людей в областях науки и помогают нам узнавать, что-то новое там, где возможности человека ограничены. Исключением не являются и роботы, которые находятся на вооружении у пожарных и спасателей [3].

Профессия пожарного и спасателя связана с опасной работой, они занимаются ликвидацией аварий, пожаров, а также последствий других чрезвычайных ситуаций. Пожары и стихийные бедствия сопровождаются наличием разнообразных опасных факторов – повышенных температур, взрыво- и газоопасных сред, которые несут угрозу не только здоровью, но часто и жизни пожарного. Для снижения вероятности поражения людей в настоящее время все шире находят свое применение разнообразные безлюдные технологии, в частности применяются роботизированные установки стационарные или подвижные.

Наибольшее распространение в пожарном деле получили наземные робототехнические устройства, которые применяются при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. Отечественными производителями выпущены различные образцы такой техники. Наибольшую известность получили такие роботизированные машины, как пожарный робот тяжелого класса, гусеничная платформа с лафетным стволом Ель-10, радиоуправляемый робототехнический комплекс пожаротушения Кедр, легкий мобильный робототехнический комплекс пожаротушения ЛУФ-60, мобильная телеуправляемая гусеничная установка Прометей и другие.

Подавляющее большинство роботизированных устройств имеют несколько общих качеств. Прежде всего, почти у всех подвижный корпус. Роботы вращают колеса и шарнирно соединяют сегменты с каким-либо приводом. Некоторые роботы используют электрические двигатели и соленоиды в качестве исполнительных механизмов; некоторые гидравлическую систему; а другие используют пневматическую систему. Роботы могут использовать все эти типы приводов.

Из всех компонентов роботизированного устройства наибольшим консерватизмом отличается ходовая часть. Принципиально новых типов движителей ходового оборудования за последние годы серийно на подобную технику не устанавливалось. Все их можно разделить на следующие виды: колесные, гусеничные, шагающие, комбинированные, сочлененные [4, 5]. Чаще других в специальной робототехнике мы можем встретить колесные и гусеничные типы шасси.

Гусеничный движитель (рис. 1) – движитель самоходных машин, в котором тяговое усилие создаётся за счёт перематывания гусеничных лент. Гусеничный движитель обеспечивает повышенную проходимость. Большая площадь соприкосновения гусениц с почвой позволяет обеспечить низкое среднее давление на грунт. Тем самым гусеничный движитель предохраняется от глубокого погружения в грунт.

Рис. 1. Роботизированное устройство на гусеничном движителе

Составные части гусеничного движителя:
- ведущее колесо;
- гусеницы;
- опорные катки;
- поддерживающие катки;
- механизм натяжения с ленивцами.

К недостаткам гусеничного движителя относят быстрый износ трущихся деталей (проушины, пальцы), поломки траков при неравномерной нагрузке, попадания снега и камней между гусеницами и катками. Однако, все указанные недостатки несоизмеримы с тем преимуществом, которым обладает гусеничный движитель – это отменная проходимость, возможность работы в условиях бездорожья и пересеченной местности.

Для автотранспортных роботизированных средств достаточно широкое применение получил колесный движитель. Колесом называется конструкция, состоящая из пневматической шины, обода, соединительного элемента и ступицы [6, 7]. Шина осуществляет связь транспортного средства с дорогой; на обод монтируют шину; ступица служит для связи колеса с рамой транспортного средства; соединительный элемент воспринимает и передает нагрузки от обода на ступицу (рис. 2).

Рис. 2. Роботизированное устройство на колесном движителе

Использование шин положительно влияет на технические характеристики робота. Во-первых, это увеличивает мощность тягового стержня, так как нагрузка по сравнению с гусеничными машинами распределяется более равномерно, позволяя развивать большую скорость. Во-вторых, обеспечивает большую мощность передней оси, так как вес равномернее распределяется через переднюю часть трактора. В-третьих, улучшает поведение робота при поворотах, предотвращая потерю мощности. В-четвертых, снижает давление на почву, создавая при этом большие «следы» за счет сниженного давления воздуха. Как следствие – распределение веса уменьшает уплотнение почвы.

К преимуществам колесных типов шасси можно отнести низкую, по сравнению с гусеничными, стоимость шин и лучшее рулевое управление. Также не маловажным преимуществом является большая скорость передвижения, развиваемая колесными роботами.

Шагающие роботы представляют собой класс роботов, имитирующих передвижение животных или насекомых. Как правило, для передвижения роботы используют механические ноги. Шагающие роботы могут передвигаться по пересеченной местности, недоступной для обычных колесных и гусеничных транспортных средств. Шагающие машины по сравнению с традиционными колёсными и гусеничными машинами имеют ряд преимуществ перед традиционными транспортными средствами при движении по поверхности со сложным рельефом, такими как завалы, а также внутри зданий и сооружений, где необходимо перемещаться по лестницам и узким коридорам и шахтам [8]. Практического применения подобных роботизированных устройств в настоящее время не выявлено.

В таблице представлены выявленные в ходе изучения данного вопроса основные технико-экономические показатели, свойственные различным типам шасси роботизированных устройств.

Таблица. **Технико-экономические показатели шасси роботизированных устройств**

Тип шасси	**Технико-экономические показатели шасси**			
	Стоимость при одинаковых размерах	**Скорость**	**Проходимость**	**КПД**
Колесное шасси	Низкая-средняя	Высокая	Низкая-средняя	Высокий
Гусеничное шасси	средняя	Средняя	Средняя-высокая	Средний
Шагающее шасси	Высокая	Низкая	Потенциально очень высокая	Низкий

Таким образом, основными преимуществами колесного шасси станут наличие в приводе одного двигателя и простота системы управления электроприводами ведущих колес. К недостаткам такого типа шасси можно отнести относительно невысокую маневренность и низкую проходимость по пересеченной местности. Указанные недостатки являются существенными при создании автоматизированных транспортных средств для последующей оснастки пожарным оборудованием и примене-

ния в полевых условиях, поэтому считаем, что лучше для целей пожаротушения подходит гусеничный тип шасси, отличающийся высокой маневренностью и повышенной проходимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейктал Дж. Конструируем роботов на Arduino. Первые шаги. - М.: Лаборатория знаний, 2016. 320 с.

2. Корягин А. В. Образовательная робототехника Lego WeDo. Сборник методических рекомендаций и практикумов. - М.: ДМК Пресс, 2016. 254 с.

3. Вокуев Д.Н., Иванов В.Е., Пучков П.В. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 456-459.

4. Иванов В.Е., Головатенко А.Ю. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 224-227.

5. Пучков П.В., Иванов В.Е. Роль 3D моделирования при изучении дисциплины «Инжерерная графика». Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию со Дня образования учебного заведения и Году пожарной охраны России (14 апреля 2016 г.)/ Под общ. ред. В.В. Киселёва. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России РФ, 2016, с. 341-343.

6. Фокин, В. Г. Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем / В. Г. Фокин, С. В. Шаныгин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 18 (98). – С. 207-215.

7. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций. Баканов М.О., Тараканов Д.В. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1 (373). С. 173-177.

8. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций. Баканов М.О., Тараканов Д.В., Анкудинов М.В. Мониторинг. Наука и технологии. 2017. № 3 (32). С. 77-80.

УДК 621

Д. С. Кензеев, Н. А. Кропотова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБОСНОВАНИЕ ПОСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ И ЕГО ПЛАНОМЕРНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Аннотация: в статье обосновано совершенствование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники. Для снижения профессиональных рисков, нагрузки на водителей и личный состав подразделений, задействованных на проведение технического обслуживания и ремонта пожарной техники, представлены основные показатели результативности. Авторы приводят основные показатели, которые ведут к изменениям и совершенствованию проводимых работ.

Ключевые слова: ремонт техники, пожарная охрана, пост технического обслуживания, показатели результативности, республика Калмыкия.

D. S. Kenzeev, N. A. Kropotova

JUSTIFICATION OF THE POST OF MAINTENANCE AND REPAIR OF FIRE EQUIPMENT AND ITS SYSTEMATIC IMPROVEMENT

Abstracts: The article substantiates the improvement of the post of maintenance and repair of fire equipment. To reduce professional risks, the load on drivers and personnel of the units involved in the maintenance and repair of fire equipment, the main indicators are presented. The authors give the main indicators that lead to changes and improvement of the work carried out.

Keywords: repair of equipment, fire protection, maintenance post, performance indicators.

Пожарная техника является материальной основой обеспечения тактических действий подразделений государственной противопожарной службы (ГПС) по ликвидации пожаров и их последствий. К сожалению статистический анализ не утешительный на территории ГУ МЧС России по Республике Калмыкия (рис. 1).

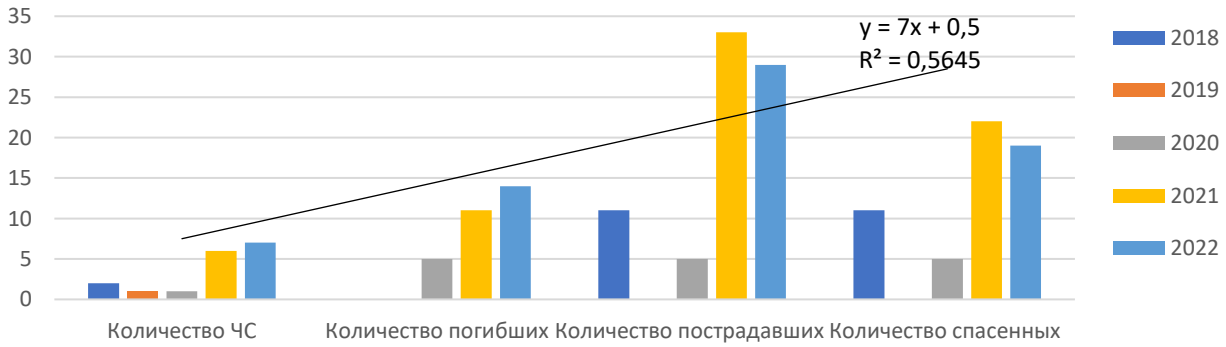


Рис. 1. Количество чрезвычайных ситуаций и их последствия

© Кензеев Д. С., Кропотова Н. А., 2023

Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что количество пострадавших увеличивается с каждым годом. Такая тенденция объясняется развитием инфраструктуры и повышением нагрузки на городские коммуникации энергетического комплекса.

От её технического состояния, умения личного состава правильно эксплуатировать весь комплекс, находящегося в его распоряжении оборудования и снаряжении, а также пожарную технику в целом зависит боеготовность и оперативные возможности ГПС.

Одно из основных подсистем ГПС является её техническая служба. Для решения стоящих перед технической службой задач необходимы знание закономерностей изменения технического состояния тех или иных видов пожарной техники, и зависимость от параметров внешней среды и условий эксплуатации. Знание этих закономерностей является одним из условий разработки и применение научно-обоснованных методов поддержания пожарной техники в исправном состоянии. Указанные методы базируются на использовании математической статистики, теории надежности, технической диагностики.

В современных условиях тушения пожаров различных классов значительно отличается друг от друга. В каждом конкретном случае необходимо применять технические средства, дающие наибольший эффект тушения [1]. В зависимости от региона, направленности промышленных предприятий, находящихся в том или ином месте на территории России, изменяется их характер в эксплуатации пожарной технике, то есть интенсивность эксплуатации пожарных автомобилей того или иного вида находятся в неотъемлемой зависимости от особенности региона.

Следует отметить, что на вооружении подразделений ГУ МЧС России по республике Калмыкия стоят плавучие транспортные средства: моторные лодки, гидроциклы и др., а выполнить перечень мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту не позволяет материально-техническая база подразделения. Если по имеющимся данным, сторонними организациями по заключенным договорам: проведено технических обслуживаний – 181 ед. (в аналогичном периоде прошлого года (далее – АППГ) 62); текущих ремонтов – 55 ед. (91 % от плана) (АППГ – 24); капитальных ремонтов техники – 0 ед. (АППГ – 0 %). Показатель состояния планирования, технического обслуживания и ремонта вооружения и техники оценивается удовлетворительно. Выход из строя на пожарах при ликвидации чрезвычайных ситуаций составил 13 случаев (АППГ – 15). Коэффициент технической готовности (далее – КТГ) составляет 0,95 % (АППГ 0,71 %).

По статистике основной причиной отказов техники являются низкое качество изготовления образцов и отсутствие на рынке запасных частей с удовлетворительным качеством. Кроме того, на интенсивность отказа в работе пожарной техники влияют и такие показатели как, высокая или низкая температура воздуха, качество дорожного покрытия, качество огнетушащих средств.

Так как в подразделениях Главного управления МЧС России по Республике Калмыкия количество выездов пожарной техники в разных подразделениях различается, соответственно это дает возможность для перераспределения образцов вооружения между подразделениями путем замены техники из подразделения с наименьшей интенсивностью выездов в подразделения с наибольшей интенсивностью. За основные параметры замены техники принимаем: срок эксплуатации, частоту использования, наработку специального оборудования, общий пробег. Общий пробег

складывается из пробега по спидометру шасси и приведенного пробега. Приведенный пробег рассчитывается: из расчета 1 час работы двигателя со стационарным агрегатом равен 50 км пробега автомобиля.

Основными недостатками в эксплуатации пожарной техники в гарнизоне можно выделить:

- моральное и физическое старение – длительный срок эксплуатации.
- низкое качество или формальное проведение технического обслуживания автомобилей водительским составом.
- дефицит автомобильных запчастей и неполное финансирование материальных статей.
- отсутствие в гарнизоне автомобилей дымоудаления.
- комплектование пожарной техники пожарно-техническим оборудованием и вооружением осуществляется согласно нормам табельной положенности, но в тоже время имеет место некомплект пожарно-технического вооружения на резервных автомобилях.

Средний годовой пробег основных пожарных автомобилей составляет по гарнизону: для автоцистерн – 4478,5 км; средняя годовая наработка двигателей при работе в стационарных условиях для автоцистерн – 360 часов.

Ежедневный запуск и работа двигателя при смене караулов продолжается в течении нескольких минут. За этот промежуток времени система охлаждения, смазки, питания и их приборы не полностью выходят на стационарный режим работы. Это, в конечном итоге, сказывается на их работоспособности, а, следовательно, на надежности работы двигателя в целом.

Следование автомобиля на пожар является экстремальной ситуацией. В Связи с необходимостью прибытия к месту пожара в минимальное время оно осуществляется практически на непрогретом двигателе. Значительную нагрузку несут также детали силовой передачи и ходовой части автомобиля. Условия работы механизмов и систем двигателя на пожаре более благоприятны по сравнению с их работой в период следования их на пожар. В то же время насос и его привод работают в экстремальном режиме.

Возвращение автомобилей с места пожара, проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (далее – АСРиДНР), движение при выезде на практическое занятие или учение производятся в более спокойной обстановке; в соответствии с общей интенсивностью движения транспорта в режиме.

Установлено, что наиболее вероятными причинами их невыполнения, в порядке уменьшения вероятности возникновения, могут быть неисправности: двигателя; силовой передачи и ходовой части; насоса и его привода; рулевого управления и тормозов; других механизмов и деталей автомобиля. Из наиболее характерных отказов агрегатов первой группы следует отметить такие: пробой прокладки головки блока цилиндров, пробой прокладки центробежного фильтра систем смазывания; отказ бензонасоса; катушки зажигания; карбюратора.

По силовой передаче и ходовой части в первую очередь следует назвать такие неисправности: поломка подшипников крестовин карданных соединений, срыв шпилек ступиц колес, ослабление крепления стремянок заднего моста. Для специальных агрегатов наиболее характерны: течь масла в коробке отбора мощности, срыв шпонки, засорение рабочего колеса.

В механизмах управления автомобиля наиболее часто встречаются следующие неисправности: разрыв диафрагмы в тормозных кранах; ослабление крепления наконечников поперечных тяг; течь масла в гидроусилителе рулевого управления.

Безотказная работа пожарных автомобилей на всех этапах эксплуатации может быть гарантирована только при условии тщательного и качественного выполнения всего объема работ, предусмотренных типовым перечнем по их техническому обслуживанию. Проводимая в настоящее время диагностика технического состояния пожарных автомобилей также нуждается в совершенствовании, целесообразна диагностика не столько двигателя в целом, сколько отдельных его приборов и систем. В условиях насыщения различных агрегатов новых пожарных автомобилей электронными приборами, более широкое применение автоматизированного управления их работой, постановке и осуществление этих вопросов является весьма актуальной.

В настоящее время свыше 20 % единиц пожарной техники подлежит списанию. Подавляющее большинство случаев за одни сутки подразделения совершают в среднем по одному выезду за сутки только на пожар, причем среднее время тушения пожара составляет 0,5–1,5 часа, а также проведение остальных выездов пожарной техники: АСРиДНР; дорожно-транспортные происшествия на дорогах; отработка плана боевой и профессиональной подготовки; оказание помощи организациям, населению; ложные выезды и т.д. На рис. 2 предоставлена диаграмма отказов элементов пожарной надстройки пожарных автоцистерн (в процентах к общему числу отказов). Анализ данных показывает, что на первом месте по числу отказов стоит вакуумная система пожарного автомобиля (до 30 %), далее следует насосная установка, включая в себя насос, задвижки, трубопроводы.

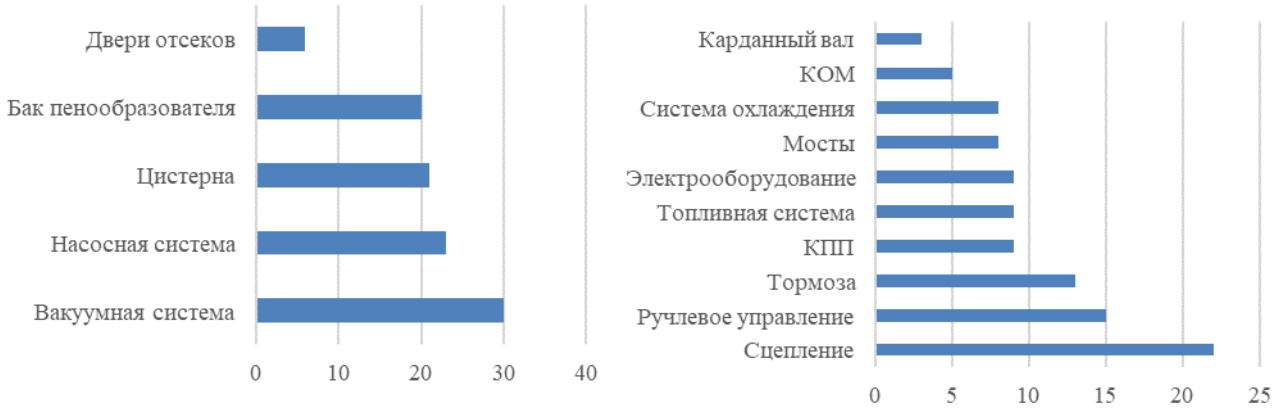


Рис. 2. Отказы элементов пожарной техники

То есть элементы системы, обеспечивающей безопасность движения автомобиля крайне опасным, особенно для оперативного транспорта, каким является пожарный автомобиль.

Полученные из гарнизона данные позволили установить, что в боевом расчёте пожарная техника поступает с различным уровнем надёжности в зависимости от того, на каком предприятии они изготовлены, и какая марка шасси использована для монтажа. Так установлено, что наибольший процент отказов (43,5 %) зафиксирован по базовому шасси ЗИЛ. Во многом этот факт объясняется тем обстоятельством, что

ряд заводов изготовителей используют для производства новых пожарных автомобилей шасси, взятые из неприкосновенных запасов, в том числе в результате реформирования войск гражданской обороны. Эти автомобильные шасси требуют предварительного проведения капитального ремонта и тщательного предпродажного обслуживания, что часто на заводах-изготовителях пожарного вооружения не проводится. Отсюда и частые поломки элементов шасси в эксплуатации.

Проведённый анализ отказов элементов конструкции пожарной техники показал, что причины этих отказов можно сгруппировать по следующим признакам:

– низкое качество проектирования, даже если принятые конструктивные решения не классифицируются как проектные ошибки;

– применение устаревшей технологии изготовления при производстве пожарной техники нового поколения;

– низкое качество слесарно-сборочных работ на предприятии;

– неверный выбор материалов для изготовления элементов пожарной надстройки;

– низкое качество подготовки поверхностей под окраску, несовершенная технология окраски и сушки пожарной техники;

Главной же причиной выпуска пожарного автомобиля с недостаточной эксплуатационной надёжностью является отсутствие на отдельных предприятиях современной системы управления качеством продукции [2].

Проанализировав применение пожарной техники в Главном управлении МЧС России по Республике Калмыкия необходимо определить пути повышения готовности техники и разработать предложения по совершенствованию эксплуатации пожарной техники гарнизона. Предлагается управленческое решение по ежегодному рассмотрению вопроса о производстве ремонта пожарного автомобиля, передаче автомобиля в часть с меньшей интенсивностью выездов или о замене автомобиля новым. Обосновано решение создания поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники: во-первых, в обновлённом парке должны быть широко представлены пожарная техника новой генерации – многофункциональные пожарно-спасательные автомобили, которые могут решать весь спектр задач, отныне возложенных на пожарную охрану – как федеральную, так и субъектовую; во-вторых, поскольку проблемы тушения основной части пожаров переносятся на региональный уровень, то и формироваться парк будет не из федеральных, а из региональных и местных финансовых ресурсов, а также из внебюджетных средств.

Из этого следует, что в новых условиях парк должен быть в максимальной мере адоптирован к климатическим, транспортным, экономическим и социальным особенностям региона и быть адекватным финансовым ресурсам пожарной охраны субъекта Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотова Н.А. Организация ремонтного поста для сельскохозяйственной техники // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием посвященная 90-летию ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева». Том II: сборник материалов Всерос-

сийской научно-практической конференций – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2020. С. 92 – 95.

2. Хлынин А.Ю., Кропотова Н.А. Пост технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей – надежность техники // Электромеханотроника и управление// Пятнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2020. – С. 99.

УДК 534.2:621.37

А. Б. Колобов, Ф. Б. Огурцов
ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕПАРАТОРА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

Аннотация: приведены результаты статистического анализа частот возникновения ковровых импульсов в подшипниках качения и модального анализа конечно-элементной модели сепаратора и проведен сравнительный анализ результатов.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, высокочастотная вибрация, ковровые импульсы, собственные частоты, статистический анализ.

A. B. Kolobov, F. B. Ogurtsov

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE ROLLING BEARING SEPARATOR

Abstracts: the results of statistical analysis of the frequencies of occurrence of carpet pulses in rolling bearings and modal analysis of the finite element model of the separator are presented, and a comparative analysis of the results is carried out.

Keywords: vibration diagnostics, high-frequency vibration, carpet pulses, natural frequencies, statistical analysis.

Основной причиной потери работоспособности подшипников качения является износ и разрушение сепаратора, поэтому задача оценки его состояния методами неразрушающего контроля является актуальной. В рамках методов вибрационной диагностики оценка состояния сепаратора может быть получена путем статистического анализа высокочастотной вибрации подшипника, в частности путем исследования так называемых ковровых импульсов [1].

Целью работы является выявление корреляции между статистикой экспериментальной вибрации подшипника качения серии 203 и результатами анализа динамики его сепаратора.

На экспериментальном этапе работы были получены дампы узкополосной вибрации бездефектного подшипника, выделенной с помощью третьоктавного полосового фильтра с центральной частотой 16 кГц. Исследования проводились на испытательном стенде, структурная схема которого представлена на рис. 1.

© Колобов А. Б., Огурцов Ф. Б., 2023

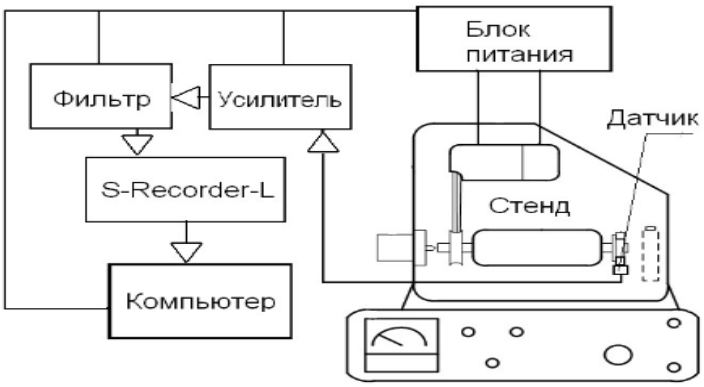


Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда

В процессе испытаний внутреннее кольцо подшипника вращалось с помощью электродвигателя с частотой порядка 1200 об/мин. Датчик вибрации устанавливался на наружном кольце подшипника. Сигнал с датчика усиливался, проходил через полосовой фильтр и далее подавался на вход блока аналого-цифрового преобразования S-Recorder-L. Результаты дискретизации исследуемого сигнала через интерфейс USB передавались на компьютер и сохранялись в виде файла. Дальнейшая обработка данных производилась в пакете MathCad.

В процессе этой обработки на первом этапе производилось выделение огибающей сигнала с использованием преобразования Гильберта. Далее проводилась дополнительная обработка, в результате которой были выделены локальные максимумы огибающей, то есть пиковые значения ковровых импульсов. Принцип выделения и график локальных максимумов представлен на рис. 2, где сплошной линией показан дамп огибающей сигнала виброускорения в третьоктавной полосе частот, а точками отмечены выделенные локальные максимумы. Экспериментально установлено. что разработанный алгоритм обеспечивает необходимую устойчивость и надежность выделения максимумов.

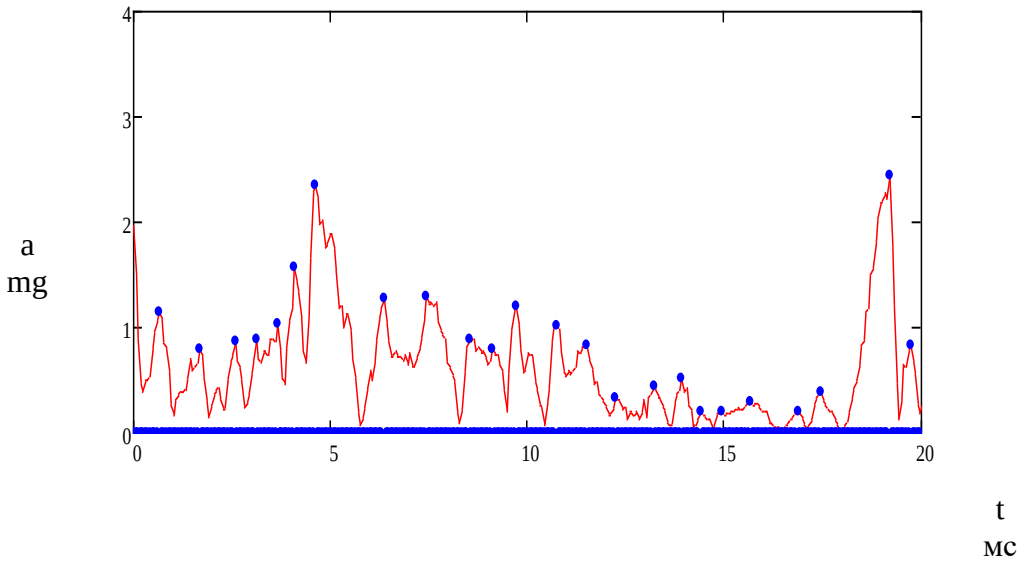


Рис. 2. Результат выделения локальных максимумов

Как отмечено в [1], статистическое распределение амплитуд ковровых импульсов для бездефектных подшипников подчиняется закону Релея, однако статистка периодичности их появления в данной работе не исследовалась. В настоящее время, согласно [1, 2], основной причиной высокочастотного шума подшипников и появления ковровых импульсов считается соударение тел качения с микронеровностями беговых дорожек. При таком объяснении интервал времени между соударениями зависит от множества факторов и является случайной величиной. Очевидно, что этом случае закон распределения периодичности появления ковровых импульсов в силу центральной предельной теоремы Гаусса должен быть близок к нормальному. Соответственно, плотность распределения вероятности должна быть непрерывной функцией.

Для исследования этого вопроса был проведен статистический анализ и построена гистограмма вероятности частоты появления ковровых импульсов, представленная на рис. 3.

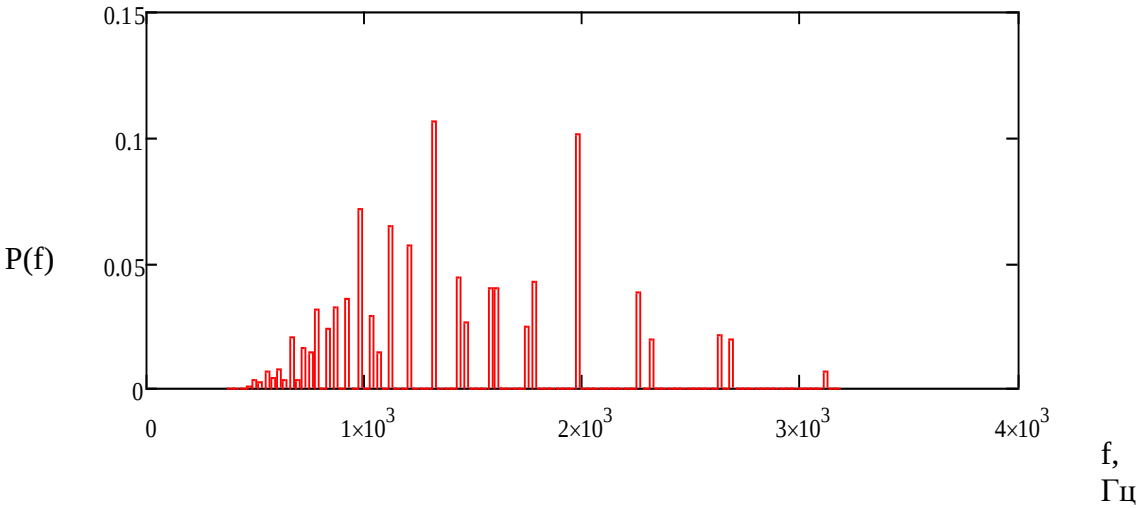


Рис. 3. Гистограмма вероятности частоты появления ковровых импульсов

Очевидно, что полученная оценка плотности вероятности является не непрерывной, а дискретной функцией, то есть физически появление ковровых импульсов обусловлено детерминированными процессами.

На данном этапе исследований была выдвинута гипотеза о том, что появление ковровых импульсов обусловлено выделением энергии в зоне контакта тел качения с беговыми дорожками, которая и обеспечивает вращение сепаратора, то есть импульсным контактным трением. Данный процесс из-за наличия упругих связей между телами качения за счет сепаратора потенциально может иметь характер автоколебаний. При этом частота колебаний будет определятся собственной частотой сепаратора подшипника. Соответственно, должна существовать корреляция между собственными частотами сепаратора и частотами появления ковровых импульсов.

В связи с этим был проведен модальный анализ конечно-элементной модели сепаратора подшипника серии 203, разработанной в программном пакете ANSYS WORKBENCH. Разработанная модель представлена на рис. 4.

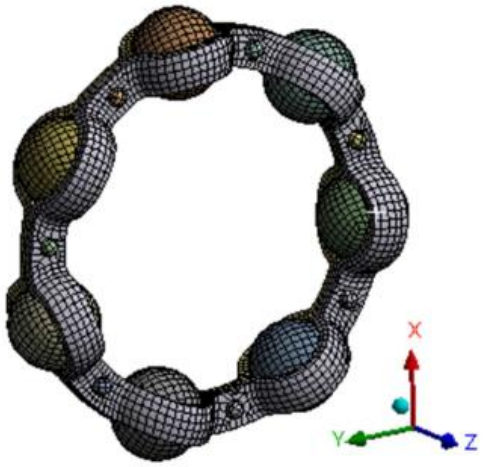


Рис. 4. Конечно-элементная модель сепаратора подшипника

Основной проблемой модального анализа является то обстоятельство, что для расчета собственных частот необходимо задание граничных условий, которые изначально неизвестны.

При расчете были рассмотрены следующие упрощенные частные случаи граничных условий:

1) жесткое закрепление одного тела качения;

2) жесткое закрепление двух тел качения, расположенных рядом;

3) запрещение перемещений по оси Z для двух тел качения.

Далее был проведен сравнительный анализ наиболее выраженных на гистограмме частот появления ковровых импульсов и полученных при расчете собственных частот сепаратора.

Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица. **Результаты сравнительного анализа**

Частота появления ковровых импульсов, Гц	**Собственная частота сепаратора, Гц (№ граничного условия/№ формы колебаний)**
774	834(1/1)
979	1045(2/1)
1329	1362(1/2)
1971	1797(3/3)

Как видно из полученных результатов, наблюдается удовлетворительное количественное совпадение значений частот для ряда частных случаев, что потенциально позволяет объяснить возникновение ковровых импульсов колебательными процессами в сепараторе на первых формах. Для более детального изучения этого вопроса необходимы дополнительные исследования.

Поскольку техническое состояние сепаратора существенно влияет на значения собственных частот, плотность распределения частоты появления ковровых импуль-

сов потенциально может служить диагностическим признаком для оценки состояния подшипника качения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие / А.В.Барков, Н.А.Баркова, А.Ю.Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. –159 с.

2. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р.Ширман, А.Б.Соловьев. – М.: ИД «Спектр», 1996. – 276 с.

УДК 534.2:621.37/39 (075)

А. Б. Колобов, Ф. Б. Огурцов
ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ВИБРОМОНИТОРИНГ И ВИБРОДИАГНОСТИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Аннотация: приведены основные результаты вибромониторинга и вибродиагностики центробежного вертикального насоса по общим параметрам вибрации и спектрам виброскорости и виброускорения, произведен анализ результатов.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, виброскорость, виброускорение, спектр, техническое состояние, подшипник, дефекты.

A. B. Kolobov, F. B. Ogurtsov

VIBROMONITORING AND VIBRODIAGNOSTICS OF THE VERTICAL CENTRIFUGAL PUMP

Abstracts: the main results of vibration monitoring and vibration diagnostics of a centrifugal vertical pump are given in terms of general vibration parameters and spectra of vibration velocity and vibration acceleration and an analysis of the results is made.

Keywords: vibration diagnostics, vibration velocity, vibration acceleration, spectrum, technical condition, bearing, defects.

На протяжении ряда лет на базе газовой котельной ФГБОУ ВО ИГЭУ проводятся работы по практической адаптации новых методических разработок по организации вибромониторинга и вибродиагностики электромеханических роторных машин, что существенно повысило эксплуатационную надежность и позволило оптимизировать техническое обслуживание (ТО). В работах [1–3] приведена методика установки границ зон технических состояний (ТС) и ограничительных уровней эксплуатации, основанная на статистическом анализе результатов измерений вибрации роторных машин. Метод выбора индивидуальных границ зон ТС, учитывающий режимные факторы работы и уровень ТО, позволяет установить объективные ограни-

© Колобов А. Б., Огурцов Ф. Б., 2023

чительные уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ по методике [1–3], дополняющей положения серии ГОСТ ИСО 10816.

В работе произведена оценка ТС сетевых насосов под номерами СН2 и СН3 с использованием ограничительного уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ с учетом рекомендуемых стандартных [4] и предложенных индивидуальных границ зон состояний [3].

Вибромониторинг насосов СН2 и СН3 проводился по величине СКЗ виброскорости широкополосной вибрации измеренной в т. 1–3 (маршрутная карта – рис. 1).

Результаты измерений вибрации насосов, оценка их текущего ТС и вывод о необходимости проведения диагностики сведены в табл. 1–4.

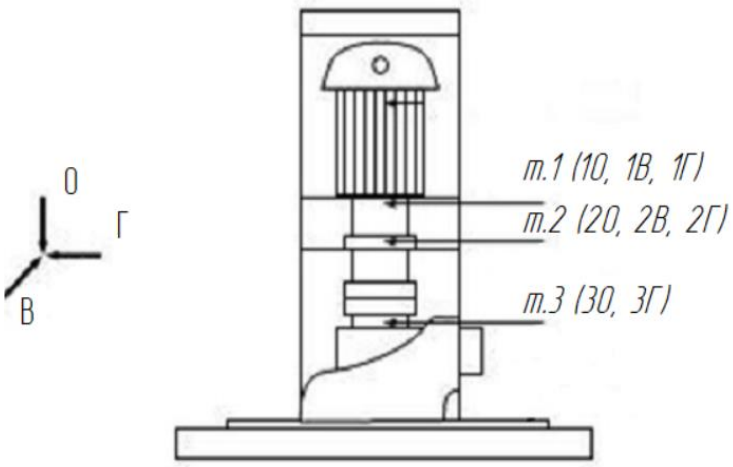


Рис. 1. Маршрутная карта контроля вибрации сетевого насоса:
1, 2, 3 – номера точек контроля;
В, Г, О – направления измерения вибрации

Таблица 1. **Состояние насоса СН2 по рекомендациям ГОСТ ИСО 10816-3-2002**

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения, мм/с	Границы зон состояний ГОСТ ИСО 10816-3, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОСТ ИСО 10816-3, установленный по базовому уровню, мм/с	Техническое состояние
			A/B	B/C	C/D		
1	в	2,9	1,4	2,8	4,5	**2,8**	**Зона С** **Требуется диагностика**
	г	4,0				**2,86**	
	о	3,3				**3,0**	
2	в	2,0				**1,83**	
	г	1,9				2,47	
	о	2,3				**1,97**	
3	г	2,8				**2,03**	
	о	1,3				1,93	

Таблица 2. **Состояние насоса СН2, оцененное по индивидуальным границам зон состояний (дополнение к ГОСТ ИСО 10816-3-2002)**

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения, мм/с	Индивидуальные границы зон состояний, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ установленный с учетом индивидуальных границ, мм/с	Техническое состояние
			A/B	B/C	C/D		
1	в	2,9	1,4	2,8	4,5	2,8	**Зона С** **Необходима диагностика (наличие развитого дефекта)**
	г	4,0				2,86	
	о	3,3				3,0	
2	в	2,0	1,12	1,8	2,8	1,6	
	г	1,9	1,4	2,3	3,5	2,12	
	о	2,3	1,12	1,8	2,8	1,56	
3	г	2,8	1,12	1,8	2,8	1,7	
	о	1,3	1,12	1,8	2,8	1,6	

Таблица 3. **Состояние насоса СН3 по рекомендациям ГОСТ ИСО 10816-3-2002**

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения, мм/с	Границы зон состояний ГОСТ ИСО 10816-3, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОСТ ИСО 10816-3, установленный по базовому уровню, мм/с	Техническое состояние
			A/B	B/C	C/D		
1	в	2,6	1,4	2,8	4,5	3,0	Зона В Не требуется диагностика
	г	2,4				3,5	
	о	2,5				**2,3**	
2	в	1,4				1,7	
	г	1,7				2,0	
	о	1,9				1,56	
3	г	1,0				1,6	
	о	1,4				1,6	

Таблица 4. **Состояние насоса СН3, оцененное по индивидуальным границам зон состояний**

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения, мм/с	Индивидуальные границы зон состояний, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ установленный с учетом индивидуальных границ, мм/с	Техническое состояние
			A/B	B/C	C/D		
1	в	2,6	1,4	2,8	4,5	3,03	Зона В **Желательна диагностика**
	г	2,4				3,5	
	о	2,5	1,4	2,3	3,5	2,19	
2	в	1,4	1,12	1,8	2,8	1,4	
	г	1,7	1,4	2,3	3,5	1,9	
	о	1,9	1,12	1,8	2,8	1,14	
3	г	1,0	0,71	1,4	2,3	1,8	
	о	1,4	1,12	1,8	2,8	1,4	

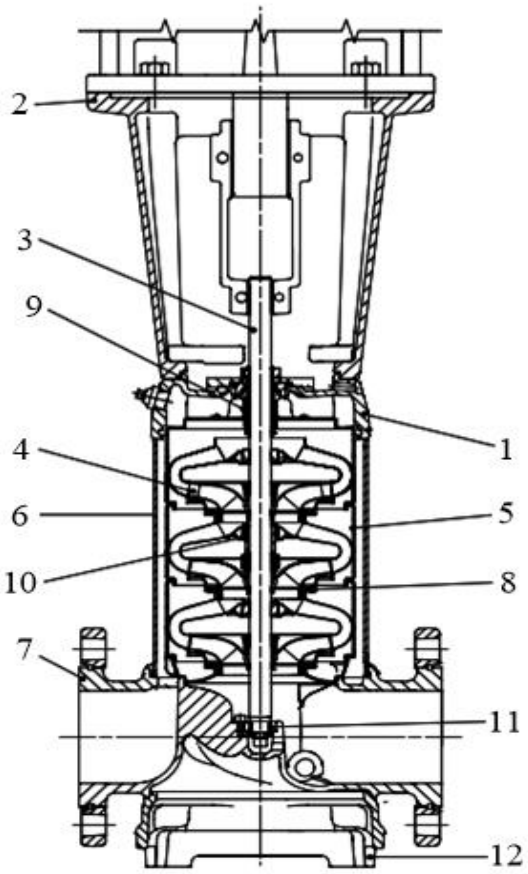
Как видно из результатов измерения вибрации оценка состояния насосов по разработанной методике [1–3] более жесткая, говорящая о неотложной необходимости проведения диагностики насоса СН2 по очевидному факту наличия либо развитого одиночного, либо нескольких связанных дефектов. Свидетельством этого является не только превышение уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ, но и превышения индивидуальных границ зон состояний **B/C** (т. 2) и **C/D** (т. 3).

Отметим, что для насоса СН2 еще в период установления границ зон состояний (2020–2021 г.г.) базовый уровень вибрации в т. 1 (упорный подшипник электродвигателя) был достаточно высокий, что потребовало оставить для всех направлений измерения границы зон, соответствующие границам по ГОСТ ИСО 10816-3-2002.

Оценка ТС насоса СН3 по ГОСТ ИСО 10816-3-2002 показывает отсутствие необходимости диагностики, но согласно разработанной методике насос желательно диагностировать по причине превышения индивидуальных границ зон ТС.

Насос сетевой воды CR90-3-2 фирмы GRUNDFOS представляет собой вертикальный трехступенчатый центробежный насос с нормальным всасыванием со стандартным трехфазным асинхронным электродвигателем MG160LB2 (рис. 2). Рабочее колесо каждой из ступеней представляет – стальной диск с шестью лопатками.

Для идентификации частотных компонент спектра с видом дефекта был произведен по [5, 6] расчет частот основных составляющих вибрации, их синхронных гармоник и модуляционных боковых частот для роторной части насоса, а также упорного подшипника (шариковый радиальный, тип 6309-C4 (80309)) электродвигателя.



Материалы

Поз.	Наименование	Материалы	EN/DIN	AISI/ASTM
1	Головная часть насоса	CR: чугун EN-GJS-500-7	EN-JS 1050	-
		CRN: Нерж. сталь	1.4408	AISI 316LN
2	Фланец крепл. электродвиг.	Чугун EN-GJL-200	EN-GL 1030	ASTM 25B
3	Вал	Нерж. сталь	1.4462	-
4	Рабочее колесо	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
5	Промежуточная камера	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
6	Цилиндр. кожух	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
7	Основание	CR: чугун EN-GJS-500-7	EN-JS 1050	-
		CRN: Нерж. сталь	1.4408	AISI 316LN
8	Щелев. уплотн.	Углеграфит с оболочкой из PTFE	-	-
9	Уплотнение вала	HQQE, HQQV, HQQF, HQQK	-	-
10	Втулка подшип.	Бронза/углеграфит с оболочкой из PTFE	-	-
11	Нижнее кольцо подшипника	TC/TC*	-	-
12	Плита-основ.	CR: чугун EN-GJS-500-7	EN-JS 1050	ASTM 80-55-06
		Нерж. сталь	-	-
	Эластомеры	EPDM, FKM (Viton) FFKM или FXM	-	-

* TC = (цементированный) карбид вольфрама

Рис. 2. Конструкция насоса CR90-3-2 (без электродвигателя)

Анализ по спектрам виброскорости в диапазоне частот 0–2000 Гц и виброускорения в диапазоне 0–5000 Гц в ортогональных направлениях измерения для режима нагрузки насоса СН2 произведен для т. 1 (рис. 1) – упорный подшипник (табл. 5).

Таблица 5. **Результаты анализа спектров вибрации насоса СН2 в нагрузочном режиме**

Направление измерения	Присутствие гармоник и характерные особенности спектра	
	Виброскорость	Виброускорение
Вертикальное (В)	Оборотная гармоника на 30 % меньше доминирующей гармоники 1660 Гц, отдельные дискретные гармоники присутствуют в диапазоне 1600 – 2300 Гц, есть сепараторная частота подшипника (19 Гц)	Четко сформированный энергетический горб в области гармоник подшипниковых частот. Доминирующая частота 1660 Гц
Горизонтальное (Г)	Доминирующая оборотная гармоника, практически нет подшипниковых гармоник, сепараторная частота, 2 и 3 гармоники оборотной частоты	Четко сформированный энергетический горб в области гармоник подшипниковых частот. Доминирующие частоты в диапазоне 2200–2600 Гц
Осевое (О)	Практически сопоставимые по величине оборотная гармоника и гармоники высоких порядков подшипниковых частот в диапазоне 1600–2300 Гц, модуляция подшипниковых гармоник оборотной частотой	Сопоставимые по величине оборотная гармоника и гармоники высоких порядков подшипниковых частот, отчетливо выраженный энергетический горб в области гармоник подшипниковых частот

Измерения вибрации на подшипнике в режиме холостого хода (х.х.) насоса СН2 показывают существенное (не менее 35 %), за исключением вертикального направления измерения, снижение вибрации.

На рис. 3 для примера приведен каскад спектров виброскорости насоса СН2 под нагрузкой и на холостом ходу в осевом направлении измерения в т. 1

Спектры на х.х. по всем направлениям измерения мало отличаются набором гармоник от спектров под нагрузкой и содержат высокоэнергетические пики в области подшипниковых гармоник высокого порядка. Под нагрузкой, особенно в осевом направлении, количество пиков больше и их уровень выше, что связано с большей осевой нагрузкой подшипника. Отсутствие тормозного момента на валу электродвигателя в режиме х.х. приводит к перераспределению усилий возбуждения и реакции на них элементов подшипника.

Появление явно выраженных пиков в зоне подшипниковых частот, имеющих не только большую амплитуду, но и мощность, говорит о том, что дефект достаточно развит, т.е. остаточный ресурс подшипника электродвигателя насоса СН2 составляет не более 20–40 %.

Плохое состояние СН2 хорошо видно на каскадах спектров виброскорости на упорном подшипнике электродвигателей насосов СН2 и СН3 (для примера в осевом направлении измерения – рис. 4). Уровень и энергетический характер спектров существенно отличается как по меньшим величинам виброскорости лопаточных частот, так и меньшему набору синхронных гармоник на подшипниках насоса СН3.

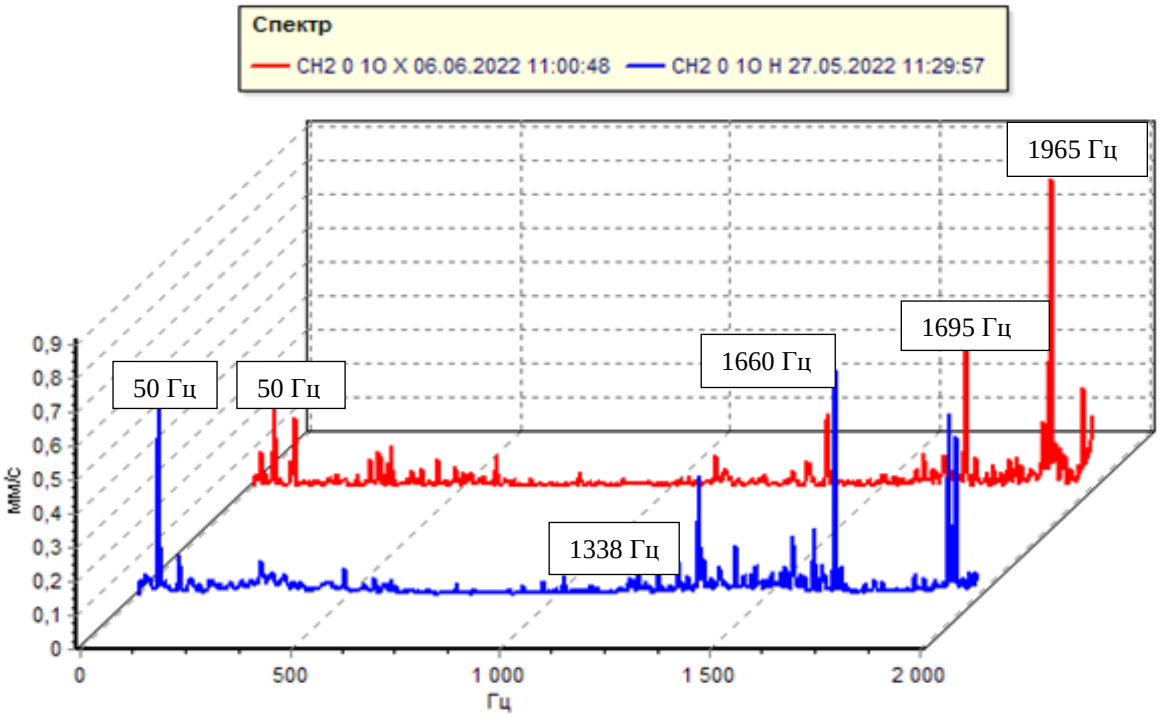


Рис. 3. Каскад спектров виброскорости насоса CH2 под нагрузкой (синий) и на холостом ходу (красный) в осевом направлении измерения в т. 1

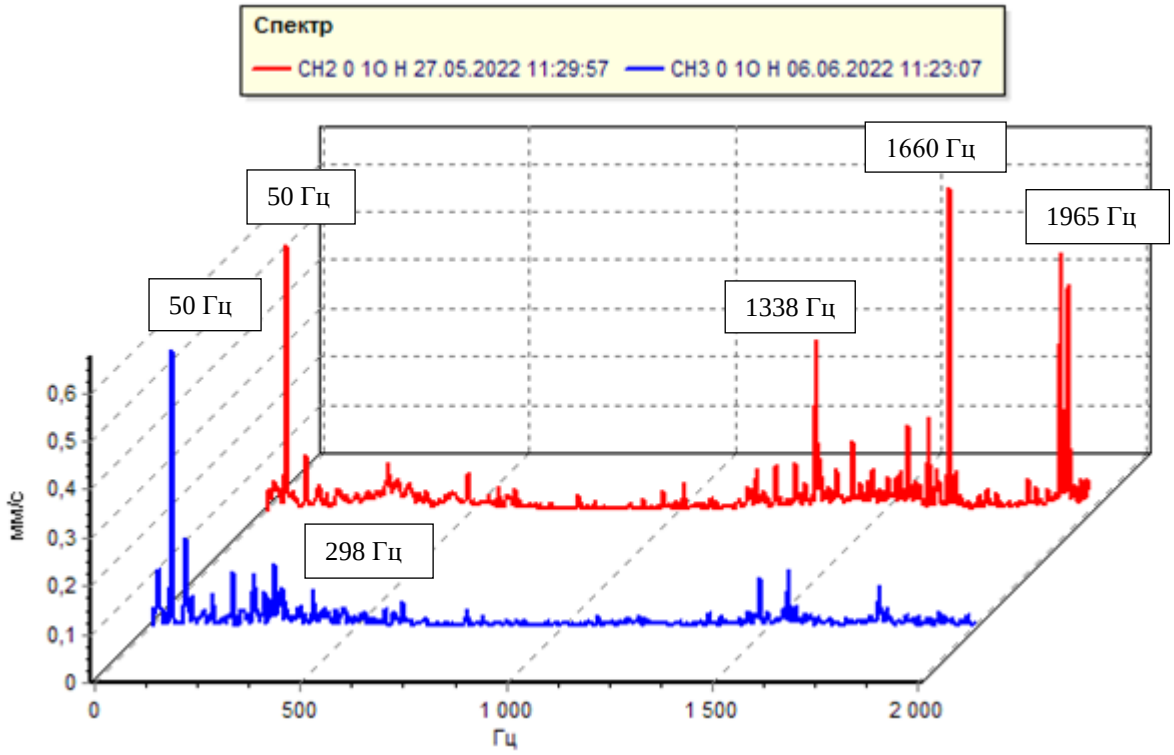


Рис. 4. Каскад спектров виброскорости насосов CH2 (красный) и CH3 (синий) под нагрузкой в осевом направлении измерения в т. 1

Отметим, что в спектрах в т. 3 (зона упорного подпятника самого насоса, рис. 1 и 2) радиальная и осевая вибрация имеют абсолютную доминанту – оборотную гармонику, что говорит о существенном износе втулки подпятника насоса СН2, проявляющемся в увеличенных люфтах. Очевидно, наличие этого дефекта привело к нестабильности оси вращения вала связанного привода и ускоренному износу упорного подшипника электродвигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колобов А.Б. Анализ результатов и опыт реализации вибромониторинга роторных машин / А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 16 апреля 2020 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020, С. 199 – 204.

2. Колобов А.Б. Развитие и совершенствование технология вибромониторинга роторных машин / А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 15 апреля 2021 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021, С. 247 – 252.

3. Колобов А.Б. Оценка статистической значимости расчетных границ зон технических состояний при вибромониторинге роторных машин / А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022, С. 113 – 120.

4. Колобов А.Б. Вибромониторинг промышленных машин: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.

5. Колобов А.Б. Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва: Инфра-Инженерия, 2019. – 252 с.

6. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р.Ширман, А.Б.Соловьев.–М.: ИД «Спектр», 1996.– 276 с.

УДК 669.295

А. Б. Коломенский, С. В. Шахов, Б. А. Коломенский
Филиал ПАО «Ил» - ВАСО, г. Воронеж

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА МАЛОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ СВАРНЫХ ТИТАНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. Исследовали малоцикловую долговечность сварных титановых соединений после частичного и полного снятия остаточных напряжений. Выявлено, что наименьшей долговечностью обладают сварные соединения с полностью снятыми напряжениями, и это связано с разупрочнением при отжиге.

Ключевые слова: титан, сварные соединения, температура отжига, малоцикловая усталость

A. B. Kolomenskiy, S. V. Shahov, B. A. Kolomenskiy

ON THE EFFECT OF RESIDUAL STRESSES ON LOW-CICLE FATIGUE OF WELDED TITANIUM JOINTS

Abstracts: The low cycle durability of welded titanium joints was investigated after partial and complete removal of residual stresses. It is revealed that welded joints with completely removed stresses have the least durability, and this is due to the softening during annealing.

Keywords: titanium, weld joints, annealing temperature, low cycle fatigue.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных свариваемости титановых сплавов, вопрос влияния отжига для снятия остаточных напряжении на работоспособность сварных титановых конструкции до настоящего времени остается недостаточно изученным. Так, по данным [1] остаточные напряжения снижают долговечность конструкции из α-сплавов при малоцикловой усталости. С другой стороны, в работе [2] обнаружено повышение малоцикловой выносливости сварных титановых соединений после неполного отжига, когда остаточные напряжения снимаются только частично.

Оценка реальной роли остаточных напряжений осложняется параллельным воздействием на работоспособность неучитываемого фактора поверхностного газонасыщения в процессе отжига.

В то же время достаточно распространено мнение, что сварные титановые соединения должны подвергаться заключительному полному отжигу [3].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния остаточных напряжений, на повторно-статическую долговечность сварных соединении листовых титановых сплавов.

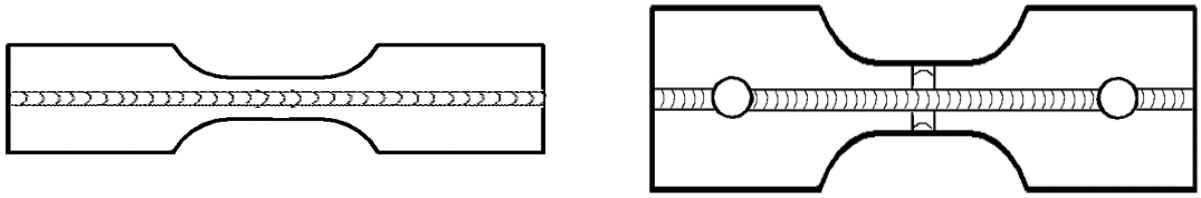
В качестве материалов для исследований использовали листы технического титана ВТ1-0 и сплава ВТ6ч толщиной 0,8 мм. Сварку имитировали сквозным проплавлением на автомате АРК-2 неплавящимся электродом с местной защитой аргоном по режиму: $V_{св}$=6,4 мм/с; $I_{св}$=50 а. После сварки образцы отжигали при

© Коломенский А. Б., Шахов С. В., Коломенский Б. А., 2023

Т=350...850 ºС в течение 1 часа на воздухе и подвергали облагораживающему травлению для снятия газонасыщенного слоя и исключения его влияния на результаты испытаний.

Образцы на кратковременный разрыв (рис. 1а) изготавливали с продольным швом при ширине рабочей зоны 15 мм; на малоцикловую усталость (рис. 1б) - с перекрестными швами при ширине рабочей зоны 40 мм, причем продольный шов выполняли в последнюю очередь на готовом образце. В результате в образцах на кратковременный разрыв сохранялись остаточные напряжения 2-го рода, а на малоцикловую усталость - напряжения как 1-го, так и 2-го рода.

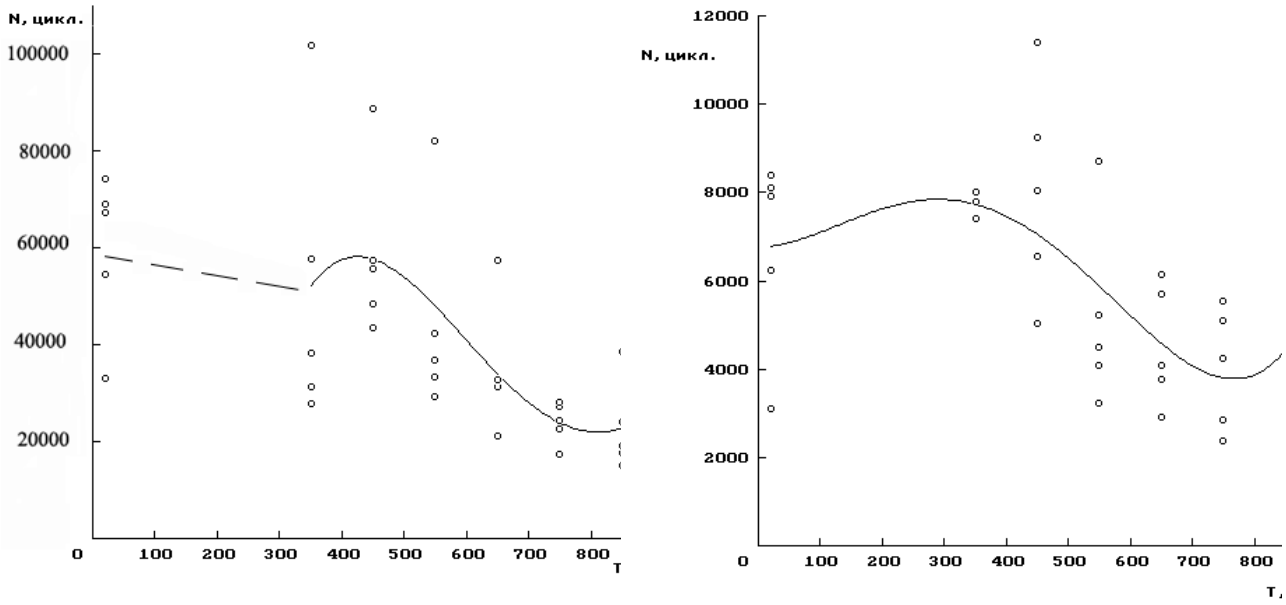
Испытания на повторно-статическое растяжение проводили при частоте f=0,7 Гц, коэффициенте асимметрии цикла R=+0,1 и σ_{max}=320 и 820 МПа для материалов ВТ1-0 и ВТ6ч соответственно.



а б

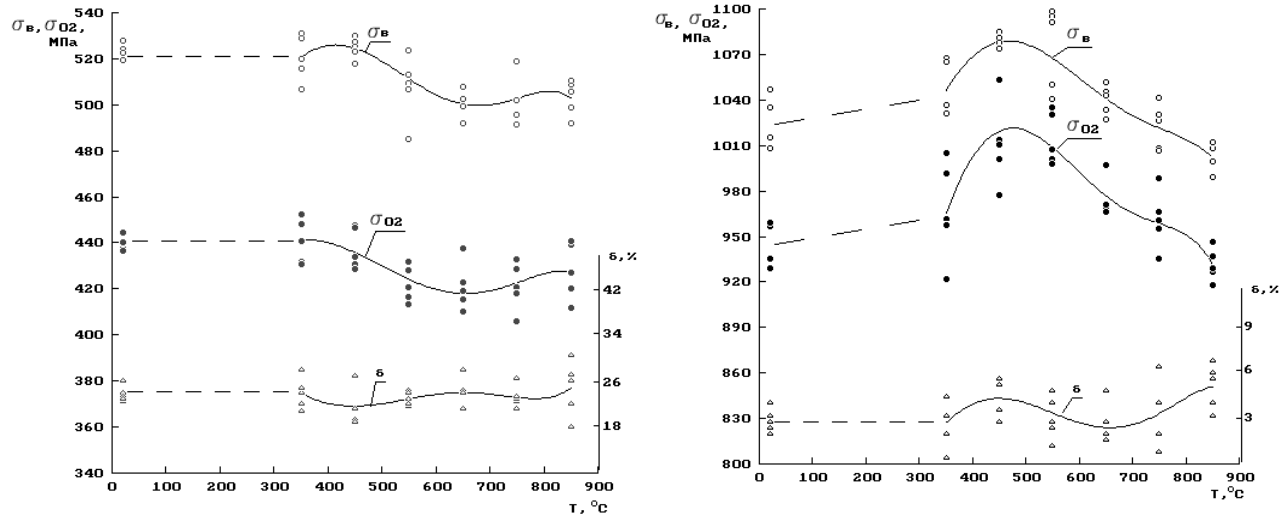
Рис. 1. Эскизы образцов для испытаний:
на кратковременный разрыв (а) и малоцикловую усталость (б)

Результаты испытании на усталость представлены на рис. 2. Разрушение образцов происходило по зоне термического влияния. Из представленных данных видно, что характер зависимостей циклической долговечности от температуры отжига для обоих типов образцов практически одинаков - как для пластичного низкопрочного технического титана ВТ1-0, так и для высокопрочного сплава ВТбч. При температурах 350...450 ºС наблюдается максимум долговечности, а с повышением температуры отжига до 850 ºС - постепенное снижение долговечности. Максимальная долговечность превышает исходную на 5...20 %, а снижение долговечности при высоких температурах отжига составляет 1,6...1,85 раза.



а б

Рис. 2. Зависимость повторно-статической долговечности облагороженных сварных соединений образцов с перекрестными швами от температуры отжига:
а – титан ВТ1-0, б – сплав ВТ6ч



а б

Рис. 3. Зависимость кратковременных механических свойств облагороженных сварных образцов титана с продольным швом от температуры часового отжига:
а – титан ВТ1-0, б – сплав ВТ6ч

На рис.3 показаны результаты испытаний на кратковременный разрыв. Видно, что характер полученных температурных зависимостей прочностных показателей $\sigma_в$ и σ_{02} аналогичен зависимостям на рис. 2: максимумы соответствуют температуре ~ 450 ºС (особенно выражен для сплава ВТ6ч), а повышению температур отжига вызывает разупрочнение металла.Согласно литературным данным практически полное снятие остаточных сварочных напряжении происходит в процессе отжига при Т=500...550 ºС для титана ВТ1-0 и 750...850 ºС для сплава ВТ6ч [4], а после отжига при Т=450 ºС напряжения снимаются на 65 % для титана ВТ1-0 и менее чем на 50 %

— для сплава ВТбч. Следовательно, максимальная циклическая долговечность сварных соединений, как и кратковременная прочность, достигаются при частичном снятие остаточных напряжении; более высокотемпературный отжиг, при котором напряжения снимаются полностью, приводит к существенному падению долговечности и снижению кратковременной прочности. Это можно объяснить разупрочнением в процессе отжига зоны термического влияния, в которой при сварке протекают пластические деформации, повышающие предел текучести металла.

Изучение микроструктур различных зон сварных соединений исследуемых сплавов показало некоторую коагуляцию пластинчатой α'-фазы у титана ВТ1-0, а для сплава ВТ6ч заметных изменений структуры после отжига не зафиксировано.

Выявленные максимумы в районе температуры 450 ºС объясняются, видимо, эффектом дорекристаллизационного упрочнения [5, с. 99-100]. Данный эффект связывается с закреплением подвижных дислокаций в исходном холоднодеформированном металле и в дислокационных стенках, возникающих при полигонизации, атомами растворённых примесей и легирующих элементов.

Выводы:

1. Не выявлено отрицательного воздействия остаточных сварочных напряжений I и II-го рода на долговечность листовых сварных соединений титановых сплавов в условиях знакопостоянных повторно-статических нагрузок. Наибольшая долговечность сварных соединений достигается при наличии в них 70...80 % остаточных напряжений от начального уровня.

2. Полное снятие остаточных напряжений, обеспечиваемое проведением полного отжига, сопровождается существенным снижением циклической долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич СМ., Замков В.Н., Компан Я.Ю. и др. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. / Киев: Наукова думка, 1979. – С.63.

2. Шушпанов М.Н., Коломенский Б.А., Зубарев В.Ю., Коломенский А.Б Влияние режимов отжига на характеристики работоспособности зоны термического влияния сварных соединений сплава ОТ4 // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. № 4 (646). С. 39-41.

3. Колачев Б. А., Садков В. В.,Талалаев В. Д. и др. Вакуумный отжиг титановых конструкции./ М.; Машиностроение, 1991. – 224 с.

4. Чертов И..М., Карпенко А. С., Островой А. П., Гуревич С.М., Замков В.Н. Влияние режимов термической обработки на остаточные напряжения в сварных соединениях технического титана. // Автоматическая сварка. – 1981.- N 8. – С. 68~69

5. И.И.Новиков Теория термической обработки металлов / М.: Металлургия,1986. 480 с.

УДК 623.44

М. А. Максимова, Е. Ю. Курочкина, В. Ю. Емелин
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ АКС-74У СОТРУДНИКАМИ ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Аннотация: в статье рассмотрены особенности эксплуатации и обслуживания оружия в разные периоды времени года. Рассмотрены примеры неправильного и небрежного отношения к оружию. Перечислены рекомендации по поддержанию тактико-технических характеристик оружия.

Ключевые слова: оружие, техническое обслуживание оружия, автомат.

M. A. Maksimova, E. Yu. Kurochkina, V. Yu. Emelin

ON THE ISSUE OF THE OPERATION OF THE AKS-74U BY LAW ENFORCEMENT OFFICERS

Abstracts: the article discusses the features of the operation and maintenance of weapons in different periods of the year. Examples of incorrect and negligent attitude to weapons are considered. Recommendations for maintaining the tactical and technical characteristics of weapons are listed.

Keywords: weapons, weapon maintenance, automatic.

Право на применение огнестрельного оружия сотрудниками полиции закреплено законодательством Российской Федерации. Также определено, что сотрудник полиции обязан проходить специальную подготовку, а также периодическую проверку на профессиональную пригодность к действиям в условиях, связанных с применением физической силы, специальных средств и огнестрельного оружия [1].

Правила хранения и сбережения оружия записаны в методических рекомендациях, руководствах и наставлениях по использованию оружия [2].

Наиболее известной моделью оружия, стоящего на вооружении у правоохранительных органов, является автомат АКС-74У. Данное отечественное стрелковое оружие довольно надежное, прочное и рассчитано на длительный срок службы.

Автомат Калашникова складной укороченный, АКС-74У — укороченный вариант автомата АКС-74, был разработан в конце 1970 - начале 1980-х годов для вооружения экипажей боевых машин, авиатехники, расчётов орудий, а также десантников. В настоящее время используется в МВД и охранных структурах благодаря своим небольшим размерам.

Работа автоматики АКС-74У основана на использовании энергии пороховых газов, отводимых из канала ствола.

АКС-74У состоит из следующих основных частей и механизмов [3]:

- ствол со ствольной коробкой и крышкой ствольной коробки, с ударно-спусковым механизмом, прицельным приспособлением, складывающимся прикладом и пистолетной рукояткой;

© Максимова М. А., Курочкина Е. Ю., Емелин В. Ю., 2023

- пламегаситель;
- затворная рама с газовым поршнем;
- затвор;
- возвратный механизм;
- газовая трубка со ствольной накладкой;
- цевьё;
- магазин;
- ремень.

В комплект АКС-74У входят: чехол, принадлежности (шомпол, протирка, ёршик, отвёртка, выколотка, маслёнка.

Рассмотрим особенности эксплуатации АКС-74У.

Неправильная эксплуатация оружия начинается, как правило, с износа ствола. Бывают случаи, когда такой износ происходит преждевременно, ранее положенного срока. Чем же вызывается износ оружия? Факторов, вызывающих износ оружия, много, по своему характеру они весьма разнообразны и их можно разделить на три группы: факторы термического характера, факторы химического характера и факторы механического характера.

Во-первых, состояние оружия зависит от влияния высоких температур, получаемых при горении порохового заряда в момент выстрела.

Во-вторых, после выстрела в канале ствола, на затворе, газовом поршне, затворной раме остается нагар.

И в-третьих, эти факторы происходят часто не оттого, что из оружия много стреляли, а оттого, что в хранении, сбережении оружия и уходе за ним были допущены небрежность и халатность.

Поэтому помещение для хранения оружия должно было сухим и светлым, а металлические части оружия и в особенности каналы стволов должны обслуживаться ружейной смазкой.

Чистка автомата производится: при подготовке к стрельбе; после стрельбы. Если автомат не применялся, то чистку его производят не реже одного раза в неделю.

Рассмотрим некоторые примеры неправильного обслуживания оружия.

Например, эксплуатация огнестрельного оружия в зимний период времени имеет некоторые особенности, связанные с влиянием низких температур. Так, происходят изменения физико-механических свойств частей, образуется тонкий налет на деталях, снег и вода попадают в закрытые полости механизмов. Известно, что значение смазки в оружии заключается не только в недопущении износа частей оружия, но и выполняет функцию антикоррозионной защиты. Действие смазки определяется ее вязкостью, что также зависит от температуры воздуха. Поэтому следует уделять огромное внимание во время сильных холодов полному удалению всей смазки с ударно-спускового механизма. В сырую погоду оружие рекомендуется носить дульными срезами вниз, так как влага, которая скапливается в стволах, попадает в ударно-спусковой механизм и может стать причиной осечек при стрельбе.

Так в январе 2018 года в Н-ской области при задержании особо опасного преступника, было применено огнестрельное оружие сотрудниками полиции. Однако при применении огнестрельного оружия произошла осечка, причиной которой послужила излишняя и обильная смазка частей ударно-спускового механизма автомата. Оружейная смазка загустела на морозе. Затвор остался в переднем положении, патрон поступил в патронник, курок был спущен, но выстрела не произошло.

Бывают случаи, когда сотрудницы правоохранительных органов протирают огнестрельное оружие влажными салфетками или чистящими моющими средствами, что приводит к коррозии и быстрому износу частей механизма.

Теперь рассмотрим некоторые особенности эксплуатация огнестрельного оружия в теплый период времени года.

В летнее время части оружия подвергнуты попаданию в них пыли, песчинок, тополиного пуха и т.п. В таких случаях, необходимо, как можно чаще проверять основные части и механизмы автомата. Состояние поверхности канала ствола имеет большое значение в практическом использовании оружия. При чистке шомполом вычищать, а не «размазывают» грязь в канале ствола автомата. От состояния поверхности канала ствола зависит правильность полета пули, не будет рассеивания.

Также необходимо уделять внимание внешнему осмотру патронов. На его корпусе не должно быть вмятин, царапин и сколов. Также патрон должен быть чистым, и без следов влаги. Несоблюдение этих требований может привести к определенным видам задержек при стрельбе, а именно не извлечение гильзы или прихват, или не отражение гильзы.

Основная причина данных задержек- это загрязнение патрона или выбрасывателя. Необходимо извлечь и осмотреть патрон, по возможно заменить его.

Особые требования предъявляются к правилам хранения боеприпасов (патронов). Эти требования указаны в методических рекомендациях, руководствах и наставлениях, а также на упаковках боеприпасов (патронов).

Учитывая всю важность рассматриваемого вопроса, становится очевидным, что система технического обслуживания огнестрельного оружия требует особых способов обслуживания и эксплуатации в соответствии с руководствами и наставлениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции».

2. Федеральный закон от 13 декабря 1996 г. № 150-ФЗ «Об оружии».

3. Руководство по 5,45-мм автоматам Калашникова АК74, АК74М, АКС74, АКС74У, АК74Н, АК74Н1, АК74Н2, АК74Н3, АКС74Н, АКС74Н1, АКС74Н2, АКС74Н3, АКС74УН2 и 5,45-мм ручным пулеметам Калашникова РПК74, РПК74М, РПКС74, РПК74Н, РПК74Н1, РПК74Н2, РПК74Н3, РПКС74Н, РПКС74Н1, РПКС74Н2, РПКС74Н3. М.: Воениздат, 2001. 256 с.

УДК 355.541.3

Е. Ю. Курочкина, В. Ю. Емелин, М. А. Максимова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

О СОБЛЮДЕНИИ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С 9-ММ ПИСТОЛЕТОМ МАКАРОВА

Аннотация: в статье рассмотрены меры безопасности при обращении с 9-мм пистолетом Макарова. Обусловлена практическая значимость соблюдения мер безопасности при устранении задержек в стрельбе и при несении службы.

Ключевые слова: 9-мм пистолет Макарова, меры безопасности, оружие.

E. Y. Kurochkina, V. Y. Emelin, M. A. Maksimova

ABOUT THE OBSERVANCE OF SAFETY MEASURES WHEN HANDLING A 9-MM MAKAROV PISTOL

Abstracts: the article discusses safety measures when handling a 9-mm Makarov pistol. The practical importance of observing safety measures in eliminating delays in shooting and during service is determined.

Keywords: 9-mm Makarov pistol, security measures, weapons.

В соответствии с ч. 1 ст. 18 Федерального закона от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции» (далее - Закон о полиции) сотрудники полиции вправе применять огнестрельное оружие как лично, так и в составе подразделения (группы) [1].

Как указывается в ч. 1 ст. 18 Закона о полиции, основания и порядок применения полицией физической силы, специальных средств и огнестрельного оружия устанавливаются не только Законом о полиции, но и иными федеральными конституционными и федеральными законами [1].

9-мм пистолет Макарова (далее – ПМ) является личным оружием нападения и защиты, предназначенным для поражения противника на коротких расстояниях в правоохранительных органах, а также одним из самых массовых пистолетов в СССР и современной России. ПМ и сейчас является одним из лучших пистолетов класса компактного оружия самообороны [2].

Пистолет Макарова применяется на коротких расстояниях (до 50 м), как правило, в целях:

- поражения огнем лиц, совершающих или пытающихся совершить противоправные действия;
- предупреждения о применении оружия;
- поражения огнем животных, непосредственно угрожающих жизни и здоровью людей;
- остановки транспортных средств.

Со временем, в ходе эксплуатации, выявились и недостатки у ПМ: небольшое останавливающее и пробивное действие пули; малая емкость магазина; узкая руко-

© Курочкина Е. Ю., Емелин В. Ю., Максимова М. А., 2023

ятка, с небольшим углом наклона, не обеспечивающая полного контакта с ладонью. Стрелки с низким уровнем подготовки или без регулярных тренировочных стрельб с ПМ демонстрируют не высокую точность, так как к его рукоятке и несколько своеобразному «хвату» необходимо привыкнуть.

Действие автоматики ПМ основано на свободном затворе. Запирание ствола происходит за счёт инертной массы затвора. Упругость возвратной пружины, надетой на ствол, в самом запирании не участвует, она всего лишь возвращает затвор в переднее положение. Ударно-спусковой механизм двойного действия с открытым курком. В ПМ применён свободный ударник, не имеющий пружины, удерживающей его в заднем положении. Теоретически это может привести к самопроизвольному выстрелу при падении пистолета с большой высоты [3].

Пистолет состоит из 32 деталей и следующих основных частей:

- рамка со стволом и спусковой скобой;
- затвор с ударником, выбрасывателем и предохранителем;
- возвратная пружина;
- ударно-спусковой механизм;
- рукоятка с винтом;
- затворная задержка;
- магазин.

Перед получением боевого стрелкового оружия сотрудник правоохранительных органов обязан пройти специальное профессиональное обучение, переподготовку и сдать зачеты по знанию материальной части, тактико-технических характеристик табельного боевого стрелкового оружия, а также по мерам безопасности при обращении с ним. Практика показывает, что сотрудники не всегда могут практически выполнять меры безопасности при обращении с оружием.

Учитывая изложенное выше, направлением нашего исследования является рассмотрение мер безопасности при обращении с огнестрельным оружием.

Меры безопасности - это комплекс мероприятий, знаний, умений и навыков, позволяющих гарантированно избегать трагических последствий при несанкционированном срабатывании огнестрельного оружия или боеприпасов и направленный на безопасное обращение с ним.

Критериями оценки работы с огнестрельным оружием являются не только (как считают многие) меткость при стрельбе, но и знание мер безопасного обращения с ним, а также понимание предназначения огнестрельного оружия вообще, отношения к нему, уровень поставленных и доведенных до автоматизма навыков повседневного обращения с огнестрельным оружием.

Общие правила мер безопасности:

1. Взял оружие - проверь, не заряжено ли оно.

2. При обращении с оружием не направляй ствол в сторону людей, не целься в другого и не допускай, чтобы целились в тебя.

3. Любое оружие считай заряженным до тех пор, пока сам не проверишь и не разрядишь.

4. Разрядил оружие - обращайся с ним как с заряженным.

5. При взводе курка (при отводе затвора назад) ствол оружия направляй только к цели или вверх.

6. Во всех случаях не накладывай палец на спусковой крючок до тех пор, пока не будет необходимости в открытии огня.

7. Перед учебной стрельбой, выходом на службу насухо протри канал ствола, проверь, нет ли в стволе посторонних предметов, убедись в исправности оружия и снаряжения к нему.

Рассмотрев понятие мер безопасности, а также их общие требования, считаем целесообразным рассмотреть вопрос о причинах задержек при обращении с оружием:

- постановка пистолета на затворную задержку при стрельбе, когда в магазине (патроннике) еще находятся патроны;
- экстракция (извлечение) патрона при стрельбе;
- осечка;
- недокрытие патрона затвором;
- неподача или непродвижение патрона из магазина в патронник;
- прихват (ущемление) гильзы затвором;
- автоматическая стрельба

Задержка, как правило, проявляет себя отсутствием следующего выстрела.

Далее сотрудник осматривает оружие, его состояние, определяет способ устранения задержки. Определив вид задержки, стрелок устраняет ее.

Переходя к рассмотрению мер безопасности при несении службы с табельным стрелковым оружием, необходимо разделить их на следующие группы:

- получение оружия;
- заряжание и разряжание оружия;
- ношение оружия;
- применение оружия;
- передвижение с оружием, приведенным в боевую готовность;
- чистка и смазка оружия;
- перевозка и переноска оружия.

При получении оружия важно выполнить следующие действия:

- тщательно его осмотреть на предмет трещин на рамке пистолета и затворе (участившиеся случаи данной поломки пистолета связаны с использованием патрона, имеющего увеличенной состав порохового заряда);
- визуально проверить исправность пистолета и магазина. При обнаружении дефектов и неисправностей доложить начальнику органа внутренних дел (руководителю стрельб).

При получении патронов необходимо проверить их количество и внешний вид. На патронах не должно быть вмятин, налета ржавчины и др.

Несоблюдение мер безопасности при обращении с оружием может привести даже к несчастному случаю, как и произошло в начале марта 2023 года в одном из территориальных отделов внутренних дел Московской области. Участковый уполномоченный полиции, после дежурных суток, находясь в оружейной комнате, пренебрег правилами безопасного обращения с оружием, что привело к самопроизвольному выстрелу. Итог, в больнице с огнестрельным ранением, оказался данный сотрудник полиции, который выстрелил себе в ногу. На данный момент, его состояние, оценивается как тяжелое, т.к. потерял много крови. Свидетели случившегося, а в основном это были сотрудники полиции, не оказали своевременную квалифицированную медицинскую помощь.

Подводя итог, необходимо отметить, что соблюдение мер безопасности является залогом успешного выполнения оперативно-служебных задач сотрудниками правоохранительных органов. А их неукоснительное соблюдение не только начина-

ющими, но и опытными стрелками является показателем высокой культуры обращения с оружием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Федеральный закон от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции».

2. Федеральный закон от 13 декабря 1996 г. № 150-ФЗ «Об оружии».

3.Приказ МВД России от 23 ноября 2017 г. № 880 «Об утверждении Наставления по организации огневой подготовки в органах внутренних дел Российской Федерации».

УДК 621.8

И. А. Легкова, В. П. Зарубин
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: материал статьи посвящен вопросу повышения качества технического обслуживания пожарной техники; особое внимание уделяется специальному оборудованию, позволяющему повысить качество проведения обслуживания и обеспечить оптимальные условия проведения полного комплекса работ; предложена конструкция мобильного устройства, позволяющего оптимизировать работы по обслуживанию и регулировке ходовой части и трансмиссии пожарного автомобиля.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, техническое обслуживание, ремонт автомобиля, автомобильная эстакада, разборная конструкция.

I. A. Legkova, V. P. Zarubin

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE OF FIRE TRUCKS

Abstracts: the material of the article is devoted to the issue of improving the quality of maintenance of fire equipment; special attention is paid to special equipment that allows improving the quality of maintenance and ensuring optimal conditions for carrying out a full range of work; the design of a mobile device that allows optimizing maintenance and adjustment of the chassis and transmission of a fire truck is proposed.

Keywords: fire truck, maintenance, car repair, car overpass, collapsible structure.

Поддержание мобильных средств пожаротушения в исправном состоянии является актуальной задачей. Любая неполадка в работе пожарного автомобиля или не надлежащая работа любого из его агрегатов ставит под угрозу результат выполнения боевой задачи по тушению пожара. Техническому состоянию всех узлов и агрегатов пожарной техники необходимо уделять достаточное внимание в соответствии с тре-

© Легкова И. А., Зарубин В. П., 2023

бованиями приведения технического обслуживания. Как известно, техническое обслуживание автомобилей, и пожарных автомобилей в том числе, делится по номерам в зависимости от периодичности, времени года и объема проводимых работ. При проведении регулировок, проверке надежности соединений, правильности взаимодействия деталей пожарный автомобиль осматривается полностью. Без внимания не должен оставаться ни один из узлов и агрегатов. Особое внимание при этом уделяется силовой установке автомобиля и его трансмиссии. Это, в первую очередь, связано с нагрузками и различными режимами работы.

Работы, связанные с устранением люфтов в соединениях, регулировкой свободного хода сопряженных деталей, заменой смазочно-охлаждающих жидкостей не возможно провести без использования специального инструмента и оборудования. Но и это не всегда гарантирует качественное проведение ремонтных и регулировочных работ. Помещение, в котором проводится техническое обслуживание, должно соответствовать уровню работ и обеспечивать возможность их проведения. Так, например, наличие на посту технического обслуживания подъемника или смотровой канавы позволяет качественно проводить работы с агрегатами, установленными под автомобилем. Однако стоит отметить, что не все пожарно-спасательные части имеют в своем распоряжении ремонтные участки, укомплектованные смотровыми ямами или подъемниками. Это влечет за собой снижение производительности ремонтных работ, усложняет большинство операций по техническому обслуживанию элементов конструкции, а некоторые из операций становятся невыполнимыми. Таким образом, вопрос оснащения участков технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей средствами, облегчающими доступ к узлам и агрегатам трансмиссии, является актуальным [1].

Рассмотрев оборудование и оснащение облегчающее проведение работ по техническому обслуживанию и ремонту трансмиссий автомобилей, а именно обеспечивающее относительно свободный доступ к узлам и агрегатам, расположенным под автомобилем можно выделить три основные направления, такие как, смотровая яма, подъемники различной конфигурации, эстакады. Из выше перечисленного оборудования и оснащения одним из экономически доступных является применение эстакад [2]. Относительно низкие затраты на изготовление и отсутствие сложных механических или гидравлических систем снижает стоимость эксплуатации эстакад и не требует серьезного переоборудования мастерских. Однако, необходимо предусматривать для эстакады отдельное место, что не всегда обоснованно. Поэтому, разработка универсальной мобильной эстакады с возможностью произвольного территориального расположения решит ряд проблемных вопросов с техническим обслуживанием и ремонтом пожарной техники. Мобильная разборная эстакада не требует стационарной установки, имеет небольшие габаритные размеры и вес, легко устанавливается и затем демонтируется после завершения технического обслуживания или ремонта, имеет компактные размеры при хранении (рис. 1) [3].

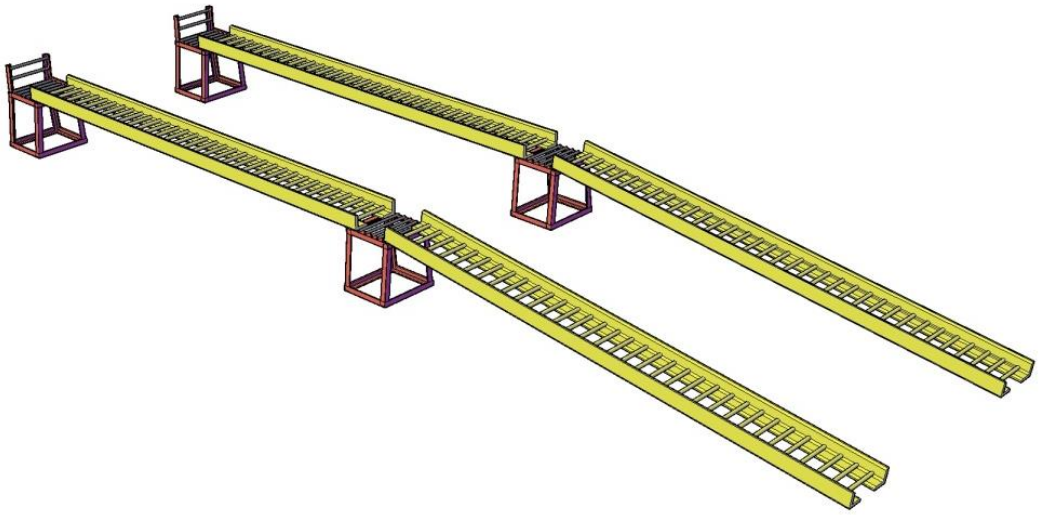


Рис. 1. Модель разборной эстакады

Основными частями эстакады являются четыре опорных тумбы и четыре трапа. Тумбы и трапы имеют возможность свободной взаимной компоновки в зависимости от требований к проведению ремонтных операций. Так, например, для получения свободного доступа под весь автомобиль целиком, эстакада собирается полностью с установкой на тумбы двух горизонтальных трапов и двух наклонных трапов для въезда (рис. 1). Для обслуживания передней или задней оси автомобиля имеется возможность частичной сборки эстакады из двух тумб и двух наклонных трапов. При такой компоновке сокращается место необходимое для установки эстакады, а автомобиль заезжает на нее частично передней или задней осью в зависимости от необходимости проведения ремонтных операций (рис. 2).

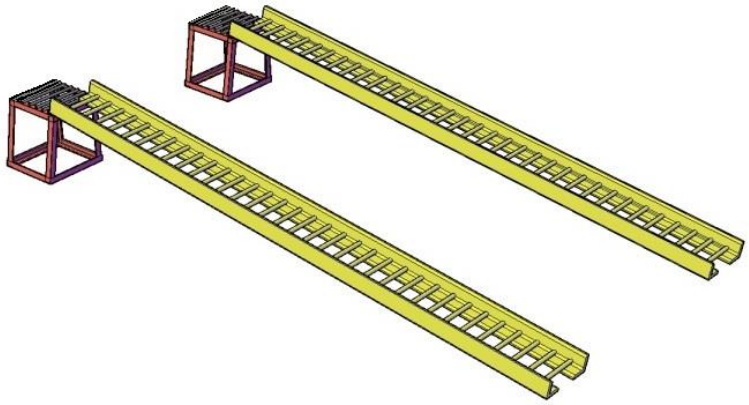
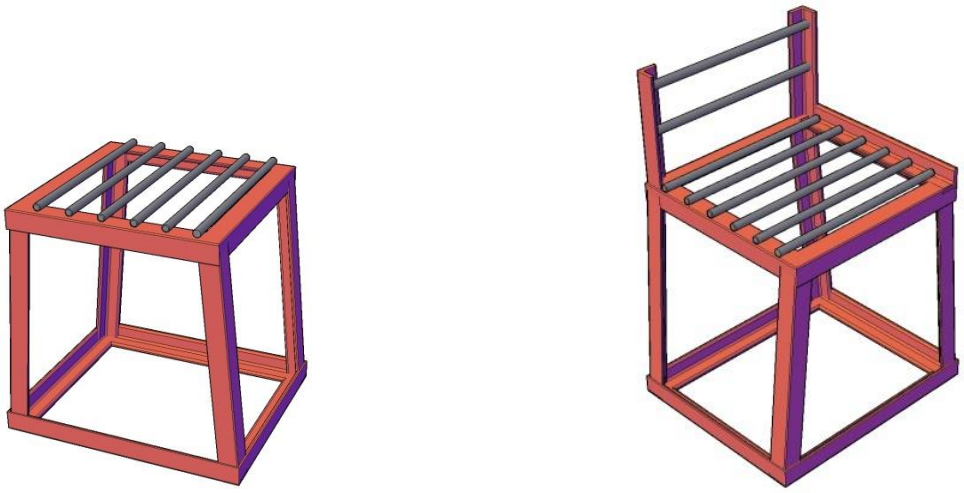


Рис. 2. Компоновка эстакады

Сварная конструкция основных частей эстакады обладает достаточной прочностью при относительно небольших весовых показателях. Так для облегчения массы и обеспечения прочности трапы эстакады имеют сварную конструкцию из равнополочного уголка и рифленой арматуры. Габаритные размеры уголка и арматуры подбираются с учетом прочностных расчетов. Конструкция тумб представляет собой сварную раму трапециевидной формы (рис. 3а) для обеспечения лучшей устойчивости. Крепление трапов и тумб осуществляется болтовыми соединениями, что

облегчает ее монтаж и демонтаж. Для обеспечения безопасности при въезде на эстакаду и исключения самопроизвольного съезда автомобиля, тумбы оснащены возможностью установки ограничителей (рис. 3б), которые при необходимости можно демонтировать и переоборудовать эстакаду из тупиковой в прямоточную путем перестановки наклонных трапов.



а) б)

Рис. 3. Тумба опорная: а – тумба без ограничителя; б – тумба с ограничителем

Габаритные размеры эстакады определяются с учетом габаритных размеров и размеров колесной базы обслуживаемых автомобилей. Длина трапов рассчитывается с учетом длины автомобиля плюс 1 метр для возможности выбора точки установки автомобиля. Ширина трапов определяется с учетом ширины и типа колес, и должна составлять не менее 500 мм. В качестве боковых ограничителей, предупреждающих возможность съезда автомобиля с трапов, выступают полки самого уголка из которого изготавливается трап (рис. 1). Для этого при сборке трапов уголки располагают полками вверх. Для выбора необходимого профиля металлического уголка и арматурного прута проведен расчет на прочность и жесткость [4].

Рис. 4. Применение разборной эстакады в помещении гаража

Рис. 5. Применение разборной эстакады на открытом воздухе

Высота предлагаемой конструкции выбирается таким образом, чтобы дать возможность ремонтнику беспрепятственно попасть под днище автомобиля, обеспечить достаточный уровень освещенности для осмотра ходовой части, провести необходимые ремонтные и профилактические мероприятия. Данную мобильную эстакаду можно устанавливать, как внутри помещения (рис. 4), а так и на открытом воздухе (рис. 5).

К достоинствам разработанной эстакады можно отнести:

- простоту конструкции: как видно из выше сказанного, собрать такую эстакаду несложно с использованием минимума инструментов;
- надежность конструкции: проста конструкции обеспечивает его надежность;
- невысокая себестоимость изготовления;
- универсальность: конструкция эстакады позволяет устанавливать любое поперечное расстояние между серединами отпечатками шин (колею) и применять ее как для ремонта грузовых, так и легковых автомобилей;
- мобильность: эстакада легко собирается и разбирается, а также транспортируется непосредственно к автомобилю, требующему ремонта или обслуживания.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что мобильная разборная эстакада незаменима, особенно при проведении ремонтных работ в «полевых условиях», например, при длительных выездах пожарной техники на учения или ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жмацкий П.А Диагностика и быстрый ремонт неисправностей автомобиля. // Юрайт, 2013. 206 с.

2. Легкова И.А., Лебедев В.С., Зарубин В.П. Применение автомобильных эстакад при проведении технического обслуживания автомобилей / Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: материалы Межрегиональной научно-методической конференции. Иваново: ИГСХА, 2018. – С.817-820.

3. Лебедев В.С., Легкова И.А. Использование автомобильной эстакады для проведения технического обслуживания пожарных автомобилей // Пожарная и аварийная безопасность: материалы XIII Международной научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 404-405.

4. Легкова И.А., Зарубин В.П., Бык Н.О., Оганин А.Г. Применение прочностного расчета конструкции в Компас-3D при подготовке специалистов пожарной охраны. Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. С.496-499.

УДК 621.314.21

К. А. Лётин, В. В. Сизов, Г. В. Чекан
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЁЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Аннотация: В предложенной статье рассматривается вопрос надёжности силовых трансформаторов, которые являются одним из важнейших элементов, определяющим возможность и качество электроснабжения в энергосистеме. Для изучения данной темы были выявлены основные проблемы надёжности силовых трансформаторов, причины их дефектов, а также способы выявления дефектов в начальной стадии их развития.

Ключевые слова: силовой трансформатор, надёжность, дефекты.

K. A. Letin, V.V. Sizov, G.V. Chekan

THE MAIN PROBLEMS OF RELIABILITY OF POWER TRANSFORMERS

Abstracts: The proposed article discusses the reliability of power transformers, which are one of the most important elements determining the reliability of power supply in the power system. To study this topic, the main problems of reliability of power transformers, the causes of their defects, as well as ways to identify defects in the initial stage of their development were identified.

Keywords: power transformer, reliability, defects.

Особенностями эксплуатации трансформаторов в России и странах СНГ за последние годы являются относительно низкие нагрузки, наличие в сети зон с повышенными рабочими напряжениями (особенно в сетях 500 кВ и выше), нерегулярные профилактические ремонты, прекращение замены силикагеля в адсорбционных фильтрах, снижение квалификации исполнителей внеплановых ремонтных работ. По указанным выше причинам в последние годы контролю и диагностике основного электрооборудования энергосистем, а также оценке работоспособности силовых трансформаторов уделяется большое внимание.

© Лётин К. А., Сизов В. В., Чекан Г. В., 2023

Главная особенность трансформаторного оборудования состоит в том, что срок службы в большой степени определяется состоянием бумажно-масляной изоляции в процессе ее естественного временного старения и под воздействием внешних факторов. Как показывает анализ основных причин повреждения трансформаторов, их надежность наиболее сильно снижают дефекты конструкции и изготовления, а также недостатки эксплуатации и ремонта трансформаторов:

Таблица 1. **Причины отказов трансформаторов**

№	Причина отказа	% случаев
1	Изменения свойств материалов (старение)	21,6%
2	Дефекты конструкции и изготовления	19,4%
3	Недостатки эксплуатации	16,8%
4	Внешние воздействия	10,3%
5	Нерасчетные режимы в сети	5,8%
6	Дефекты ремонта	4,2%
7	Климатические и внешние воздействия	3,5%

Грозовые и коммутационные перенапряжения, вызывающие повреждения главной и витковой изоляции при недостаточных запасах их электрической прочности. Повышения рабочего напряжения из-за некомпенсированной емкости воздушных линий сверхвысокого напряжения, приводят к перевозбуждению трансформаторов. Это вызывает повышенный нагрев как самого сердечника, так и конструкционных стальных деталей, что опасно для контактирующей с ними изоляции.

Токи коротких замыканий (КЗ), оказывают ударные механические воздействия на обмотки. Серьезным влиянием со стороны сети является воздействие на трансформатор токов КЗ, вызывающих деформацию обмоток при их динамической нестойкости. В настоящее время такие повреждения трансформаторов занимают заметное место. По расчетам примерно 1,7 % автотрансформаторов 220-500 кВ 1 раз в год может подвергаться опасным воздействиям тока КЗ, особо опасных для автотрансформаторов с пониженной электродинамической стойкостью.

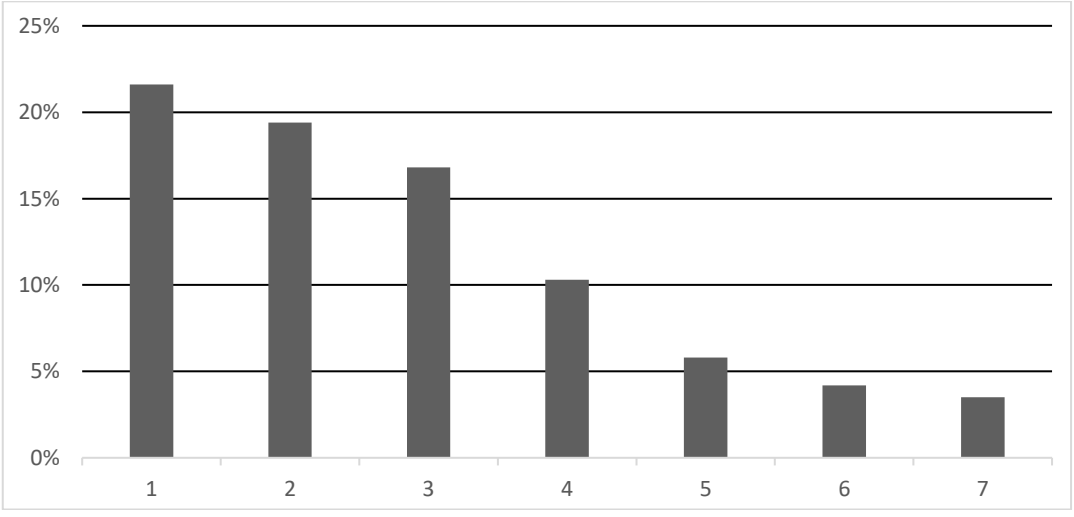


Рис. 1. Причины отказов трансформаторов, %

Наиболее распространенным видом повреждения силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и более является повреждение высоковольтных вводов. В настоящее время эксплуатируются негерметичные и герметичные маслонаполненные вводы, а также вводы с твердой изоляцией. Ниже приведены табличные данные в соотношении числа случаев, приходящихся на вид и место дефекта.

Таблица 2. **Виды и места дефектов силовых трансформаторов** [2]

№	Вид повреждения	Количество
1	Система охлаждения	146
2	Высоковольтные вводы	92
3	Выделение газов в масло	58
4	Старение масла	48
5	Течи по уплотнениям	44
6	Распрессовка обмоток	42
7	Загрязнение и увлажнение твердой изоляции	42
8	Распрессовка магнитопровода	26
9	Загрязнение масла	14
10	Деформация обмоток	10
11	Повышенная вибрация	8
12	Повреждения отводов	7
13	Повреждения магнитных шунтов	6

Ниже представлена диаграмма, характеризующая доли % случаев, приходящихся на тот или иной дефект:

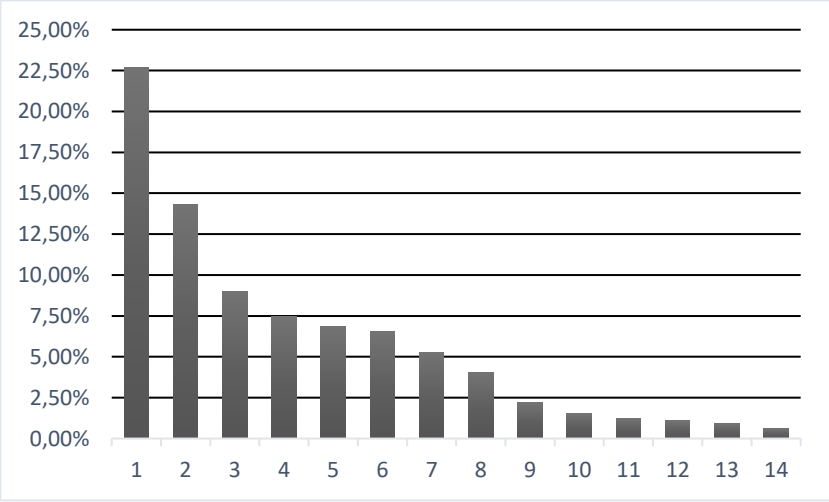


Рис. 2. Виды и места дефектов, %

Эти данные показывают, что наибольшие проблемы в эксплуатации доставляют системы охлаждения, вводы и уплотнения (около 40 % выявленных дефектов). Заметное место (около 10 %) занимает распрессовка обмоток и магнитопровода, столько же - загрязнение и увлажнение твердой изоляции обмоток, столько же - старение и загрязнение масла.

Под надежностью трансформатора [1] понимается способность его безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного времени и при определенных условиях применения. Следовательно, надежность трансформатора характеризуется вероятностью безотказной работы его в течение заданного времени. Одно из главных условий надежности трансформатора в эксплуатации - контроль за его температурным режимом, в частности за температурой верхних слоев масла. Значительно облегчает этот контроль наличие дистанционных электротермометров; затраты на устройство температурного контроля трансформаторов всегда целесообразны, поскольку обеспечивают их безаварийную работу.

Важным критерием надежности трансформатора для дальнейшей эксплуатации является состояние самих обмоток, отсутствие в них деформаций, смещения витков или секций и прокладок между секциями. Причиной таких деформаций в основном являются электродинамические усилия при протекании через обмотки токов короткого замыкания. Ошибки, допускаемые при ремонте трансформаторов также, способствуют ослаблению механической прочности обмоток и изоляции [2].

В результате рассмотрения основных причин снижения надежности силовых трансформаторов в энергосистеме, были выявлены основные составляющие. Это естественное старение материалов и заводские дефекты конструкции. Из эксплуатационных составляющих наиболее часто встречается нарушение функционирования системы охлаждения трансформатора, повреждения обмоток и высоковольтных вводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 19 февраля 2019 г. № 123 "Об утверждении методических указаний по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа"

2. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / под ред. Ф.Л. Когана. М.: АО «Фирма ОРГРЭС», 1998. 493 с.

3. Макаревич Л.В., Шифрин Л.Н., Алпатов М.Е. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей // Изв. Акад. наук. Энергетика. 2008. № 1. С. 45-69.

4. Назарычев А.Н. Надёжность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения: учебное пособие / А.Н. Назарычев, Д.С. Крупенёв. - Новосибирск: Наука, 2020. - 224 с.

УДК 621.314.21

К. А. Лётин, С. А. Лебедева

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Аннотация: Рассмотрены результаты работы по модернизации лабораторного стенда для изучения статической балансировки, разработки методического обеспечения и апробации.

Ключевые слова: статическая балансировка, лабораторный стенд, устранение дисбаланса.

K. A. Letin, S. A. Lebedeva

MODERNIZATION OF THE TRAINING STAND FOR THE STUDY OF STATIC BALANCING

Abstract: The results of the work on the modernization of the laboratory stand for the study of static balancing, the development of methodological support and testing are considered.

Keywords: static balancing, laboratory stand, elimination of imbalance.

Статическая балансировка широко используется в различных отраслях промышленности при производстве, ремонте и эксплуатации роторов. Для углубленного изучения этой темы в вузе и получения практических навыков необходима соответствующая лабораторная база, и её модернизация и совершенствование является актуальной задачей.

В качестве основы лабораторного стенда может использоваться оборудование, изготовленное предприятием «Русучприбор». В нём имеются основные узлы, а именно: установленный на валу маховик, и балансировочные ножи, однако из-за отсутствия средств для проведения измерения возможности стенда ограничены чисто эмпирическими методами, что существенно снижает учебно-методическую ценность оборудования. В частности, стенд не позволяет исследовать практически важный случай, когда установка пробных и балансировочных грузов возможна только в специально отведённых зонах. В этом случае возникает необходимость определения масс балансировочных грузов расчётным путём. [1]

Целью работы является модернизация стенда, а именно: создание измерительной части, разработка методики проведения балансировки и апробация стенда.

Для проведения балансировки при такой постановке задачи в стенд были внесены следующие изменения. Для определения углов поворота был установлен лимб, позволяющий с помощью отвеса определять поворот маховика. Кроме того были подготовлены места для установки пробных и балансировочных грузов. При этом, было выбрано крепление с помощью магнитов, что обеспечивает лёгкость установки и позволяют добиться точности центровки.

© Лётин К. А., Лебедева С. А., 2023

Внешний вид модернизированного стенда представлен на рис.1.

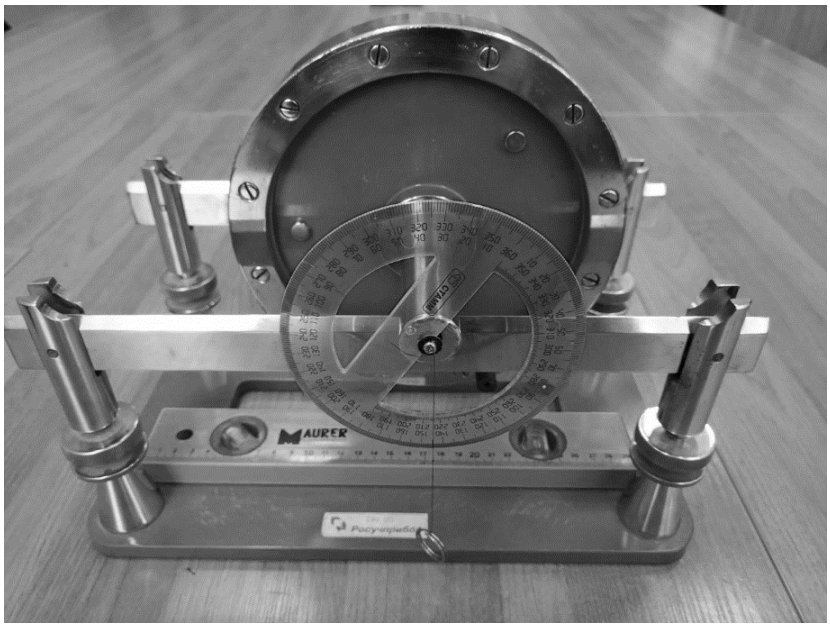


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

Далее модернизация стенда позволяет проводить работу в следующей последовательности. С помощью нивелира ножи устанавливаются в горизонтальном положении и определяется тяжёлое место маховика. Устанавливается пробный груз, масса которого подбирается таким образом, чтобы произошёл поворот на угол, порядка 45÷60°.

Расчётная схема для данного опыта представлена на рис. 2.

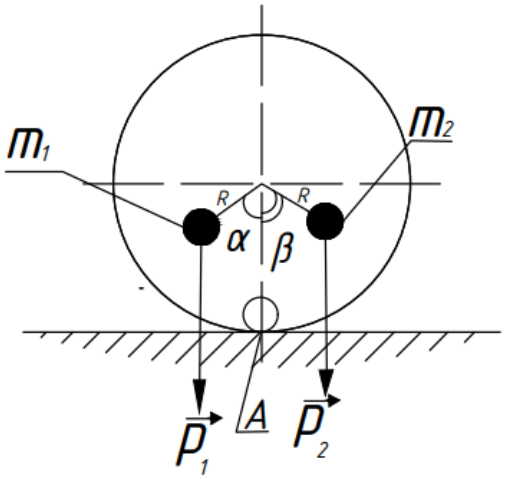


Рис. 2. Расчётная схема лабораторного стенда

На представленной схеме m_1 – исходный дисбаланс; m_2 – пробный балансировочный груз. Определяется угол положения тяжёлого места, обозначенного на схеме точкой A, далее градусные значения углов отсчитываются от него.

На данном этапе определяется величина дисбаланса. По результатам проведённых измерений она определяется из уравнений статического равновесия, а именно из равенства крутящих моментов от сил P_1 и P_2 относительно центра диска [2]:

$$P_1 \cdot R \cdot \sin\alpha = P_2 \cdot R \cdot \sin(180° - \angle\beta),$$

где R – радиус установки груза.

Численное значение массы дисбаланса может быть найдено, как:

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot \sin(180° - \angle\beta)}{\sin\alpha}.$$

На следующем этапе решается задача о распределении массы дисбаланса на составляющие. Она решается известными методами теоретической механики из уравнения системы сходящихся сил. В результате крепления двух балансировочных грузов m_{21} и m_{22} система сходящихся сил становится равновесной. Система находится в статическом равновесии, так как суммарное значение действующих сил вдоль одной прямой равно нулю: $\sum P = 0$, откуда $P = P_1$, где P – суммарное значение сил действующей нагрузки пробных грузов m_{21} и m_{22}, P_1 – суммарное значение сил дисбаланса m_1. Векторная диаграмма балансировки грузов представлена на рис. 3:

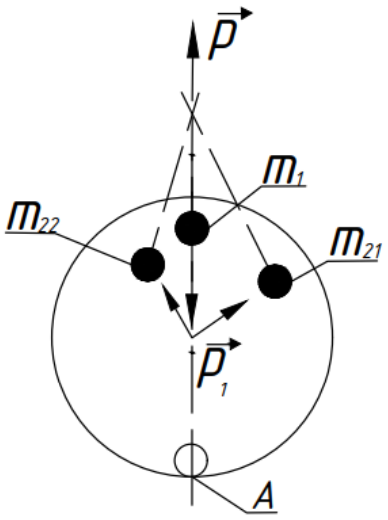


Рис. 3. Векторная диаграмма балансировки грузов

Углы φ1 и φ2 показывают местоположение пробных грузов относительно положения равновесия. Для нахождения значений масс m_{21} и m_{22} воспользуемся системой уравнений:

$$\begin{cases} m_{21}\sin\varphi_1 = m_{22}\sin\varphi_2 \\ m_{21}\cos\varphi_1 + m_{22}\cos\varphi_2 = m_1 \end{cases},$$

откуда получаем формулы для расчёта m_{21} и m_{22}:

$$m_{22} = \frac{m_1}{\sin\varphi_2 ctg\ \varphi_1 + \cos\varphi_2}; \quad m_{21} = m_{22} \cdot \frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1}.$$

В результате проведенной апробации было установлено, что погрешность предложенной методики по определению массы дисбаланса не превышает 4÷6 %. Результаты внедрены на кафедру теоретической и прикладной механики ИГЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левит М. Е., Рыженков В. М. Балансировка деталей и узлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с., ил.

2. Савельев, И.В. Теоретическая механика в примерах и задачах. Статика и кинематика Т.1: Учебное пособие / И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2013. – 672 с.

УДК 614.843.3

К. В. Митушки, И. В. Сараев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБЗОР ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация: в статье представлен обзор пожарно-спасательного оборудования, а также их технические характеристики. Показано, что пожарное оборудование имеет множество модификаций и вариантов исполнения в условиях низких температур.

Ключевые слова: оборудование, пожарный, техника, оснащение, спасатель.

K. V. Matushki, I. V. Saraev

OVERVIEW OF FIRE AND RESCUE EQUIPMENT FOR USE IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Abstracts: the article presents an overview of fire and rescue equipment, as well as their technical characteristics. It is shown, that fire-fighting equipment has many modifications and variants in low temperature conditions.

Keywords: equipment, fireman, machinery, equipment, lifeguard.

В России в настоящее время развивается Федеральная целевая программа по развитию Арктики и Арктической зоны до 2030 года. В данной программе рассмотрено множество задач для улучшения проживания населения в условиях низких температур, и в рамках различных задач мы предлагаем рассмотреть обзор пожарно-спасательного оборудования для применения в условиях низких температур [1].

К климатическим зонам России относятся:

1. Южные районы страны;
2. Районы запада, северо-запада, а также Приморский край;
3. Сибирь и Дальний Восток;

© Митушки К. В., Сараев И. В., 2023

4. Крайний север и Якутия.

Источниками возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в экстремальных природных условиях Сибири и Севера могут быть производства по добыче и транспортировке различных полезных ископаемых включая добычу углеводородов. Исходя из этого требует совершенствования система безопасности населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Комплекс аварийно-спасательных центров с размещением в них сил и средств МЧС России позволяет обеспечивать организацию борьбы с катастрофами, проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ [2].

Новое и усовершенствованное оборудование всегда было очень важным и ему всегда уделялось большое внимание в развитие. С учетом развития зон с низким климатическим условием данная проблема обострилась и приобрела тяжелую форму. Это связано с тем, что [3]:

а) экстремальные природно-климатические условия, крайне низкие;

б) высокая чувствительность экологических систем к внешним воздействиям, особенно в местах проживания коренных малочисленных народов Российской Федерации;

в) климатические изменения, способствующие возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды;

д) неравномерность промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий, ориентированность экономики на добычу природных ресурсов, их вывоз в промышленно развитые субъекты Российской Федерации и экспорт [3];

Начнем обзор с блока пожарных гидрантов с электрообогревом (ри. 1) – предназначен для размещения пожарно-технического оборудования и оснащения магистральных пожарных водопроводных линий. Блок пожарных гидрантов обеспечивает пожаротушение с помощью отбора воды через специальные патрубки, оснащенные соединительными пожарными головками и запорной арматурой, представляя собой своеобразный интегрированный комплект пожарного гидранта и колонок, размещенный в различных типах укрытий и готовый для непосредственного оперативного применения по назначению может эксплуатироваться в районах Крайнего Севера.

Рис. 1. Блок пожарных гидрантов с электрообогревом

Ключевые особенности:

1) После установки блока пожарных гидрантов с электрообогревом в пожарный водовод он находится в режиме постоянной готовности независимо от температур окружающего воздуха;

2) встроенная система обогрева;

3) имеет надежную круглогодичную защиту от атмосферных осадков.

Эргономичная и надёжная боевая одежда пожарного (рис. 2) – специально разработанная специалистами для регионов с условиями низких температур (до -50°С) и позволяющая выполнять задачи по тушению пожаров и проведения аварийно-спасательных работ, также, как и в стандартной боевой одежде пожарного [4].

Рис. 2. Эргономичная и надежная боевая одежда пожарного

Ключевые особенности:

1) высокопрочные арамидные ткани – способные противостоять высоким температурам;

2) боевая одежда пожарного полностью огнестойкая – пламени неподвластны не только ткань верха, но и весь пакет материалов;

3) огнестойкие амортизирующие вкладыши в районе локтей, коленей и плеч, которые защищают суставы и снижают нагрузку на позвоночник при ношении дыхательного аппарата;

4) в костюме пожарного используется огнестойкая паропроницаемая мембрана - она помогает отводить пары воды от тела человека, не допускает при этом попадания внутрь воды и ветра.

5) защитные свойства материала боевой одежды пожарного постоянны в течение всего срока эксплуатации вне зависимости от количества стирок и химчисток.

Лафетный ствол производства «Коруфайер» (рис. 3) – пожарные лафетные стволы используются для подачи огнетушащих веществ в очаг возгорания, позволяет тушить пожары на расстоянии от огневого фронта в пределах радиуса действия струи огнетушащего вещества [5].

Рис. 3. Лафетный ствол производства «Коруфайер»

Ключевые особенности:

1) лафетный ствол может работать в сложных климатических условиях, при экстремально низких температурах до –60 °С;

2) расход до 120 литров в секунду при напоре от 0,6 до 1,6 Мпа;

3) дальность водяной струи не менее 70 метров.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время всё большими темпами идёт развитие не только Арктической зоны РФ, но и сил и средств, которые будут обеспечивать пожарную безопасность на её территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.03.2021 № 484 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации».

2. Доклад министра МЧС России Владимира Пучкова «О долгосрочных перспективах развития системы МЧС России (МЧС-2030)».

3. Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

4. Экипировка [Электронный ресурс]. URL: https://energocontract.ru (дата обращения: 14.03.2023).

5. Пожарное оборудование [Электронный ресурс]. URL: http://korufire.ru (дата обращения: 14.03.2023).

УДК 621

И. А. Недилько, Н. А. Кропотова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИНЖЕНЕРНО-ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ: ПРИВОД ЛЕБЕДКИ

Аннотация: В статье обосновано решение прикладной задачи. Для снижения профессиональных рисков предлагается повысить интерес к инженерно-прикладным задачам обучающихся первого года обучения. Авторы обосновывают, что решение подобных задач позволяет ориентировать обучающихся в профессиональной деятельности обозначая круг проблемных вопросов, создавая условия для выполнения проектной деятельности и продуктовой деятельности, что в дальнейшем позволит облегчить внедрение научной составляющей в учебный процесс.

Ключевые слова: адаптация, профессиональная деятельность, пожарная охрана, ситуационные задачи, лебедка.

I. A. Nedilko, N. A. Kropotova

ENGINEERING AND APPLIED TASKS TO REDUCE OCCUPATIONAL RISKS: WINCH DRIVE

Abstracts: The article substantiates the solution of the applied problem. To reduce professional risks, it is proposed to increase the interest in engineering and applied tasks of first-year students. The authors substantiate that the solution of such tasks allows students to be guided in their professional activities by identifying a range of problematic issues, creating conditions for the implementation of project activities and product activities, which in the future will facilitate the introduction of the scientific component into the educational process.

Keywords: adaptation, professional activity, fire protection, situational tasks, winch.

При организации технически правильной производственной деятельности личного состава подразделений пожарной охраны необходимо уделять внимание на снижение профессиональных рисков. Что касаемо подготовки обучающихся, то они должны уметь производить поиск рациональных решений в задачах с различными условиями и ситуациями профессиональной деятельности [1–2]. Для этого обосновано решение инженерно-прикладных задач для первого года обучения, позволяющие осуществлять поиск решений профессионально-производственной задачи.

Актуальность данного исследования подтверждается использованием привода лебедки в различных назначениях как подъемный механизм. А вот вопросы, связанные с инженерными прочностными расчетами для безопасной эксплуатации достаточно актуальны и требуют рациональных решений, позволяющих привести усовершенствование различных конструкций, в том числе уже стоящих на вооружении. Приводы лебедки в подразделениях пожарной охраны достаточно распространены [3]. Они применяются в башенной сушилке для подъема пожарных рукавов (рис. 1), в пожарно-технических и гаражных помещениях для подъема крупногабаритных уз-

© Недилько И. А., Кропотова Н. А., 2023

лов и агрегатов пожарной техники и грузов (рис. 2). В любом случае назначение привода лебедки – подъем объектов по вертикали. Достаточно часто сейчас на постах технического обслуживания можно встретить привод лебедки, осуществляющий перемещение грузов по горизонтали.

Рис. 1. Реальная конструкция привода лебедки с подъемной платформой для сушки пожарных рукавов в башенной сушилке

Рис. 2. Привод лебедки, используемый для ремонта крупных агрегатов и узлов пожарной техники

Привод лебедки в зависимости от механизма, который осуществляет вращение барабана лебедки для наматывания троса может быть ручным, электрическим, гидравлическим, а также от двигателя внутреннего сгорания. По предназначению лебедки классифицируют на монтажные, тяговые, монтажно-тяговые. В любом случае, лебедка – это передаточный механизм с барабаном, за который крепится трос, канат или цепь.

Устройство лебедки должен иметь усиленный корпус, надежную систему крепления, позволяющую выдерживать вес груза. Конструкция лебедки многократно уменьшает фактическое усилие, требуемое для вращения барабана, по сравнению с реальным переносимым весом. Такой механизм может использоваться для подъема груза массой от нескольких сот килограмм до десятков тонн. Поэтому рассмотрение вопроса надежности крепления работающих механизмов к опоре имеет актуальное значение (рис. 3). 3D-модели подъемных механизмов проектируемые обучающиемися кафедры механики, ремонта и деталей машин Ивановской пожарно-спасательной академией ГПС МЧС России, выполняя курсовой проект по дисциплине «Детали машин» и в дальнейшем используемые в выпускной квалификационной работе [4–5].

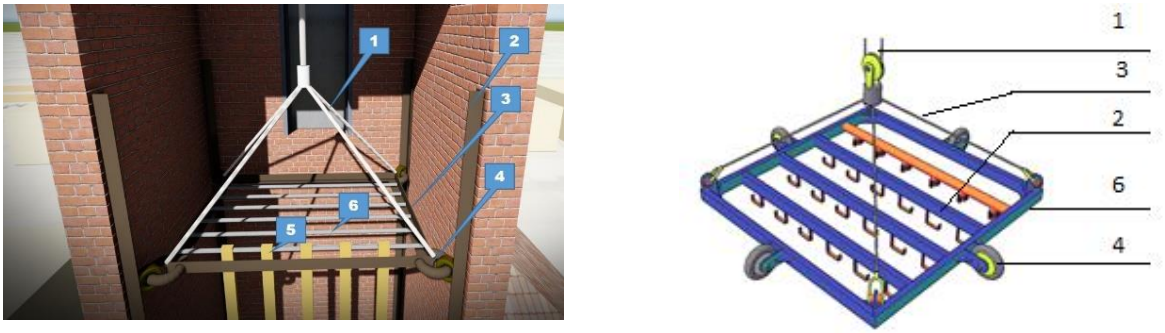


Рис. 3. 3D-модели подъемных механизмов проектируемые обучающиемися:
1 – удерживающий трос с разветвлением – 3, 2 – направляющие, 4 – колесики,
5 – пожарный рукав, 6 – рама

Для этого зададим некоторое условие для расчета. Электрическая лебедка весом 20 кН крепится к фундаменту при помощи шести болтов. Принципиальная схема представлена на рис. 4.

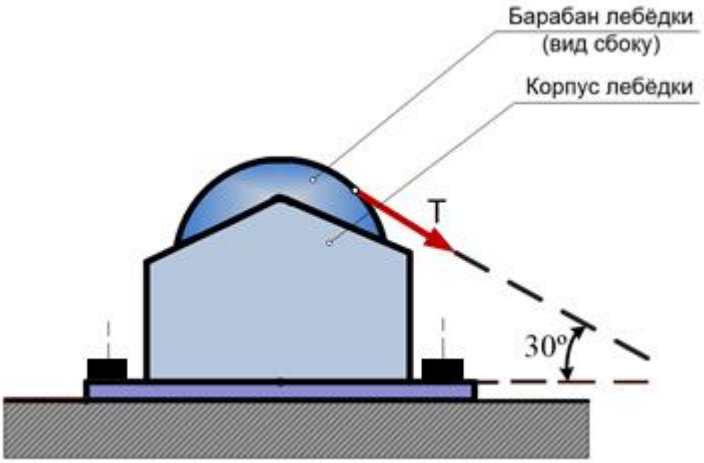


Рис. 4. Принципиальная схема электрической лебедки

Максимальная сила тяги равна 80 кН и направлена под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения между основанием лебедки и фундаментом равен примем равным 0,5. Определим силу затяжки болтов, при которой срезывающее усилие в них равно нулю и лебедка удерживается от сдвига одной силой трения. Расчетная схема для дальнейшего нахождения проекций приложенных сил на выбранные координатные оси приведена на рис. 5.

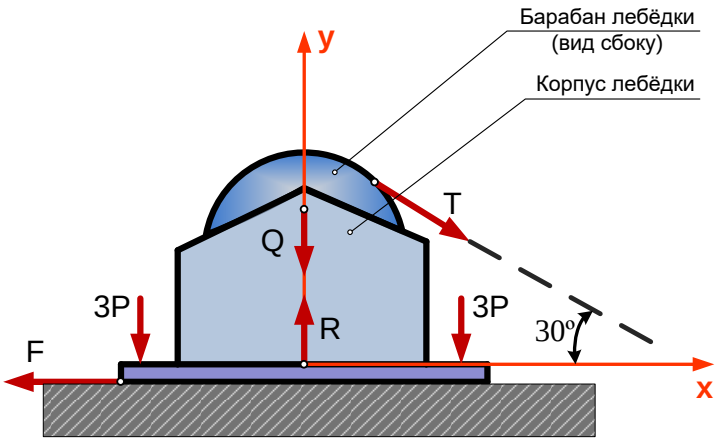


Рис. 5. Расчетная схема рассматриваемой лебедки

Используя уравнение статики $\Sigma F_{ky} = 0$, получим:

$$R - 6P - Q - T\sin 30^\circ = 0 \quad (1)$$

$$R = 6P + Q + T\sin 30^\circ = 6P + 20 + 80 \cdot 0{,}5 = 6P + 60 \quad (2)$$

Необходимая для равновесия сила трения:

$$T\cos 30^\circ - F = 0 \tag{3}$$

$$F = T\cos 30^\circ = 80 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 69{,}2 \ \ кН \tag{4}$$

Зависимость между силой трения и нормальным давлением по условию задачи принимаем равным:

$$F = f \cdot R \tag{5}$$

Решая уравнение с неизвестной, получаем выражение:

$$P = \frac{69{,}2 - 60 \cdot 0{,}5}{6 \cdot 0{,}5} = 13 \ \ кН$$

Для того, чтобы болты не испытывали срезывающих усилий, и лебедка удерживалась от сдвига силой трения, необходимо и достаточно, чтобы затяжка каждого болта удовлетворяла условию $P \geq 13кН$.

Лебедка – механизм, тяговое усилие которого передается посредством троса от приводного барабана. Соблюдение прочностных расчетов позволит спроектировать привод лебедки для выполнения различных функций и назначений, для подразделений пожарной охраны [5] в первую очередь для подъема пожарных рукавов в башенную сушилку. Выполнение инженерно-технических прикладных задач позволит снизить профессиональные риски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов Е.Р., Кропотова Н.А. Инженерно-техническое решение повышения эффективности реагирования подразделений пожарной охраны // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, 10–11 ноября 2021 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 356 – 360.

2. Мочалов Е.Р., Кропотова Н.А. Инженерно-техническое решение для повышения эффективности работы подразделений пожарной охраны // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 181 – 185.

3. Кропотова Н.А., Легкова И.А. Особенности применения инфографики в образовательном процессе // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2021. Том 2. С. 200 – 204.

4. Легкова И.А., Кропотова Н.А. Возможности применения инфографики в образовательном процессе // Современное инженерное образование: вызовы и перспективы: материалы национальной научно-практической конференции, 7-8 февраля 2022 г. / под ред. Н.Н. Зеркиной; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. С. 211 – 215.

5. Кропотова Н.А., Легкова И.А. Инженерно-конструкторская подготовка кадров МЧС России // Общенаучные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России: сборник трудов секции № 16 XXXI Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 17 марта 2021 года. – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. 2021. С. 98 – 101.

УДК 62-97/-98

С. А. Нестеров, В. Д. Бакланов
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРАХ

Аннотация: Несмотря на то, что к настоящему времени проведено большое количество исследований по теоретическому анализу и экспериментальному изучению магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ), разрозненность представленных в публикациях данных по характеристикам применяемых магнитных жидкостей и результатам их работы в составе МЖГ не позволяет производить верификацию сложных численных моделей, учитывающих широкий спектр магнитных, тепловых и гидродинамических процессов. Разработанный и изготовленный экспериментальный стенд позволяет проводить комплексное исследование физических процессов, протекающих в МЖГ.

Ключевые слова: магнитная жидкость, магнитожидкостный герметизатор, герметизация подвижных валов, магнитожидкостное уплотнение.

S. A. Nesterov, V. D. Baklanov

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STAND FOR THE STUDY OF PROCESSES IN HIGH-SPEED AND HIGH-TEMPERATURE FERROFLUID SEALERS

Abstracts: Despite the fact that a large number of studies have been conducted to date on the theoretical analysis and experimental study of ferrofluid (FF) seals, the disparity of data presented in publications on the characteristics of the FF used and the results of their work as part of the FF seal does not allow for verification of complex numerical models that take into account a wide range of magnetic, thermal and hydrodynamic processes. The developed and manufactured experimental stand allows for a comprehensive study of the physical processes occurring in the FF seals.

© Нестеров С. А., Бакланов В. Д., 2023

Keywords: ferrofluid, ferrofluid seal, sealing of movable shafts.

Магнитные жидкости (МЖ) представляют собой коллоидный раствор мелких магнитных частиц с типичными размерами около 10 нм находящихся в взвешенном состоянии в жидкости носителе, и покрытые поверхностно активным веществом, препятствующим необратимому слипанию частиц под действием магнитных сил. Благодаря уникальной возможности управлять течением МЖ и положением её в пространстве с помощью градиента внешнего магнитного поля были разработаны магнитожидкостные герметизаторы, обеспечивающие отсутствие механического износа между движущимися частями, нулевая утечка уплотняемой среды, длительный срок службы и приспособленность к неблагоприятным условиям окружающей среды [1-3].

Принципиальная конструкция МЖГ показана на рис. 1. Небольшой объем магнитной жидкости 1 за счёт магнитного поля постоянного магнита 2 удерживается в зазоре между вращающимся валом 3 и окружающим цилиндрическим магнитным полюсом 4. В результате формируется магнитожидкостная пробка в форме кольца способная удерживать перепад давления.

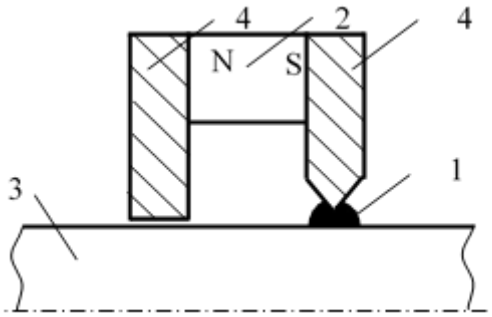


Рис. 1. Принципиальная конструкция МЖГ

Основную сложность при экспериментальном исследовании протекающих в МЖГ процессов составляет малая величина заполненного МЖ рабочего зазора, составляющая порядка 0,2–0,5 мм, что сильно затрудняет или делает невозможным многие физические измерения.

Рис. 2. Разработанный экспериментальный стенд

Разработанный экспериментальный стенд показан на рис. 2 и состоит из асинхронного двигателя, приводящего во вращение вал электромагнита. Частота вращения двигателя, регулируется преобразователем частоты в пределах от 0 до 3500 об/мин, измеряется тахометрическим датчиком и передаётся на ЭВМ Частота вращения вала МЖГ диаметром 0,14 м в 3500 об/мин соответствует линейной скорости на поверхности в 25 м/с.

Питание катушки электромагнита осуществляется от регулируемого лабораторного источника постоянного тока, позволяющего создавать магнитное поле в рабочем зазоре МЖГ с индукцией до 2 Тл.

МЖГ устанавливается на верхнюю часть электромагнита (рис. 3) через немагнитную прокладку толщиной 2 мм с возможностью замены неподвижной полюсной приставки и вала на требующуюся в соответствии с программой испытания. Неподвижная полюсная приставка и вал герметизатора образуют рабочий зазор МЖГ, заполняемый МЖ.

Для проведения исследований с разной геометрией рабочего зазора, заполненного МЖ, для стенда были изготовлены полюсные приставки различной конфигурации, что позволяет исследовать влияние геометрии зазора на гидродинамические процессы в МЖ и удерживаемый перепад давления МЖГ.

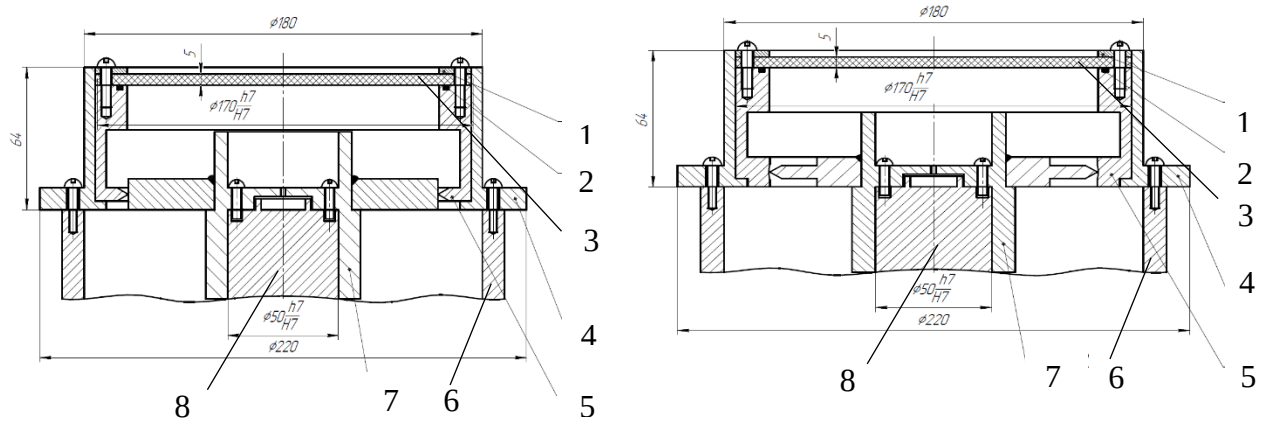
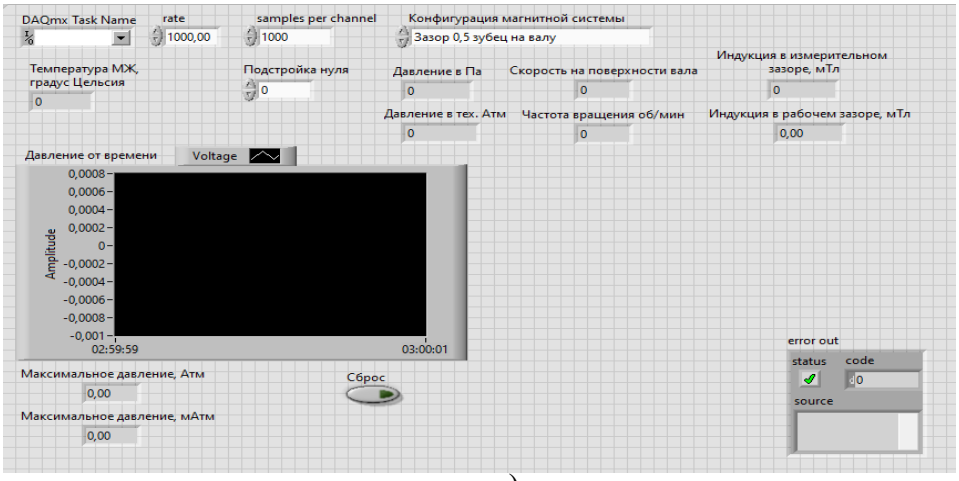


Рис. 3. Устройство магнитожидкостного герметизатора. 1 – нажимное кольцо, 2 – уплотнительное кольцо, 3 – крышка из поликарбоната, 4 – корпус МЖГ, 5 – неподвижная полюсная приставка, 6 – корпус электромагнита, 7 – вал МЖГ, 8 – вал электромагнита

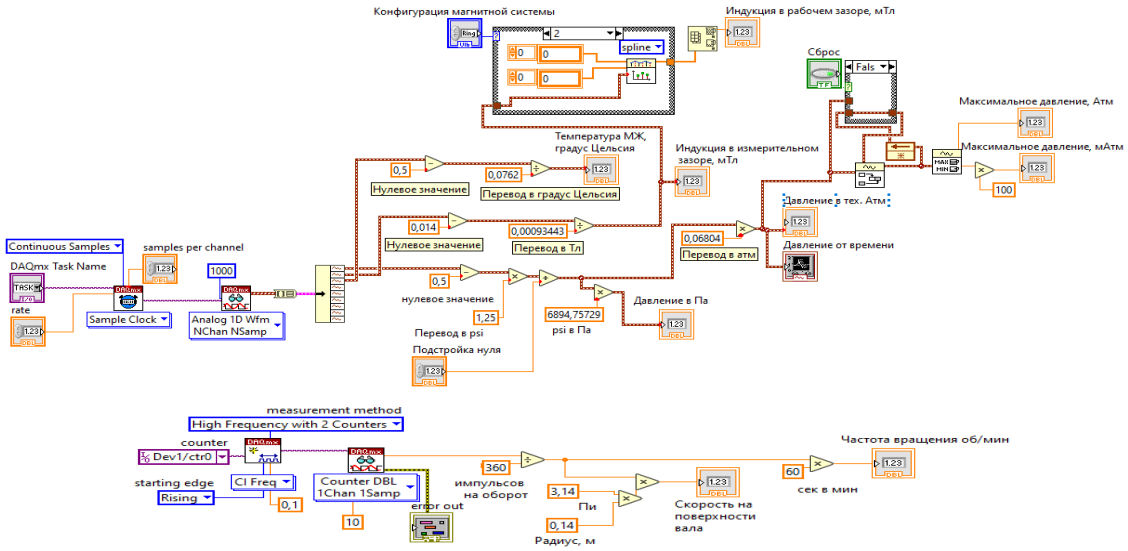
Сжатый воздух поступает в рабочую камеру МЖГ от компрессора через два игольчатых крана, дающих возможность тонкой регулировки расхода газа. Для контроля давления предусмотрен как стрелочный манометр, так и аналоговый датчик, пропорциональный давлению электрический сигнал с которого поступает на ЭВМ.

Из-за нелинейности и гистерезиса магнитных свойств стали использование значений тока для определения величины магнитной индукции в рабочем зазоре даст большую ошибку. Для решения этой проблемы используется датчик Холла, установленный в зазоре между корпусом электромагнита и корпусом МЖГ, образованном двухмиллиметровой немагнитной прокладкой, пропорциональный магнитной индукции электрический сигнал с которого поступает на ЭВМ, где с использованием предварительно полученной картины распределения магнитного поля в МЖГ вычисляется максимальное значение магнитной индукции в рабочем зазоре.

Сигнал с датчиков индукции, давления, частоты вращения вала, температуры, установленных в стенде, передается на ЭВМ, где обрабатывается в программируемой среде LabView, разработанная программа и её рабочий интерфейс представлены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Рабочий интерфейс (а) и структура (б) разработанной программы для испытания МЖГ

Программа позволяет отслеживать в режиме реального времени весь спектр показателей: удерживаемый перепад давления в данный момент времени и его максимальное значение до пробоя герметизатора; линейную скорость на поверхности вращающегося вала; температуру МЖ; магнитную индукцию в измерительном и рабочем зазорах.

С каждым образцом МЖ проводится серия опытов, включающих в себя: определение вязкости, плотности и намагниченности МЖ; определение критического перепад давления с различной формой рабочего зазора, линейной скоростью, индукцией в зазоре и температурой МЖ.

Комплексный подход к экспериментальному исследованию тепловых и гидродинамических эффектов в нанодисперсных МЖ при работе в составе МЖГ позволяет проводить верификацию разработанных моделей и методик расчёта высокоскоростных и высокотемпературных герметизаторов

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00156, https://rscf.ru/project/22-79-00156/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин [и др]; под ред. проф Д.В. Орлова, проф. В.В. Подгоркова. – М. : Машиностроение, 1993. – 275 с.

2. Морозов Н.А. Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. – Иваново : ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2011. – 264 с.

3. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: монография / М. С. Сайкин.– Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2017. – 136 с: ил.

УДК614.843.4

Н. Н. Оревин, И. В. Сараев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБЗОР ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЯХ

Аннотация: в статье представлен обзор современного гидравлического аварийно-спасательного инструмента, а также их технические характеристики. Показано, что гидравлический аварийно-спасательный инструмент имеет множество модификаций и вариантов исполнения.

Ключевые слова: гидравлический аварийно-спасательный инструмент, обзор.

N. N. Orevin, I. V. Saraev

BATTERY HYDRAULIC RESCUE TOOL OVERVIEW

Abstracts: the article presents an overview of modern hydraulic rescue tools, as well as their technical characteristics. It is shown that the hydraulic rescue tool has many modifications and variants of execution.

Keywords: hydraulic emergency rescue tool, overview.

Пожарный гидравлический инструмент – это инструмент, приводимый в действие от ручного (ножного) насоса или от электро, мото или пневмоприводного насосного агрегата, предназначенный для выполнения работ на пожаре [1].

Виды гидравлического пожарно-спасательного инструмента: [1]:

1) ручной механизированный инструмент с мотоприводом: Ручная машина, приводимая в действие от двигателя внутреннего сгорания, предназначенная для выполнения работ при тушении пожара.

© Оревин Н. Н., Сараев И. В., 2023

2) ручной механизированный инструмент с пневмоприводом: Ручная машина, приводимая в действие энергией сжатого воздуха, предназначенная для выполнения работ на пожаре.

3) ручной механизированный инструмент с электроприводом: Ручная машина, приводимая в действие от электродвигателя, предназначенная для выполнения работ при тушении пожара.

Гидравлический аварийно-спасательный инструмент с аккумуляторной батареей российского производства представлены далее.

Расширитель малый РСГС-80МА28 (рис. 1) [2]. Предназначен для перемещения различных объектов, расширения щелей, удержания грузов в фиксированном положении, деформирования и стягивания (табл. 1).

Рис. 1. Расширитель малый РСГС-80МА28

Таблица 1. **Характеристики расширителя малого РСГС-80МА28**

Показатель	**Значение**
Максимальное раскрытие, мм	548
Максимальное раздвигающее усилие, кН	110,12
Раздвигающее усилие на концах рычагов, кН	68,45
Максимальное усилие стягивания, кН	76,5
Максимальное усилие сжатия вставками, кН	113,55
Масса, кг	24,3
Габаритные размеры (д/ш/в), мм	895/300/220
Емкость батареи, Ач	6
Время заряда батареи, ч	2

Ножницы комбинированные малые НКГС80МА28 (рис. 2) предназначены для перекусывания арматуры, труб, уголков; резания полосы и листового металла; подъема и перемещения тяжёлых грузов [2].

Рис. 2. Ножницы комбинированные малые НКГС80МА28

Характеристики малых комбинированных ножниц НКГС80МА28 представлены в табл. 2 [2].

Таблица 2. **Характеристики рукавного ножниц комбинированных малых КГС80МА28**

Показатель	Значение
Максимальное раскрытие, мм	284
Максимальное усилие резания, кН	235
Максимальное усилие стягивания, кН	78,5
Усилие сжатия концов ножей, кН	35,3
Усилие разведения концов ножей, кН	38,3
Масса, кг	16,8
Габаритные размеры (д/ш/в), мм	700/300/220

Кусачки автономные электрогидравлические УРСУС КАЭ 1000 (рис. 3) [3]. Предназначены для перекусывания арматуры, перерезания листовой стали и обшивки автомобилей, представляют собой закрытую систему. Были специально разработаны для комплектации автомобилей первой помощи, операций быстрого реагирования, для ведения аварийно-спасательных работ на пожаре, а также в условиях ликвидаций последствий землетрясений, аварий, катастроф на суше, в том числе могут применяться при монтажно-демонтажных работах в труднодоступных местах (табл. 3) [3].

Рис. 3. Кусачки автономные электрогидравлические УРСУС КАЭ 1000

Таблица 3. **Характеристики кусачек автономных электрогидравлических УРСУС КАЭ 1000**

Показатель	Значение
Максимально перекусываемые профили:	
Пруток стальной, диаметр, мм	39
Труба стальная, диаметр х стенка, мм	88,5 х 4,5
Максимальное режущее усилие, кН	На 77% большее усилие в момент резки
Максимальное раскрытие для резки, мм	190
Класс (по ГОСТ Р 50982-2009)	F
Габариты, ДхШхВ, мм	950х300х270
Масса, кг	22,3

Гидравлический аварийно-спасательный инструмент с аккумуляторной батареей зарубежного производства представлены далее.

Аккумуляторный разжим Edilgrappa DE625N-E 54V (рис. 4) [4]. Предназначен для перекусывания арматуры, перерезания листовой стали и обшивки автомобилей.

Рис. 4. Кусачки Edilgrappa DE625N-E 54V

Характеристики кусачек Edilgrappa DE625N-E 54V представлены в табл. 4 [4].

Таблица 4. **Характеристики кусачек Edilgrappa DE625N-E 54V**

Показатель	**Значение**
Ширина зева, мм	625
Усилие сжатия (на 25мм от конца), т	5,0
Мин. усилие разжима (на 25мм от конца), т	4,6
Макс. усилие разжима (на 150мм от конца), т	13,4
Рабочее давление, МПа	70
Габариты: Д х В х Ш, мм	785 х 283 х 242
Габариты: Д х В х Ш (полностью раскрытые ножи), мм	701 х 625 х 242
Вес без аккумулятора, кг	19,0
Электромотор	бесщёточный
Аккумуляторная батарея	Li-Ion
Напряжение, В	54
Емкость аккумулятора, Ач	6,0
Вес аккумулятора, кг	1,14
EN 13204	AS 45/625-19

Для сравнительной характеристики представленных видов инструмента сопоставим их технические характеристики (табл. 5).

Таблица 5. **Сравнение характеристик гидравлического аварийно-спасательного инструмента российского и зарубежного производства**

Наименование	РСГС-80МА28	УРСУС КАЭ 1000	Edilgrappa DE625N-E 54V
Габариты, мм	895/300/220	950/300/270	701/625/242
Масса, кг	24,3	22,3	19,0
Емкость аккумулятора, Ач	6	5	6
Максимальное раскрытие, мм	548	190	625
Время заряда батареи, ч	2	2	3
Примерная цена, руб.	520220	550000	610000

Подводя итоги обзора современного гидравлического аварийно-спасательного инструмента можно сделать вывод, что разновидностей данного инструмента много, как российского, так и зарубежного производства. Исходя из рассмотренных вариантов наиболее предпочтительным для дальнейшего рассмотрения является инструмент РСГС-80МА28.

Следует отметить, что представленный гидравлический аварийно-спасательный инструмент, это далеко не весь перечень продукции, которую удалось найти в ходе литературного обзора. При дальнейшем исследовании данного направления целесообразно поставить следующие задачи исследования:

1) провести детальный обзор гидравлического аварийно-спасательного инструмента отечественного и зарубежного производства;
2) провести сопоставление представленного спектра продукции;
3) определить их достоинства и недостатки;
4) разработать перспективный облик гидравлического аварийно-спасательного инструмента, отвечающего самым высоким требованиям современности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50982-2009 Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожарах. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. Расширитель малый РСГС-80МА28 [Электронный ресурс]. URL: https://sprut.com/catalog/product/view/77/52 (дата обращения: 26.03.2023).
3. Кусачки автономные электрогидравлические УРСУС КАЭ 1000 [Электронный ресурс]. URL: https://www.peleng.info/product/kae1000 (дата обращения: 26.03.2023).
4. Кусачки Edilgrappa DE625N-E 54V [Электронный ресурс]. URL: https://rezaki.com/product/akkumulyatornyy-razzhim-edilgrappa-de625-t40-bo-54v/ (дата обращения: 26.03.2023).

УДК 620.193

В. С. Петров, В. П. Зарубин
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ВЫБОР СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ПОД НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ОТ КОРРОЗИИ

Аннотация: материал статьи посвящен вопросу защиты кузовных деталей пожарных автомобилей от коррозии; особое внимание уделяется проблеме устранения очагов коррозии и подготовки поверхности под нанесение защитных покрытий; поведен обзор существующих способов удаления коррозии с металлических деталей и выбран оптимальный по качеству подготовки поверхности и технологичности применения; представлены результаты исследований надежности защитного покрытия в зависимости от проведенных подготовительных операций.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, техническое обслуживание, защита от коррозии, пескоструйная обработка.

V. S. Petrov, V. P. Zarubin

THE CHOICE OF A METHOD FOR PREPARING THE SURFACES OF FIRE EQUIPMENT PARTS FOR THE APPLICATION OF PROTECTIVE COMPOUNDS AGAINST CORROSION

Abstracts: the material of the article is devoted to the protection of fire truck body parts from corrosion; special attention is paid to the problem of eliminating corrosion foci and preparing the surface for protective coatings; a review of existing methods for removing corrosion from metal parts is conducted and the optimal surface preparation quality and manufacturability of application is selected; the results of studies of the reliability of the protective coating depending on the preparatory operations performed are presented.

Keywords: fire truck, maintenance, corrosion protection, sandblasting.

Исправность и надежность мобильных средств пожаротушения складывается из множества факторов. К ним можно отнести надежность работы двигателя пожарного автомобиля, исправную работу коробки переключения передач, пожарного насоса и других узлов, и агрегатов. Выход из строя всего лишь одного узла делает невозможным использование всего автомобиля. Поэтому долговечность и надежность работы деталей, узлов и агрегатов техники является важной задачей. Своевременное проведение технического обслуживания позволяет сократить преждевременный выход из строя пожарной техники и продлевает межремонтный период. Работы по замене смазочных материалов, фильтрующих элементов, регулировка зазоров соприкасающихся деталей снижают износ деталей и положительно влияют на их работоспособность. Однако, не только рабочие узлы и агрегаты оказывают влияние на работоспособность машины, рама, кузов и детали корпуса защищают несут на себе основную нагрузку и защищают внутреннее устройство от воздействия внешних

© Петров В. С., Зарубин В. П., 2023

факторов. Поэтому, целостность и надежность этих элементов влияет на надежность конструкции.

Основными негативными факторами, влияющими на состояние кузовных деталей и рамы автомобиля, является коррозия. В результате повреждения защитного лакокрасочного покрытия появляется доступ влаги и агрессивных сред к металлу который начинает разрушаться и может привести к потере несущей способности корпусной детали [1]. Поэтому, защита деталей от коррозии является важной задачей.

Покрытие металлических деталей грунтовочными красками и эмалями является самым распространенным способом защиты кузовных деталей от коррозии [1]. Однако стоит отметить, что необходимо соблюдать не только технологию нанесения краски и эмалей, но и технологию подготовки поверхности под покрытие. Нанесение грунтовочного состава на поверхность не прошедшую очистки и удалению продуктов коррозии недопустимо из-за низкой надежности и целостности покрытия. Даже не значительная оксидная пленка снижает качество покрытия. Поэтому перед покраской необходимо качественно подготовить поверхность детали.

Существует химический и механический способ удаления продуктов коррозии с металлов [2]. При химическом способе, место повреждения обрабатывается специальным составом (рис. 1) для преобразования ржавчины. Стоит отметить, что очень часто не достаточно обработать поверхность специальным раствором, после обработки нужно счистить остатки оксидной пленки и раствора, а в случае не полного удаления надежность покрытия значительно снижается.

Рис. 1. Химически активные составы для защиты металла от коррозии

Механический способ предусматривает удаление следов коррозии с помощью специального инструмента (рис. 2). При этом, обработку желательно проводить до полного удаления ржавчины.

Рис. 2. Механическая обработка металла от коррозии

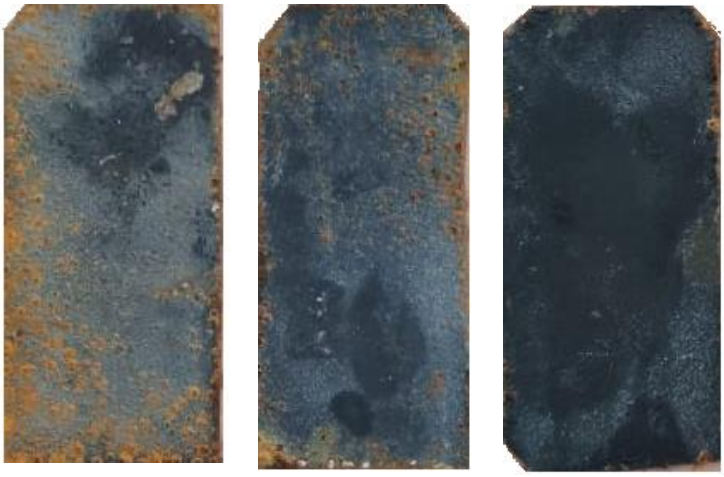
Рассматривая самые распространенные способы механической обработки стоит отметить, что работа ручными металлическими или абразивными щетками (рис. 2) требует приложения значительных физических усилий и затрат времени. Обработка абразивными кругами с помощью угловой шлифовальной машинки ускоряет процесс, но приводит к перегреву поверхности и лишнему удалению металла. Поэтому, при борьбе с очагами глубокой коррозии, на наш взгляд оптимальным способом механической обработки является пескоструйная обработка (рис. 3).

Рис. 3. Пескоструйная обработка металла от коррозии

Преимуществами данного способа является возможность обработки поверхностей любой геометрической формы и в трудно доступных местах. Абразивный материал под воздействием струи сжатого воздуха вычищает очаги глубокой коррозии оказывая на основной металл минимальное воздействие в сравнении с абразивными дисками и наждаками. Увеличивается адгезия грунтовочных составов и эмалей.

Для оценки влияния качества подготовки поверхности под нанесение лакакрасочных покрытий были подготовлены различными способами образцы. Образец №1 из листового металла обрабатывался преобразователем ржавчины «Цинкарь», образец №2 обрабатывался лепестковым абразивным кругом, образец №3 подвергался пескоструйной обработке. Обработанные образцы обезжиривались растворителем, покрывались грунтом и эмалью. Для оценки устойчивости покрытия к образованию коррозии образцы помещались в агрессивный раствор. В процессе исследований фиксировалось изменение поверхностного слоя покрытия, нарушение его целостности появление ржавчины (рис. 4). Наблюдения проводились с периодично-

стью 14 дней. Максимальное время выдержки образцов в агрессивной среде составило 32 дня.



1 2 3

Рис. 4. Вид образцов после проведения исследований: 1 – образец обработанный преобразователем ржавчины «Цынкарь»; 2 – образец, обработанный абразивным лепестковым диском; 3 – образец подвергнутый пескоструйной обработке

Визуальный осмотр образцов позволяет сделать заключение, что не зависимо от обработки все образцы поражены коррозией. Значительные повреждения имеет образец № 1 обработанный перед покраской преобразователем ржавчины «Цынкарь». Новые очаги коррозии распространились по всей поверхности, краска вздулась и отслоилась. Меньше повреждений у образца № 2. Очаги образовывались от краев и продвигались к середине образца. Детальный осмотр дает возможность сделать заключение, что способствовало распространению коррозии в глубь детали остатки не удаленной оксидной пленки под слоем краски. В местах с тщательной зачисткой слой эмали не нарушен. Высокое качество покрытия на образце № 3 не вызывает сомнений. Новые очаги ржавчины в небольшом количестве проявились только по краям детали. При этом дальнейшего проникновения агрессивной среды под краску не отмечено. Это подтверждает надежную адгезию и прочный слой краски. Отсутствие или минимизация продуктов коррозии под слоем краски не позволяет агрессивной среды проникать внутрь и разрушать металл.

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о необходимости проведения работ по устранению очагов коррозии на деталях перед грунтовкой и покраской. Правильно выбранная технология зачистки поверхности обеспечит качественное нанесение защитного покрытия, его необходимую надежность и прочность, минимальное негативное воздействие на не пораженный коррозией металл детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов Д.Ю. Антикоррозионная защита [Текст]: – Екатеринбург: ООО «ИД «Оригами», 2013. - 440 с.

2. Медведев М.С. Современные способы защиты металлов от коррозии [Текст]: М.: Химия, 2019. – 25 с.

3. Иванов В.Е., Головатенко А.Ю. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций // В сборни-

ке: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 224-227.

4. Киселев В.В., Зарубин В.П., Покровский А.А. Снижение износа зубчатых колес коробок переключения передач пожарных автомобилей за счет улучшения противоизносных свойств трансмиссионного масла. / Пожарная и аварийная безопасность. 2022. № 4 (27). С. 24-29.

5. Иванов В.Е., Головатенко А.Ю. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций. В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 224-227.

УДК 621.8

А. А. Покровский
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Аннотация: Рассмотрены условия работы подшипников качения и внешние признаки, свидетельствующие об их предельном состоянии. Для правильного выбора подшипников представлены методы их расчета по статической и динамической грузоподъемности. Также показано использование принципа Даламбера для решения задач по определению реакций подшипников в инженерных методах расчета.

Ключевые слова: подшипник, реакция, нагрузка, грузоподъемность, ресурс, расчет.

A. A. Pokrovsky

BASIC CALCULATION METHODS FOR ROLLING BEARINGS

Abstracts: the operating conditions of rolling bearings and external signs indicating their limit state are considered. For the correct choice of bearings, methods for their calculation for static and dynamic load ratings are presented. It also shows the use of the d'Alembert principle for solving problems of determining the reactions of bearings in engineering calculation methods.

Keywords: bearing, reaction, load, load capacity, resource, calculation.

Подшипники качения служат опорными конструкциями и являются частью различных узлов машин и механических передач. Применение подшипников качения позволяет заменить кинематическую пару скольжения на пару трения качения, при котором коэффициент трения может достигать значения 0,0015. Во время пуска и при установившемся режиме работы потери на трение становятся практически одинаковыми. Подшипники качения имеют сравнительно малую стоимость и обладают высокой степенью взаимозаменяемости вследствие массового производства. Но при этом одним из основных недостатков данных изделий является повышенная чувствительность к вибрационным и ударным нагрузкам. Режимы работы и условия эксплуатации подшипниковых узлов и машин

© Покровский А. А., 2023

сказываются на сроках службы подшипников. Различия в условиях эксплуатации и конструктивных особенностях подшипников не дают общего представления об их ресурсе в каждом конкретном случае.

Внешними признаками, которые свидетельствуют о предельном состоянии подшипника качения, являются потеря плавности вращения, повышенный шум и повышенная температура. Данные признаки являются следствием усталостного выкрашивания дорожек колец и тел качения, деформацией рабочих поверхностей. Под действием статических и непродолжительных динамических нагрузок на поверхности тел качения могут образовываться остаточные деформации, что при дальнейшей эксплуатации скажется на повышенном износе и разрушении сепаратора.

Преждевременный износ подшипников приводит к потере точности соединения деталей и росту вибраций, что в свою очередь требует дополнительных затрат на ремонт оборудования.

Методом расчета по статической грузоподъемности пользуются при условии, когда внутреннее кольцо подшипника вращается с частотой не более одного оборота в минуту. Под статической грузоподъемностью радиальных и радиально-упорных подшипников понимают радиальную нагрузку, при которой перемещение тел качения и колец в наиболее нагруженной зоне контакта равно 0,0001 диаметра тела качения. Для упорных и радиально-упорных подшипников вместо радиальной нагрузки применяют осевую. В данном случае расчет подшипника производится путем сравнения требуемой величины статической грузоподъемности со значением установленным заводом изготовителем, указанным в справочной литературе.

Приближенный расчет статической грузоподъемности шариковых подшипников предусматривает определение допускаемой радиальной нагрузки, которая прямо пропорциональна квадрату диаметра тел качения, числу тел качения и коэффициенту, который учитывает вид материала. Данный коэффициент определяется для каждого типа подшипника по справочным таблицам. В случае затруднений с определением коэффициента можно воспользоваться другой методикой. Согласно этой методике необходимо определить нагрузку на максимально нагруженное тело качения, а затем по формулам рассчитать значение остаточной деформации на впадине кольца. Данное расчетное значение сравнивается с предельным значением остаточной деформации для конкретного типа подшипника.

В случае, когда кольцо подшипника совершает вращение с частотой более одного оборота в минуту, расчет подшипников проводят по динамической грузоподъемности. Динамическая грузоподъемность для радиальных и радиально-упорных подшипников определяется величиной постоянной нагрузки, которую группа идентичных подшипников с неподвижным наружным кольцом может выдержать в течение расчетного срока службы, исчисляемого в один миллион оборотов внутреннего кольца.

Расчет подшипника проводится по приведенной нагрузке и ресурсу в миллионах оборотов. По рассчитанной динамической грузоподъемности проводят выбор подшипника по справочной литературе, учитывая, что расчетное значение динамической грузоподъемности должно быть меньше величины установленной заводом изготовителем.

Если подшипник принят в зависимости от диаметра вала по конструктивным соображениям, то его ресурс проверяют в часах работы. Расчетная формула для эк-

вивалентной динамической нагрузки выбирается в зависимости от вида тел качения подшипника и типа воспринимаемой им нагрузки.

Методы расчета подшипников по статической и динамической грузоподъемности подразумевают проверку только по признаку усталостного выкрашивания и местного смятия рабочих поверхностей. Поэтому приведенные методы выбора подшипников качения на основе расчетов позволяют обеспечить их работоспособное состояние в течение заданного срока службы без возникновения усталостных разрушений. На практике при одинаковых условиях работы могут выбираться различные типы подшипников, так как исключить выход их из строя по другим причинам расчетными методами не представляется возможным.

Для решения задач по определению реакций подшипников в инженерной практике часто используют принцип Даламбера. Данный принцип подробно рассматривается в теоретической механике. С его помощью можно вычислять динамические реакции подшипников при вращении твердого тела вокруг неподвижной оси. Добавив к действующим на механическую систему силам силы инерции, можно применять уравнения статики для решения задач динамики. Принцип Даламбера можно описать следующими уравнениями:

$$\bar{F}_k^e + \bar{F}_k^u = 0; \tag{1}$$

$$\sum \bar{M}_O\left(\bar{F}_k^e\right) + \sum \bar{M}_O\left(\bar{F}_k^u\right) = 0 \tag{2}$$

Уравнение (1) характеризует внешние силы $\vec{F}_K^e$, приложенные к точкам механической системы, которые уравновешиваются силами инерции $\vec{F}_K^{\text{и}}$.

На рис. 1 показано твердое тело, вращающееся вокруг вертикальной оси под действием внешних сил $\bar{F}_1, \bar{F}_2, ...\bar{F}_n$. Определить реакции подпятника A и подшипника B можно, разложив их на составляющие. Оси координат жестко свяжем с вращающимся телом. Расстояние от начала координат до точек A и B обозначим a и b. Согласно принципу Даламбера необходимо добавить к каждой точке тела силу инерции, тогда к полученной системе сил, состоящей из внешних сил, реакций связей и сил инерции можно применить уравнения статики.

$$\sum X_S = 0; \quad \sum Y_S = 0; \quad \sum Z_S = 0; \quad \sum m_x = 0; \quad \sum m_y = 0; \quad \sum m_z = 0. \tag{3}$$

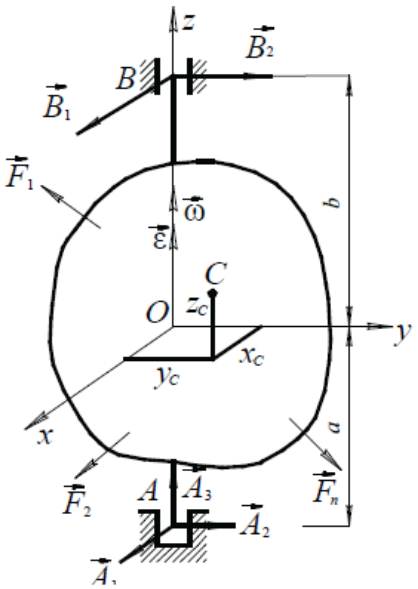


Рис. 1. Тихоходный вал червячной передачи

$$\sum X_S + A_1 + B_1 + Mx_c\omega^2 + My_c\varepsilon = 0; \tag{4}$$

$$\sum Y_S + A_2 + B_2 + My_c\omega^2 + Mx_c\varepsilon = 0; \tag{5}$$

$$\sum Z_S + A_3 = 0; \tag{6}$$

$$\sum m_x\left(\bar{F}_s\right) + A_2a + B_2b - J_{yz}\omega^2 + J_{zx}\varepsilon = 0; \tag{7}$$

$$\sum m_y\left(\bar{F}_s\right) + A_1a + B_1b - J_{zx}\omega^2 + J_{yz}\varepsilon = 0; \tag{8}$$

$$\sum m_z\left(\bar{F}_s\right) - J_z\varepsilon = 0; \tag{9}$$

где M - масса тела; x_c, y_c - координаты центра масс; J_z - момент инерции тела относительно оси вращения; J_{zx}, J_{yz} - центробежные моменты инерции тела.

Уравнение (9) представляет дифференциальное уравнение вращательного движения тела вокруг неподвижной оси. Динамические реакции подшипников находят из уравнений (5–8).

Приведенные методы расчета подшипников качения позволяют обеспечить их работоспособное состояние в течение заданного срока службы без возникновения усталостных разрушений. На практике при одинаковых условиях работы могут выбираться различные типы подшипников, так как исключить выход их из строя по другим причинам расчетными методами не представляется возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов И.А., Покровский А.А. Методы подбора и расчета подшипников качения при проектировании тихоходного вала червячной передачи // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново, 2022. – с. 330-334.

2. Шкрамада Д.А. Влияние условий эксплуатации на выбор подшипников качения // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2021». – Иваново 2021. – Т.4 - с. 83.

3. Покровский А.А., Попов А.Д. Влияние низких температур на работоспособность двигателей внутреннего сгорания // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново, 2022. – с. 205-210.

УДК 621.7.074

Д. М. Птицын, М. А. Ноздрин
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

УСТАЛОСТНЫЙ РАСЧЕТ ДЕТАЛИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА В100

Аннотация: проведен усталостный расчет детали фрезерного станка с различными концентраторами напряжений. На основании результатов расчетов выпущена конструкторская документация.

Ключевые слова: деталь фрезерного станка, метод конечных элементов, усталостная прочность.

D. M. Ptitsyn, M. A. Nozdrin

FATIGUE CALCULATION OF THE MILLING MACHINE PART B100

Abstracts: fatigue calculation of a milling machine part with various stress concentrators has been carried out. Based on the results of calculations, design documentation has been issued.

Keywords: milling machine part, finite element method, fatigue strength.

В работе исследуется усталостная прочность детали «Держатель» (рис. 1), которая предназначена для захвата и удержания хвостовика [2] во фрезерном высокоточном станке В100. Исследуемый держатель должен выдержать прикладываемые нагрузки более пяти тысяч циклов.

© Птицын Д. М., Ноздрин М. А., 2023

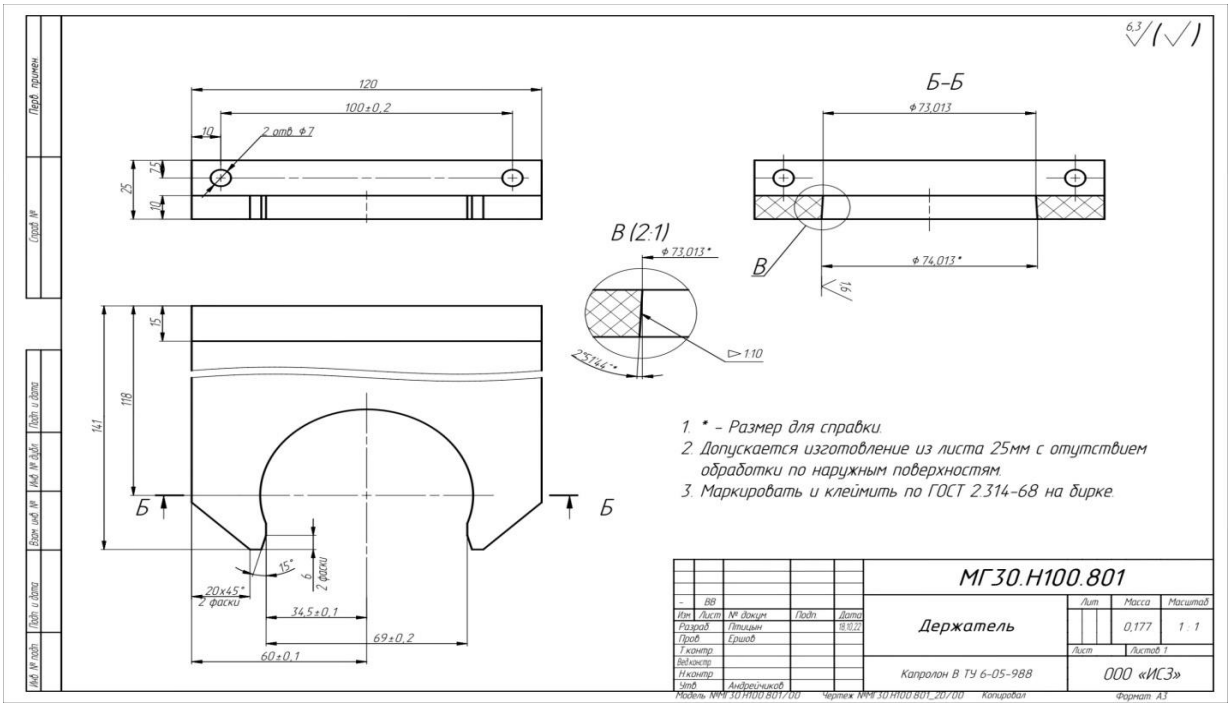


Рис. 1. Чертеж детали «Держатель»

В программе для трехмерного моделирования Siemens NX 11 [1] создано три варианта модели детали с различными вырезами для проведения численных расчетов. Численный расчет производится методом конечных элементов, где элементом принят четырехугольный тетраэдр со сторонами, равными 0,1 мм. Жестко закреплена стенка с отверстиями. Нагружением являются распределенные силы 15 кН/м, приложенные по горизонтали к внутренним поверхностям выреза в модели, и 20 кН/м по вертикали к верхней поверхности модели. Материал модели капролон В ТУ 6-05-988.

Расчеты производятся в программном комплексе KOMPAS APM FEM методом конечно-элементного моделирования. Расчет многоцикловой усталости проводится на основе эмпирической кривой Веллера.

В ходе численного расчета установлено, что круговой вырез – оптимальный вариант ввиду того, что выдерживает наибольшее количество циклов нагружений (рис. 2) и испытывает наименьшие напряжения (рис. 3).

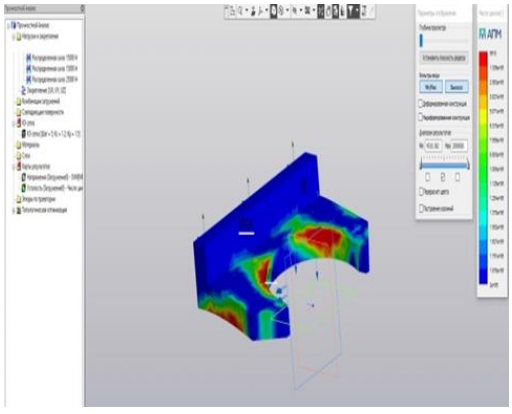


Рис. 2. Число циклов нагружения детали с круглым вырезом

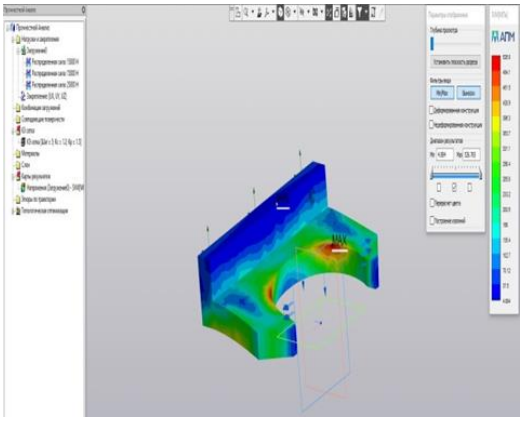


Рис. 3. Максимальные напряжения в детали с круглым вырезом

Четырехугольный вырез имеет четыре концентратора, что подтверждается расчетом напряжений (рис. 4). Неоптимальным является шестиугольный вырез ввиду того, что он имеет наибольшее количество концентраторов напряжений (рис. 5).

Результаты прочностных и усталостных расчетов приведены в таблице.

Таблица показывает, что модель с круговым вырезом испытывает наименьшие напряжения и выдерживает наибольшее количество циклов нагружения. Модель с прямоугольным вырезом испытывает максимальные напряжения, однако может выдержать 221 цикл нагружения. Модель с шестиугольным вырезом испытывает напряжения меньшие, чем деталь с прямоугольным вырезом.

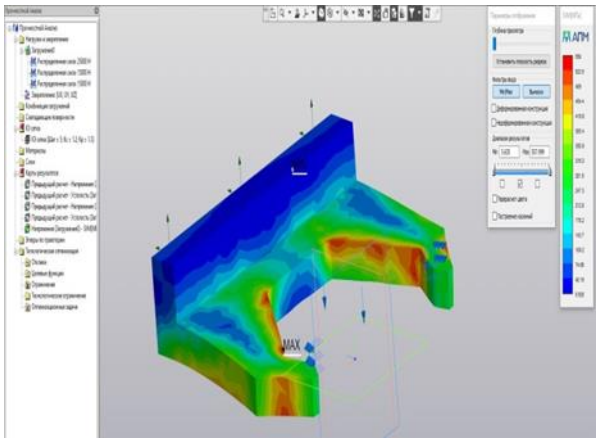


Рис. 4. Максимальные напряжения в детали с шестиугольным вырезом

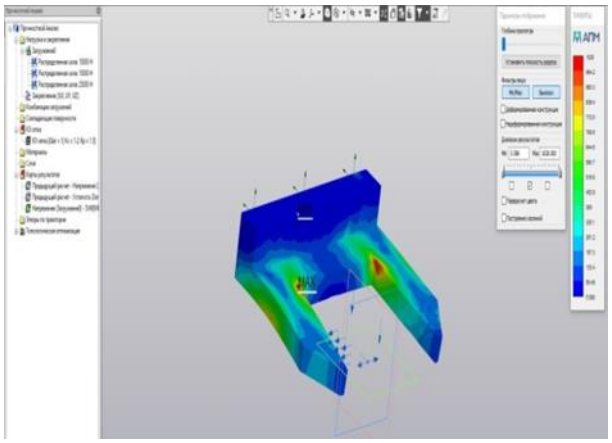


Рис. 5. Максимальные напряжения в детали с прямоугольным вырезом

Таблица. **Результаты численного расчета**

Тип выреза	Максимальные напряжения	Усталостный расчет
Круговой	528 МПа	9510 циклов
Прямоугольный	1028 МПа	221 цикл
Шестиугольный	558 МПа	0.4 цикла

Задачей аналитического расчета является оценка численных результатов по деформациям. Рассчитывается деталь с шестиугольным вырезом (рис. 6).

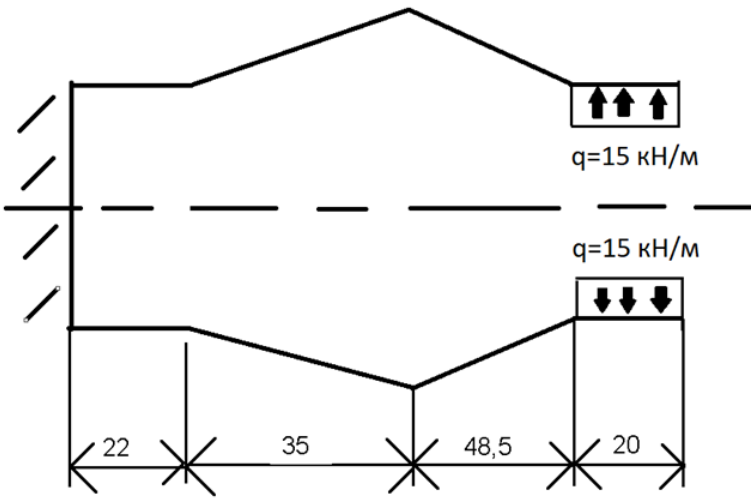


Рис. 6. Плоская расчетная модель детали

Ввиду симметрии модели, рассматривается половина расчетной схемы. Исходные данные для расчета q = 15кН/м; [σ] = 150МПа.

Составляются уравнения статического равновесия, основываясь на плоской расчетной модели детали:

$$\sum F_x = -q \cdot 0.01 \cdot \cos(89.42°) + X = 0;$$

$$\sum F_y = -q \cdot 0.01 \cdot \sin(89.42°) + Y = 0;$$

$$\sum M = -q \cdot 0.01 \cdot \cos(89.42°) \cdot 0.0135 - q \cdot 0.01 \cdot \sin(89.42°) \cdot 0.0761 + M = 0.$$

Получены следующие значения реакций:

$$X = 0.0015кН;\ Y = 0.1476кН;\ M = 0.01125кН \cdot м.$$

Строится эпюра изгибающего момента (рис. 7). Вычисляется перемещение крайней точки сечения модели 3 мм (численный расчет дал результат 5 мм). Погрешность обусловлена допущениями, принятыми при расчете.

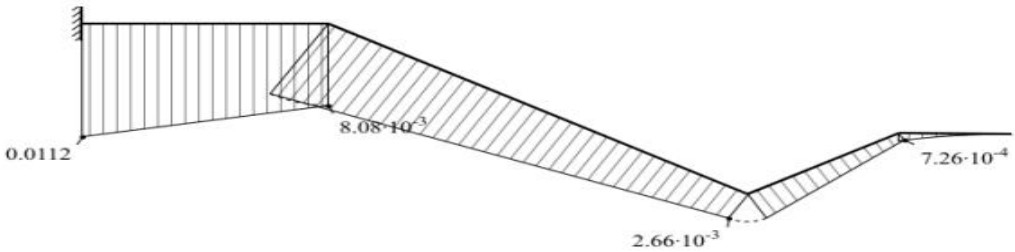


Рис. 7. Эпюра изгибающего момента

Таким образом, проведен усталостный расчет детали фрезерного станка с различными концентраторами напряжений. Установлено, что круглый вырез наиболее предпочтителен, так как деталь выдерживает больше циклов нагружений по сравнению с четырехугольным и шестиугольным вырезами. На основании расчетных данных выпущена конструкторская документация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Унянин А.Н., Евстигнеев А.Д. Моделирование и инженерный анализ с помощью программного комплекса NX. — Ульяновск.: УЛГУ, 2017.– 217 с.

2. ГОСТ Р 51688-2000 Хвостовики инструментов полые конические (HSK).

УДК 623

Д. Ю. Резников, В. В. Киселев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: беспилотное воздушное патрулирование потенциально опасных объектов экономики является важным элементом в структуре безопасности. В статье рассмотрен вопрос применения беспилотных воздушных судов в различных отраслях деятельности человека. Описаны основные причины поломок беспилотных летательных аппаратов, предложены мероприятия, направленные на повышение их надежности.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, мониторинг, надежность, безопасность.

D. Yu. Reznikov, V. V. Kiselev

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES OF FAILURE OF UNMANNED AIRCRAFT USED FOR MONITORING POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

Abstracts: unmanned aerial patrolling of potentially dangerous economic objects is an important element in the security structure. The article considers the issue of the use of unmanned aircraft in various branches of human activity. The main causes of breakdowns of unmanned aerial vehicles are described, measures aimed at improving their reliability are proposed.

Keywords: unmanned aircraft, monitoring, reliability, security.

Воздушные беспилотные средства (БПЛА) нашли широкое распространение в пожарно-спасательном деле. Основное их назначение – это мониторинг оперативной обстановки и передача данных специалистам оперативных штабов, осуществляющих руководство и координацию действий пожарных и спасателей при проведении аварийно-спасательных работ.

Актуальным направлением в данный момент является применение БПЛА для мониторинга территорий большой площади и протяженности. Современные научно-технические достижения и разработки в данной области позволяют использовать технологии, о которых приводили прогнозы профессиональные ученые, сотрудники нефтегазовых комплектов. БПЛА набирают свою популярность среди прикладных наук и опытно-конструкторских разработок, IT-компании разрабатывают и улучшается программное обеспечение, совершенствуются составляющие устройства, методики и алгоритмы проведения мониторинга, движения БПЛА, взлета, посадки, передачи данных, все это способствует бурному входу данных технологий в системы труда, деятельности людей.

Воздушный мониторинг линий электропередач с помощью БПЛА позволяет наиболее эффективно оценивать техническое состояние проводов и изоляторов, обнаруживать в любое время суток акты несанкционированной деятельности посто-

© Резников Д. Ю., Киселев В. В., 2023

ронних лиц и транспортных средств в охранных зонах, передавать в режиме реального времени качественные данные о дефектах проводов при аварийном отключении.

Воздушный мониторинг земельных ресурсов с применением БПЛА ZALA предоставляет специалистам уникальную возможность отслеживать изменения земельного фонда. Изображения, полученные с борта БПЛА, позволяют оценивать, прогнозировать и предотвращать возникновение возможных ЧС.

БПЛА совершают беспилотный мониторинг лесных ресурсов и осуществляют высококачественную съемку. Благодаря полученной фото, видео и ИК-информации специалисты составляют карты местности лесного массива, в том числе с определением пород деревьев, оценивают ущерб лесных ресурсов после пожаров, природных катаклизмов или промышленной вырубки леса. БПЛА производят мониторинг лесных ресурсов и покровов с целью предотвращения возникновения лесных пожаров. Для воздушного мониторинга водных ресурсов на значительном удалении наиболее эффективно применение БПЛА самолетного типа.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод о том, что основным направлением применимости БПЛА является мониторинг опасных производственных объектов, в том числе объектов нефтегазового комплекса, которые относятся к объектам повышенной опасности.

Линейные объекты нефтегазовой отрасли нуждаются в постоянном мониторинге с целью их безопасного функционирования. С этой целью все более широко применяются беспилотные воздушные летательные аппараты различных типов и классов в зависимости от протяженности магистральных трубопроводов и характера осуществляемого мониторинга.

На вооружении пожарно-спасательных подразделений в настоящее время находится значительное число различных беспилотников и их количество, а также качественные характеристики продолжают улучшаться. Беспилотники применяются в основном для оперативного мониторинга и разведки при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Принцип принятия решений при их эксплуатации построен на получении фото- и видеоматериалов в режиме реального времени оператором, анализирующим и воспринимающим информацию с монитора пульта управления.

Согласно статистике, ежегодно происходит падение беспилотных летательных аппаратов. Падение БПЛА может приводить к существенным материальным потерям, даже несмотря на то, что на борту нет людей. Сам специализированный летательный аппарат, оснащенный бортовым оборудованием, стоит значительных денежных средств, также в результате падения могут пострадать постройки на земле.

В качестве основных причин падения беспилотников могут послужить различные причины, такие как обледенение, отказ навигационной системы, сбой питания, потеря управляющего сигнала, столкновение с иными объектами и выход из строя механических компонентов судна.

Из механических элементов мы, прежде всего выделяем силовую установку. По статистике в 38 % случаев падение БПЛА происходило из-за поломки двигателя. Часто силовые агрегаты на современных беспилотниках взяты от радиоуправляемых моделей самолётов. Вполне логично, что основное их назначение - запуск радиоуправляемых игрушек в поле. Именно поэтому к ним не предъявляются высокие требования надежности и даже фирменные двигатели подобного типа иногда сделаны с нарушениями технологического процесса. Двигатели для радиоуправляемых

игрушек не отличаются высоким качеством материалов и их обработки. К тому же не оснащаются дублирующими системами. В настоящее время на БПЛА отечественного производства устанавливаются такие двигатели, как MVVS 116, Valach vm 120, Saito FG-36, Rotax 912 и Rotax 914. Перечисленные типы двигателей относятся к поршневым, которые являются технически простыми, а значит надежными, тем не менее мы можем наблюдать их отказы. Именно такой тип двигателя позволит беспилотнику находится в воздухе продолжительное время, в том числе и при отрицательных температурах. Таким образом, для повышения надежности беспилотников следует уделять пристальное внимание дальнейшему развитию двигателестроения для данной сфере, для чего необходимо предусмотреть проведение стендовых испытаний для выявления слабых мест, имитировать различные отказы и добиваться работоспособности двигателя, дублировать основные системы обеспечения работоспособности двигателя, повышать общую надежность применяемых комплектующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин В.В., Контобойцев Е.А., Контобойцева М.Г., Хафизов Ф.Ш. Актуальные вопросы обеспечения безопасности процессов транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов // Безопасность жизнедеятельности. 2013. №4. С. 13-16.

2. Лебедев, Ю.М. Зарубежный опыт распознавания пламени с нескольких беспилотных воздушных судов / Ю.М. Лебедев, С.Ю. Разиньков, А.В. Вытовтов, В.В. Шумилин // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. Т. 1. №1(7). С.60-63.

3. Глоба Д.А., Киселев В.В. Совершенствование методов мониторинга объектов нефтегазового комплекса / В сборнике: Современные пожаробезопасные материалы и технологии. Сборник материалов IV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново, 2020. С. 169-171.

4. Киселев В.В. Организация работы беспилотной авиационной системы при проведении мониторинга нефтепроводов / В сборнике: Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 247-250.

5. Павлова О.В., Киселев В.В. Пожарная статистика, как основа предупреждения ЧС / Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 482-484.

6. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития. Баканов М.О., Тараканов Д.В., Кузнецов А.В., Столяров А.В. Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 3 (36). С. 51-54.

7. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями. Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Баканов М.О. Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 5. С. 26-33.

УДК 623.746.519

И. А. Рзаев, И. В. Сараев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБЗОР БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация: в статье представлен обзор беспилотных авиационных систем для арктической зоны, а также их технические характеристики. Показано, какие беспилотные летательные аппараты предпочтительны для арктической зоны.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, арктическая зона, технические характеристики.

I. A. Rzaev, I. V. Saraev

OVERVIEW OF FREE AVIATION SYSTEMS FOR OPERATION IN LOW TEMPIRATURE CONDITIONS

Abstracts: the article presents an overview of unmanned aircraft systems for the Arctic zone, as well as their technical characteristics. It is shown which unmanned aerial vehicles are preferable for the Arctic zone.

Keywords: unmanned aircraft systems, arctic zone, technical characteristics.

Президент РФ В.В. Путин в послании Федеральному Собранию Совета Федерации РФ в марте 2018 г. заявил о необходимости наладить создание и локализацию ключевых технологий и решений, в том числе для освоения Арктики и разработки морского шельфа [1].

В нашей стране разработана законодательная база, снимающая все барьеры для разработки и широкого применения робототехники, искусственного интеллекта, беспилотного транспорта. В декабре 2020 г. Президент РФ подтвердил, что Арктика и искусственный интеллект – приоритеты России. Это означает, что оба этих направления находятся в тренде у федеральных органов власти и будут являться наиболее актуальными и приоритетными для внимания и развития в период до 2035 г.

Беспилотные авиационные системы (БАС) – это комплекс, включающий одно или несколько беспилотных воздушных судов, а также наземные технические средства и оборудование навигации и связи, используемые для управления полетом воздушных судов.

БАС состоит из летательного аппарата с дистанционным управлением, укомплектованного специальными сенсорными системами; наземной станции управления; средств обеспечения пуска и возврата. Данные дистанционных приборов наблюдения или мониторинга (датчики, камеры) сохраняются в бортовой памяти или передаются на стартовую площадку. Датчики позволяют с помощью электронной оптики делать фотоснимки и производить видеозапись одновременно в различных областях видимой части спектра и в инфракрасном диапазоне. В некоторых случаях могут применяться одновременно несколько датчиков. Персонал использу-

© Рзаев И. А., Сараев И. В., 2023

ется для визуальных наблюдений, но рабочие места операторов (внешних пилотов) находятся на станциях наземного базирования. По определению ГОСТР 57258 – 2016 Национального стандарта РФ «Системы беспилотные авиационные»: «Внешний пилот – это член внешнего экипажа дистанционно пилотируемого воздушного судна, который приводит в действие органы управления воздушного судна и несет ответственность в отношении траектории полета воздушного судна, входящего в состав беспилотной авиационной системы» [2].

Российские БВС используются в Артике с 2007 г. Беспилотные технологии в логистике, разведке и добыче природных ресурсов, науке и туризме в Арктике открывают невероятные перспективы. Компании и местные жители смогут быстро получать грузы, доставки которых сейчас приходится ждать неделями или месяцами. Ученые будут исследовать изменение климата и миграции животных с воздуха. С помощью дронов можно найти экспедицию, попавшую в беду, и оказать ей экстренную помощь.

В условиях Крайнего Севера строить автомобильные и железные дороги трудно и затратно. Доставка материалов обходится дорого, летом верхний слой мерзлого грунта оттаивает и «плывет», трассы разрушаются. Грузовые дроны помогут сократить издержки и время на доставку посылок с «большой земли» (рис. 1).

Рис. 1. Грузовой дрон Skyf доставляет груз на платформу в Арктике [3]

Выполнять полеты в трудных метеоусловиях Арктики помогают беспилотные самолеты «Геоскан», которые полностью работают автоматически (рис. 2). Оператор – внешний пилот указывает территорию съемки на интерактивной карте. Для запуска самолета достаточно просто поставить его на катапульту и запустить с наземной станции управления. Закончив полет, беспилотный самолет «Геоскан» плавно спустится на парашюте в точку запуска. Умный автопилот собственной разработки рассчитан на безотказную работу даже в сложных условиях эксплуатации, с помощью множества датчиков он постоянно отслеживает такие параметры полета, как воздушная скорость, высота, ориентация планера в пространстве и заряд батареи. В случае нештатной ситуации, БПЛА «Геоскан» сам вернется к месту старта или совершит аварийную посадку. Следя за полетом с наземной станции, оператор всегда может отменить миссию по первому требованию. Комплексы Геоскана демонстрируют свою надежность по всему миру. В 2020 году география их применения расширилась до Арктики – «Геоскан 401» использовался в совместной экспедиции Центра морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова и Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, организованной Арктическим науч-

ным центром «Роснефти». «Беспилотник держал скорость 12 м/с и уверенно следовал заданному курсу даже при скорости ветра около 10 м/с.

Рис. 2. БПЛА «Геоскан 401» [4]

В ходе научной – исследовательской экспедиции 2015 г., БВС SupercamS250ГК продемонстрировал стойкость к воздействию отрицательной температуры при осуществлении воздушного патрулирования ледников в районе Северного Ледовитого океана (рисунок 3). На протяжении 55 дней, специалисты компании выполняли задачи по геоэкологическому мониторингу для проектирования инженерных объектов нефтедобычи и охране объектов животного мира. Все это время, БВС Supercam ежедневно выполнял облеты с получением фотографического и видеоматериала. Экспедиция проходила на ледоколе «Ямал»в интересах НК «Роснефть». Другая модель БВС Supercam S350 успела побывать на Северном полюсе. В ходе эксплуатации опорным пунктом для применения авиационной системы была дрейфующая ледовая база Арктической экспедиции «Барнео – 2017». Комплекс БВС Supercam самолетного типа применяется в температурном диапазоне от +45. Беспилотный авиа-мониторинг с применением БВС Supercam является эффективным средством контроля и пресечения несанкционированной деятельности на объектах. Ежедневно на протяжении последних 5 лет, техника выполняет работы по аэрофотосъемке и видеонаблюдению в таких районах как Новый Уренгой, Сыктывкар, Ноябрьск.

Важным направлением применения беспилотных авиационных систем в условиях Арктики является мониторинг Северного морского пути. Это актуальнейшая задача, связанная с прокладкой пути для судов и с оценкой ситуаций в различных акваториях, с прогнозом погоды и с решением других задач. В ЗАО ЦНИИ «Волна» предлагают проект для воздушной разведки на трассе Северного морского пути с использованием беспилотного авиационного комплекса дальнего радиолокационно – оптического обнаружения БАК ДРЛО (рис. 4).

Рис. 3. Суперкам проводит беспилотную разведку льдин в Арктике [5]

Рис. 4. Проект воздушной разведки на трассе Северного морского пути ЗАОЦНИИ «Волна»

Тяжелый БВС «Альтиус-М» взлетной массой 5 т. – разработка ОКБ «Сокол» (ОКБ им. Симонова, г.Казань). Аппарат практически полностью создан из российских комплектующих. «Альтиус-М» разрабатывался на основе концепции «электрического самолета» и оснащен экономичными двигателями. Небольшой расход топлива позволит БПЛА находиться в воздухе более 2 суток. Дальность полета составит 10000км., высота полета – до 12 км. БВС сможет с легкостью пересечь всю Арктику.

Развитой в Арктике отраслью применения БВС является промышленный мониторинг, особенно трубопроводов. В ноябре 2017 г. компания «Совзонд» в г. Кировске Мурманской области на VII Международной конференции «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро- Арктического региона: взгляд в будущее» – «МГПК БЕАР – 2017» представила робототизированный комплекс SkyWatch. Дрон может обследовать более 240 км. трубопровода в день, что сопоставимо с экипажем вертолета, летный час которого стоит $2500 (по ценам 2019 г.), работа дрона обходится в 6 раз дешевле (рис. 5).

В 2015 г. ученые Омского государственного технического университета (ОКБ «Малые беспилотные аппараты») создали БПЛА для работы в экстремальных условиях Арктики. Это БПЛА третьего поколения «Взор», который может работать при температуре от -40 до+40, ветре - до 15 м/с, в снег и дождь. Продолжительность нахождения самолета в воздухе достигает 6 ч. Сложная система автопилотирования полностью отечественного производства. Гиростабилизированная платформа «Взора» устойчиво держит под 10–30-кратным прицелом любые объекты на поверхности земли, а сама оптика позволяет обозревать всю нижнюю полусферу под БПЛА (рис. 6).

МЧС России совместно с ЦНИИ робототехники и технической кибернетики разработали систему поиска и спасения пострадавших в Арктике. БВС«Орлан – 10» может определять координаты людей, которые нуждаются в помощи. Аппарат об-

ладает повышенной дальностью полета, благодаря чему увеличится площадь территории, на которой можно вести мониторинг (рис. 7) [8].

Рис. 5. Дрон инспектирует трубопровод в Арктике [6]

Рис. 6. БПЛА «Взор» для Арктической зоны РФ [7]

Рис. 7. Зимняя эксплуатация БВС «Орлан-10» на Ямале (фото правительства ЯНАО)

Таким образом, массовое применение беспилотных летательных аппаратов в ближайшем будущем будет иметь большую роль в реализации новых разноплановых проектов в Арктической зоне России в общем и в условиях низких температур в частности. В соответствии с утвержденной Президентом РФ, Стратегией развития Арктической зоны, будет обеспечен необходимый уровень национальной безопасности по защите населения от возможных угроз техногенного и природного характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Послание Президента России Федеральному Собранию [Электронный ресурс] // Администрация Президента России. URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/56957 (дата обращения 23.03.2023).

2. Профессия - внешний пилот. Куда пойти учиться на оператора дрона в России?[Электронный ресурс] // Ассоциация «Аэронет». URL: https://aeronet.aero/press_room/analytics/2018_01_22_how_to_become_drone_operator_in_russia (дата обращения 23.03.2023).

3. Русский Халк: британцы оценили новый российский грузовой дрон [Электронный ресурс] // Экономическое обозрение. URL:https://finobzor.ru/50996-russkiy-halk-britancy-ocenili-novyy-rossiyskiy-gruzovoy-dron.html. (дата обращения 23.03.2023).

4. Беспилотные самолеты Геоскан [Электронный ресурс] // Группа компаний Геоскан. URL: https://www.geoscan.aero/ru/products/bespilotnie-samoleti. (дата обращения 23.03.2023).

5. Суперкам проводит беспилотную разведку льдин в Арктике [Электронный ресурс] // Беспилотные системы. URL:https://supercam.aero/news/superkam-provodit-bespilotnuyu-razvedku-ldin-v-arktike (дата обращения 23.03.2023).

6. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Testing In Prudhoe Bay, Alaska [Электронный ресурс] // Sumflows. URL: https://www.youtube.com/watch?v=oRs2kaCcPCI (дата обращения 23.03.2023).

7. Учёные создали беспилотник, который работает при низких температурах [Электронный ресурс] // The Arctic. URL: https://ru.arctic.ru/infrastructure/20151013/190334.html (дата обращения 23.03.2023).

8. В ГКУ «Ямалспас» поступили беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс]// АиФ - Ямал. URL: https://yamal.aif.ru/society/details/v_gku_yamalspas_postupili_bespilotnye_letatelnye_apparaty (дата обращения 23.03.2023).

УДК 621.436

В. В. Рябинин, И. А. Телегин, В. В. Терентьев
ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева»

УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ДВУХФАЗНОЙ ПОДАЧЕ ТОПЛИВА

Аннотация: в данной статье обобщены результаты исследований цикла дизеля с двухфазной подачей топлива, выявлены особенности протекания процесса сгорания обеспечивающие возможность повышения мощностных и топливно-экономических показателей работы, приведены данные лабораторных испытаний двигателя Д-240 с присадкой низкооктанового бензина к воздушному заряду.

Ключевые слова: двухфазная подача топлива; топливная экономичность; присадка бензина к воздушному заряду дизеля; результаты испытаний

© Рябинин В. В., Телегин И. А., Терентьев В. В., 2023

V. V. Ryabinin, I. A. Telegin, V. V. Terentyev

IMPROVING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF DIESEL ENGINES AT TWO-PHASE FUEL SUPPLY

Abstracts: this article summarizes the results of studies of the diesel cycle with two-phase fuel supply, identifies the features of the combustion process that provide the possibility of increasing the power and fuel-economic performance indicators, provides data from laboratory tests of the D-240 engine with an additive of low-octane gasoline to the air charge.

Keywords: two-phase fuel supply; fuel efficiency; gasoline additive to diesel air charge; test results.

Одним из способов улучшения топливно-экономических и мощностных показателей дизелей, является способ двухфазной подачи топлива. Суть способа заключается в том, что часть топлива (дополнительное) подается на такте впуска, а основная порция впрыскивается форсункой в конце такта сжатия. С практической точки зрения, наиболее удобным является присадка дополнительного топлива (бензин, керосин, дизельное топливо, спирт, природный газ и др.) к воздушному заряду. Дополнительное топливо на 10-30 % замещает основное моторное топливо. При присадке топлива к воздушному заряду не исключен перепуск некоторого количества дополнительного топлива в выпускной коллектор, поэтому данный способ введения дополнительного топлива в дизельный двигатель применим лишь для безнаддувных двигателей с перекрытием клапанов не более 40° по углу поворота коленчатого вала. Только при этих условиях не наблюдается перепускания значимых количеств дополнительного топлива. С точки зрения осуществления рабочего процесса, такая организация цикла многократно увеличивает время смесеобразования и улучшает управление процессом сгорания топлива.

В работе [1] отмечается, что особенность цикла дизеля с двухфазной подачей топлива заключается в том, что в период сжатия смеси воздуха с дополнительным топливом образуется однородная смесь, в которой проходят предпламенные окислительные реакции, некоторым повышением температуры и давления конца сжатия. Данные процессы оказывают влияние на протекание процесса сгорания основной порции топлива, впрыскиваемой форсункой, снижая время задержки самовоспламенения. Процесс сгорания развивается быстрее, растет скорость тепловыделения, наибольшая часть топлива сгорает в термодинамически активной зоне (не позднее 40…60^{o} п.к.в.) за верхней мертвой точкой, что предопределяет лучшие топливно-экономические показатели работы.

Процесс сгорания при подаче дополнительного топлива охватывает больший объем заряда, существенно лучше используется воздух в цилиндре дизеля. В ряде экспериментов зафиксирована возможность уменьшения коэффициента избытка воздуха до величины α =1,1…1,2 без ухудшения процесса сгорания и дымления, что и влечет за собой увеличение мощности двигателя. В зависимости от вида активатора и его дозы возможно повышение мощности двигателя от 2 до 30%. При этом, возможно (при использовании присадок минерального происхождения) снижение удельного эффективного расхода топлива двигателем до 5% [2].

Для подтверждения возможности улучшения мощностных и топливно-экономических показателей дизелей при переходе на двухфазную подачу топлива,

под руководством доцента Монахова В.И. в 1996 году начаты лабораторные испытания тракторного двигателя Д-240 с подачей дополнительного топлива (бензина) карбюрацией в воздушный заряд при впуске.

На первом этапе испытаний определялся оптимальный состава смеси по экономичности, на втором этапе испытаний при оптимальном по экономичности количестве добавочного топлива устанавливался предел возможного повышения мощности.

На рисунке 1 показана зависимость изменения эффективного КПД двигателя - η_e и температуры отработавших газов $T_г$ от величины дополнительного топлива при постоянной частоте вращения коленчатого вала - n. Как видно из рис. 1, существует некий максимум значения эффективного КПД (η_e) при изменении количества подаваемого дополнительного топлива $G_{д.т.}$. В зоне максимального эффективного КПД состав смеси, характеризуемый коэффициентом избытка воздуха по дополнительному топливу, как правило, соответствовал величине $\alpha_{доп} = 4{,}0...5{,}0$, а соотношение между массовой подачей дизельного основного топлива $G_{осн}$ и дополнительного (бензина) $G_{доп}$ составлял величину $G_{доп}/G_{осн} = 0{,}3...0{,}35$.

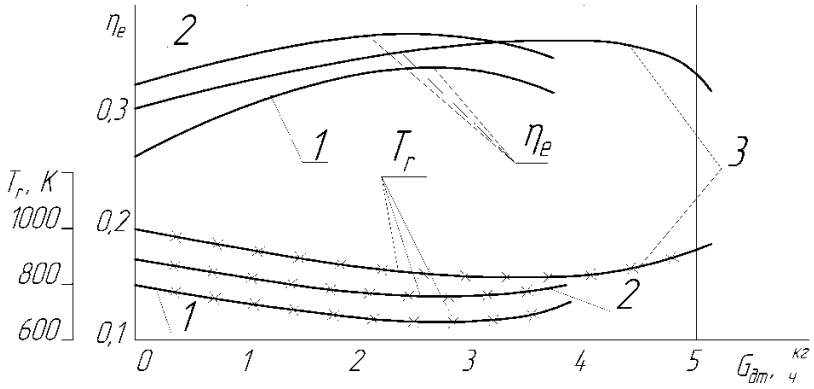


Рис. 1. Изменение показателей работы двигателя от количества дополнительного топлива [3]:
1 - n=1200 мин-1;
2 - n=1600 мин-1;
3 - n=2100 мин-1

По результатам второго этапа испытаний построена регуляторная характеристика дизеля Д-240 с присадкой бензина представленная на рис. 2. При построении регуляторной характеристики количество подаваемого дополнительного топлива составляло 30 % от основного, а кривые часового $G_т$ и удельного эффективного g_e отражают суммарный расход топлива, дополнительного топлива (низкооктанового бензина) и основного дизельного топлива. Снижение эффективного удельного расхода топлива на больших нагрузках достигло 4…5 %. Отмечается возможность форсирования дизеля Д-240 на 23 % с 53,16 кВт до 65,5 кВт. Прирост коэффициента запаса по крутящему моменту составил 4,8 %.

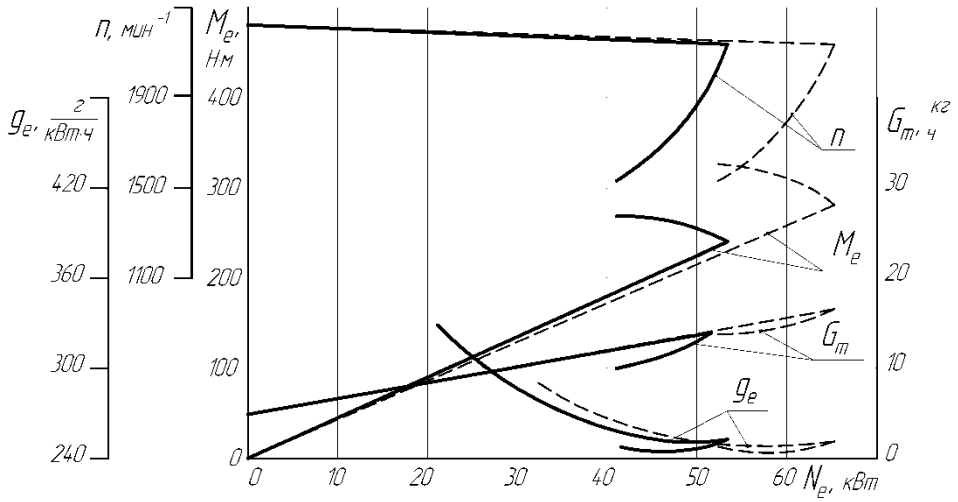


Рис. 2. Регуляторные характеристики [3]

Некоторые исследователи, например [4] отмечают, что при нагрузках двигателя менее 70 % от номинальной мощности вследствие того, что факелы основного топлива, играющего роль запального, малы, однородная смесь во всем объеме цилиндра сгорает неэкономично, а на холостом ходу способна вызвать неуправляемое увеличение числа оборотов. Поэтому двухфазную подачу топлива рационально использовать именно на тракторных двигателях при выполнении большинства работ по обработке почвы, работающих в режиме полной мощности.

Известно, что производительность машинно-тракторного агрегата (МТА) находится в прямой зависимости от мощности двигателя трактора. Соответственно, увеличение мощности тракторного дизеля повлечет за собой увеличение производительности МТА. Повышение эффективности использования топлива двигателем ведет к сокращению погектарного расхода топлива.

Поскольку работа дизеля с присадкой топлива к воздушному заряду на некоторых режимах является неэффективной, то системой питания должен обеспечиваться переход на двухфазный процесс при одних степенях загрузки и возврат к дизельному процессу при иных. Несмотря на широкую известность данного способа, его внедрению на сельскохозяйственных тракторах препятствует отсутствие простых и недорогих систем, обеспечивающих точную дозировку активатора непосредственно на тракторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинин В.В., Герасимов А.И. Улучшение показателей дизеля при двухфазной подаче топлива // Материалы международного агропромышленного конгресса «Повышение конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутренних и внешних рынках». СПб: Экспофорум, 2017. С.204-206.

2. Рябинин В.В. Улучшение эксплуатационных свойств тракторов при двухфазной подаче топлива в двигатель // Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы к международной научно-методической конференции. Иваново: ФГОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д.К. Беляева, 2010. С.211-212

3. Монахов В.И. О возможности повышения мощности тракторного дизеля. // Совершенствование средств механизации и технологических процессов в сельском хозяйстве. Сб. науч. Трудов. С.-ПГАУ-ИГСХА, 1996. С.14-18

4. Хандов З.А., Ермаков В.Ф. Работа судового дизеля с двухфазной подачей. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 83 с.

УДК 621.318

М. С. Сайкин
ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина

АНАЛИЗ РАБОТЫ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛОВ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Аннотация: на основе относительного комплексного коэффициента оценки работоспособности магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле, предложено проводить анализ эксплуатационных параметров магнитожидкостных герметизаторов вращающихся валов.

Ключевые слова: магнитожидкостный герметизатор, постоянный магнит, магнитная жидкость, относительный комплексный коэффициент

M. S. Saikin

ANALYSIS OF THE OPERATION OF ROTATING SHAFT FLUID SEALERS BY THE VALUE OF THE RELATIVE COMPLEX COEFFICIENT

Abstract: based on the relative complex coefficient for assessing the performance of a magnetic fluid in a non-uniform magnetic field, it is proposed to analyze the operational parameters of magnetic fluid seals of rotating shafts.

Keywords: magnetic fluid sealer, permanent magnet, ferrofluid, relative complex coefficient

Задачи уплотнения вращающихся валов вакуумного технологического оборудования, предназначенного для эксплуатации при высоком и сверхвысоком вакууме, могут быть успешно решены только при помощи магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) [1,2].

Одним из элементов магнитной цепи МЖГ является магнитная жидкость (МЖ). На МЖ в рабочем зазоре герметизатора действует неоднородное магнитном поле, которое вызывает её перераспределение и приводит к изменению физических свойств. Кроме этого, с течением времени в магнитной жидкости происходят изменения, которые обусловлены влиянием температуры и сдвиговыми усилиями. Это приводит к образованию агломератов, что снижает устойчивость МЖ и нарушает её однородность. Данные обстоятельства вызывают снижение критического перепада давлений герметизатора и изменение его фрикционных характеристик.

© Сайкин М. С., 2023

Изменение свойств магнитной жидкости может вызвать потерю герметичности МЖГ и привести к увеличению момента трения выше допустимого значения [3]:

$$\Delta P(t) \le \Delta P_{кр},\ M_{ТР}(t) \ge M_{доп} \tag{1}$$

Для оценки работоспособности магнитной жидкости в магнитожидкостных герметизаторах предложено использовать следующие коэффициенты:

- относительный коэффициент изменения перепада давлений K_p;
- относительный коэффициент изменения момента трения K_m.

Эти коэффициенты определяются по выражениям [5, 6]:

$$K_p = \frac{\Delta P_{óñò} - \Delta P_{íà÷}}{\Delta P_{óñò}}, \tag{2}$$

где $\Delta P_{нач}$ – начальный критический перепад давлений МЖГ после его заправки МЖ;

$\Delta P_{уст}$ – установившийся критический перепад давлений МЖГ, после перераспределения МЖ в неоднородном магнитном поле рабочего зазора герметизатора.

$$K_m = \frac{M_{ñòð} - M_{óñò}}{M_{ñòð}} \tag{3}$$

$M_{стр}$ – момент страгивания МЖГ или начальный момент трения магнитожидкостного герметизатора.

$M_{уст}$ – установившийся момент трения магнитожидкостного герметизатора.

Кроме этого, для оценки работоспособности магнитной жидкости, вводится понятие относительного комплексного коэффициента оценки работоспособности МЖ:

$$K_к = K_m \cdot K_p \tag{4}$$

Чем ниже значение этого коэффициента, тем выше ресурс работы МЖГ.

Экспериментальные исследования проводились для вакуумных МЖГ имеющих диаметры валов от 8 до 250 мм. Геометрия рабочего зазора соответствовала следующим соотношениям: δ=0,1÷0,2 мм, b=(20÷30)δ, t=(1,5÷4,0)δ, δ=0,15 мм, где δ - величина рабочего зазора, b - шаг зубца, t - площадка при основании зубца. Зубцы имели форму прямоугольной трапеции с углом при основании $\alpha=45^0$. Число зубцов на полюсе соответствовало значениям N=1÷3. Испытания проходили при температуре $18\div22^0$C и степени вакуума 10^{-4} мм рт.ст. За время испытаний нарушений герметичности не обнаружено.

Результаты исследований показали, что МЖ соответствует высоким критериям работоспособности при относительных коэффициентах изменения перепада давлений и момента трения в диапазоне: K_p=0,1÷0,2 и K_m=0,5÷0,6. При выборе магнитной жидкости необходимо учитывать область применения МЖГ. Низкое значение

коэффициента изменения момента трения наиболее актуально для МЖГ приводов космических аппаратов. В этом случае необходимо подобрать такие параметры магнитного поля, при которых разность ($M_{стр}$ - $M_{уст}$), а, следовательно, и величина коэффициента K_m были минимальными. При этом значение относительного комплексного коэффициента $K_к$ соответствует диапазону $K_к$ = 0,05÷0,12.

При проведении экспериментальных исследований испытывались три разных МЖ. Две жидкости были изготовлены на кремнийорганической, а одна на фторорганической основе.

Выбор магнитной жидкости по предложенным критериям для МЖГ, позволяет найти её рациональные эксплуатационные параметры.

Конструкции МЖГ для уплотнений вращающихся валов диаметром 150–500 мм, с учётом рациональной величины комплексного коэффициента, должны соответствовать следующим требованиям и обеспечивать:

- герметизацию высокого и сверхвысокого вакуума 10^{-6} – 10^{-7} Па;
- ресурс работы не менее 10 лет;
- стабильность эксплуатационных параметров в течение длительного времени;
- работоспособность при наличии радиальных биений и осевых перемещений герметизируемых валов в диапазоне ±1,5 мм;
- высокую надёжность работы;
- возможность настройки эксплуатационных параметров.

С целью повышения ресурса работы МЖГ в вакуумном оборудовании необходимо предусмотреть способы, позволяющие регулировать величину магнитной индукции в рабочем зазоре. Это особенно актуально при герметизации валов диаметрами 150 - 500 мм, имеющих радиальные биения и осевые перемещения в пределах ± 1,5 мм. Такие МЖГ эксплуатируются в вакуумном оборудовании, для которого предъявляются высокие требования по стабильности значений перепада давлений во времени, моменту страгивания и установившемуся моменту трения. Для решения данной задачи разработана конструкция МЖГ, представленная на рис. 1 [4].

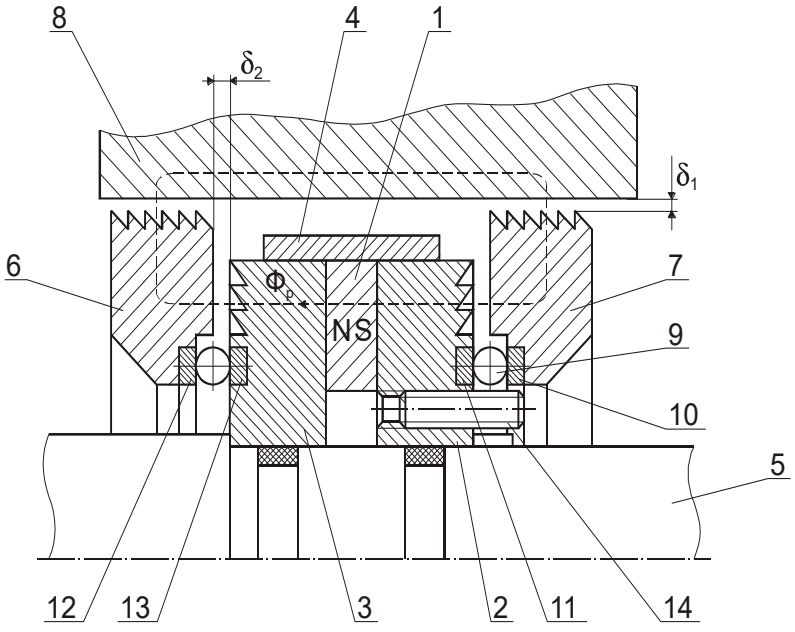


Рис. 1. Конструкция МЖГ с регулировочными винтами и компенсацией осевых перемещений и радиальных биений

Герметизатор включает в себя магнитный узел, состоящий из постоянного магнита 1 с полюсными наконечниками 2 и 3, заключённый в обойму 4 и установленный на немагнитном валу 5. Магнитопровод состоит из самоустанавливающихся колец 6 и 7, расположенных в магнитном корпусе 8. Между полюсными наконечниками и самоустанавливающимися кольцами находятся тела качения 9, которые обеспечивают постоянство рабочих зазоров δ_2. Тела качения опираются на вкладыши 10÷13, выполненные из немагнитного материала. МЖГ имеет регулировочные элементы – винты, которые установлены на торцевой поверхности одного из полюсных наконечников 2 или выполнены в форме кольца 14 (рис.2) [5].

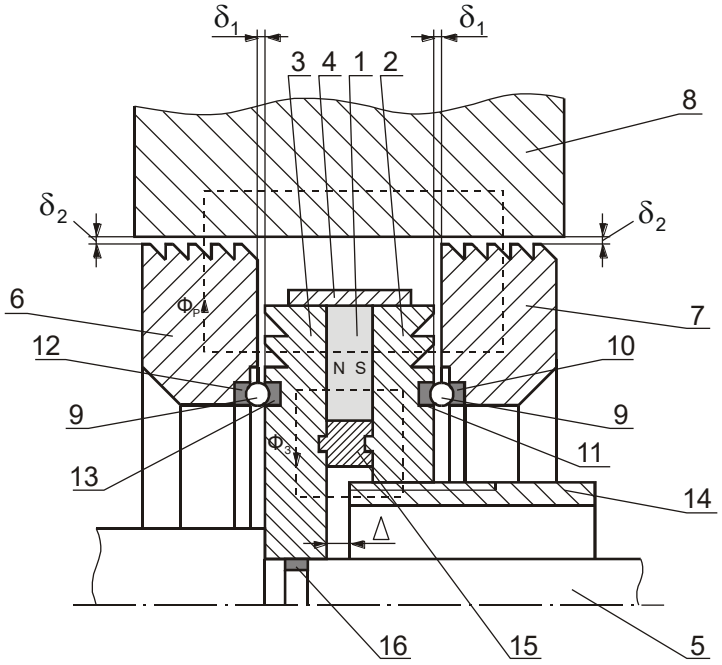


Рис. 2. Конструкция МЖГ с регулировочным элементом и компенсацией осевых перемещений и радиальных биений

Регулировочные элементы из магнитопроводного материала имеют возможность перемещения по резьбе, выполненной на внутренней цилиндрической поверхности кольца 7. Кольца 6 и 7 жёстко соединены между собой немагнитной втулкой 15. Между полюсным наконечником 3 и валом 5 установлено статическое уплотнительное кольцо 16.

Рабочий поток Φ_p, создаваемый постоянным магнитом 1 проходит через полюсный наконечник 3, торцевой зазор δ_2, магнитопроводное кольцо 6, радиальный зазор δ_1, магнитопроводный корпус 8, другой радиальный зазор δ_1, магнитопроводное кольцо 7, другой торцевой зазор δ_2, полюсный наконечник 2 и замыкается на постоянный магнит 1. Постоянный магнит создаёт магнитное поле в радиальных и торцевых рабочих зазорах и удерживает в них, с помощью пондеромоторной силы магнитную жидкость, обеспечивая герметичность. После сборки МЖГ регулируют его перепад давлений на испытательном стенде. Для этого создаётся перепад давлений, величина которого превышает рабочий перепад давлений в 1,2–1,5 раза. В том случае, если удерживаемый перепад давлений больше рабочего, с учётом коэффициента запаса, регулировочный элемент 14 перемещается по резьбе, выполненной на внутренней цилиндрической поверхности кольца 7. При этом уменьшается зазор Δ и появляется магнитный поток Φ_S, который проходит по пути постоянный магнит 1, полюсный наконечник 3, регулировочный элемент 14, полюсный наконечник 2, по-

стоянный магнит 1. Это приводит к уменьшению рабочего потока в зазорах δ_1 и δ_2 и удерживаемый перепад давлений МЖГ снижается. Регулировочный элемент 14 перемещается по резьбе до тех пор, пока уменьшение зазора Δ не приведёт к появлению течи через рабочие зазоры δ_1 и δ_2 выше допустимой. После этого перепад давлений с герметизатора снимают и он готов к работе.

Регулировка параметров магнитного поля в рабочих зазорах герметизаторов позволяет получить рациональное значение комплексного коэффициента и произвести настройку уплотнений на требуемые значения перепада давлений и момента трення. Актуальность использования таких конструкций МЖГ очевидна для герметизации вращающихся валов технологического оборудования, где существуют жёсткие требования по соблюдению постоянства эксплуатационных параметров герметизаторов.

Разработанные конструкции магнитожидкостных герметизаторов, представленные в статье, имеют повышенный ресурс работы и возможность предварительного хранения изделия, содержащего МЖГ до начала эксплуатации. Такие герметизаторы предназначены для уплотнения валов изделий специального назначения при высоком и сверхвысоком вакууме. За счёт настройки эксплуатационных характеристик можно получить серию МЖГ с одинаковыми параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михалёв Ю.О., Орлов Д.В., Лысенков С.Г., Сайкин М.С. Практическое применение магнитожидкостных уплотнений, разработанных в СКТБ «Полюс». В сборнике: 8-я Международная Плёсская конференция по магнитным жидкостям. Сборник научных трудов. 1998. С201-203.

2. Сайкин М.С. Разработка и анализ конструкций герметизаторов на основе магнитных наножидкостей для технологического оборудования. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. N 1-2. С.499-503.

3. Михалёв Ю.О. Критерии работоспособности магнитожидкостных уплотнений //Трение и износ.- 1991.- N 1.- С. 5 - 11.

4. Сайкин М.С. Разработка критериев оценки работоспособности магнитной жидкости для магнитожидкостных герметизаторов. Вестник Рыбинского государственного авиационно-технического университета имени П.А.Соловьёва. – Изд-во (РГАТУ имени П.А.Соловьёва), N 1 (56), 2021, С.41-46.

5. Сайкин М.С. Оценка эксплуатационных параметров магнитожидкостных герметизаторов по комплексному коэффициенту. Сборник научных трудов 20-ой Юбилейной Всероссийской с международным участием Плёсской научной конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям, Россия, Иваново, 2022 г., С.318-325 (сентябрь 2022 г.).

6. Сайкин, М.С., Михалёв Ю.О., Лысенков С.Г. Магнитожидкостное уплотнение. Патент на изобретение RU N1385779. Заявка 4159855 от 27.10.1986.

7. Баусов, А.М., Сайкин, М.С. Магнитожидкостное уплотнение. Патент на полезную модель, RU N 20561 U1, 10.11.2001. Заявка N 2001113467/20 от 15.05.2001.

УДК 66.021.3

***М. Ю. Снигирев*[1], *С. В. Натареев*[1,2]**
[1]Ивановский государственный химико-технологический университет
[2]Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ АДСОРБЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ С ЗАГРУЗКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИМ СОРБЕНТОМ

Аннотация: в статье приводятся принцип работы и конструктивный расчет ионообменного аппарата с неподвижным слоем целлюлозосодержащего сорбента. В результате расчета определены технические характеристики работы аппарата. Даны рекомендации по применению аппарата в процессах очистки воды от ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: адсорбер, целлюлозосодержащий сорбент, очистка воды от ионов тяжелых металлов.

M. Y. Snigirev, S. V. Natareev

CALCULATION OF THE STRENGTH OF AN ADSORBER FOR WATER PURIFICATION WITH A CELLULOSE CONTAINING SORBENT

Abstracts: this article presents the principle of operation and constructive calculation of the ion-exchange apparatus with a fixed layer of cellulose containing sorbent. The technical characteristics of the device are determined as a result of the calculation. Recommendations for the use of the device in the processes of water purification from heavy metal ions are given.

Keywords: adsorber, cellulose containing sorbent, water purification from heavy metal ion.

Чистая вода нужна всегда, а во время чрезвычайных ситуаций она жизненно необходима. Основным источником подачи воды для населения, промышленных предприятий и других потребителей является централизованное водоснабжение. Причинами аварий систем водоснабжения в чрезвычайных ситуациях могут быть повреждение или выход из строя водозаборных сооружений, станций очистки воды, водопроводных сетей и других элементов [1]. Восстановление централизованного водоснабжения является одной из основных задач аварийных служб. При серьезных авариях, когда невозможно в короткие сроки ликвидировать их последствия, целесообразно обеспечение населения бутылированной и пакетированной питьевой водой, а также организация подвоза воды в цистернах, закрытых емкостях и т.п. [2]. В качестве временной меры, применяемой для обеспечения потребителей чистой водой, является использование мобильных (модульных) комплексов водоподготовки, с помощью которых осуществляются механическая, химическая, сорбционная и другие способы очистки загрязненной воды [2]. К достоинствам данных комплексов можно отнести небольшой срок их приведения в рабочее состояние, автономную работу оборудования, удобность при транспортировании любым видом транспорта и др.

© Снигирев М. Ю., Натареев С. В., 2023

В мобильных станциях водоподготовки обычно используются ионообменные фильтры с загрузкой синтетическими ионитами. В настоящее время все большее внимание уделяется синтезу ионитов из возобновляемого природного сырья, которые по сравнению с синтетическими ионитами имеют, как правило, меньшую стоимость. Для практического применения природных ионитов требуется разработка нового типа ионообменного оборудования. При этом необходимо учитывать особенности механических, физико-химических и сорбционных характеристик природных ионообменных материалов. Кроме того, для безопасной эксплуатации аппарата особо важное значение имеет его механическая прочность сопротивляться разрушению под действием различных внешних и внутренних нагрузок.

Данная статья посвящена расчету на прочность конструктивных элементов ионообменного фильтра с воздушной подушкой, в котором в качестве загрузки используется целлюлозосодержащий ионит с плотностью меньшей, чем плотность воды (рис. 1). Основными элементами аппарата являются цилиндрический корпус 1, эллиптические крышка 2 и днище 3, решетка 4, нижнее 5 и верхнее 6 дренажно-распределительные устройства. Под решеткой 4 прикреплена к внутренней стенке корпуса аппарат эластичная пленка 7. В нижней части корпуса расположен карман 8 для сбора воды. Аппарат снабжен штуцерами 9-12 для подачи и отвода воды. Внутри аппарата расположены слои сорбента 13 и инертного материала 14.

Полный цикл работы аппарата складывается из следующих стадий: собственно ионообмена, регенерации ионита, отмывки ионита от регенерационного раствора (рис 1а) и взрыхления (рис. 1в). На рис. 1б показано состояние аппарата в момент прекращения подачи в него очищаемой воды и регенерационного раствора.

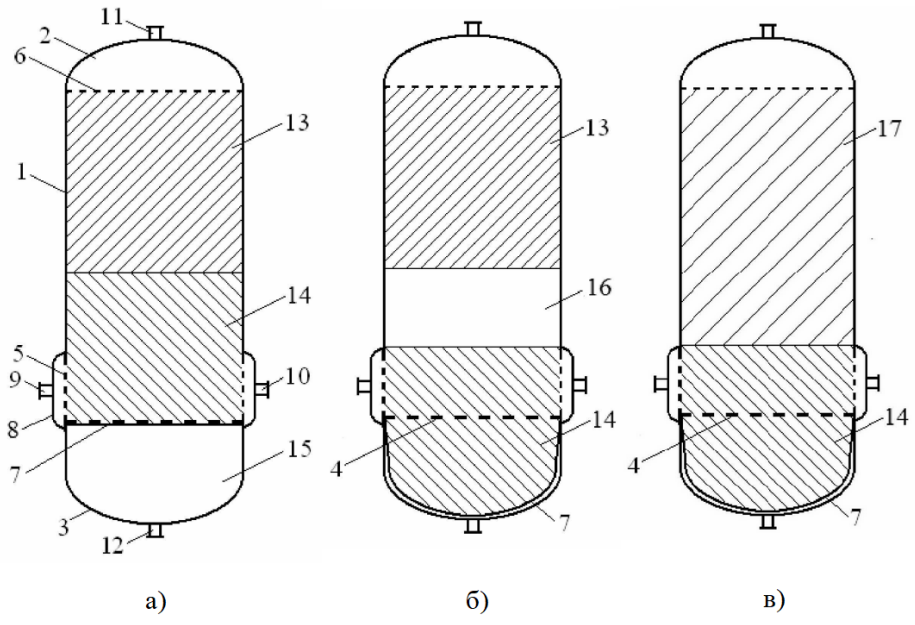


Рис. 1. Стадии работы ионообменного аппарата с подушкой:
а) стадия ионообмена, б) стадия прекращения подачи воды, в) стадия взрыхления

Ионообменный фильтр работает следующим образом. Перед началом работы в ионообменный аппарат помещают ионит, инертный материал и заполняют фильтр водой. Более легкий ионит всплывает вверх аппарата, а инертный материал опуска-

ется вниз. За счет создания избыточного давления воздуха, подаваемого через штуцер 12, воздушная подушка 15 надувается, поднимая слой инертного материала 14 в верхнюю часть аппарата. В результате слой инертного материала 14 плотно прижимает слой ионита 13 к верхнему дренажно-распределительному устройству 6. На стадии ионообмена (рис. 1а) в аппарат через штуцера 9 и 10 подается исходная вода, содержащая ионы тяжелых металлов. Вода последовательно проходит через слой инертного материала 14 и слой ионита 13, где очищается, а затем выводится из аппарата через штуцер 11. Аналогичным образом проводят регенерацию ионита с помощью раствора гидроксида натрия и отмывку ионита очищенной водой от остатков регенерационного раствора. Перед стадией взрыхления ионита подачу воды в аппарат прекращают и сдувают подушку 15. В аппарате между слоем ионита 13 и слоем инертного материала 14 образуется свободное пространство (рис. 1 б). Вода для взрыхления ионита подается в аппарат через штуцер 11, поддерживая находящийся под верхним дренажно-распределительным устройством 6 слой ионита 13 в псевдоожиженном состоянии. Затем вода проходит через слой частиц инертного материала 14, нижнее дренажно-распределительное устройство 5 и удаляется из аппарата через штуцера 9 и 10. После стадии взрыхления цикл повторяется.

В качестве исходных данных для расчета аппарата были приняты следующие параметры: производительность аппарата по воде Q = 0,001 м^3/с, внутренний диаметр аппарата $D_в$ = 1 м, диаметр аппарата с учетом карманов $D_р$ = 1,1 м, внутреннее давление в аппарате P = 0,6 МПа, давление действующее на верхнее дренажно-распределительное устройство $P_{т.в.}$ = 7,176·10^{-3} МПа, давление действующее на нижнее дренажно-распределительное устройство $P_{т.н.}$ = 45,111·10^{-3} МПа, плотность катионита $\rho_{кат}$ = 570 кг/м^3, плотность инертного материала $\rho_{ин.м}$ = 1030 кг/м^3, материал аппарата сталь ВСт3сп, временное сопротивление разрыву $\sigma_д$ = 220 МПа, предел выносливости при испытании на изгиб $\sigma_{ид}$ = 191 МПа [4], общая прибавка для компенсации коррозии C_0 = 0,001 м.

Прочностной расчет аппарата проводят в следующей последовательности [5, 6].

Давление гидроиспытаний:

$$P_{г.и.} = 1{,}5 \cdot P = 1{,}5 \cdot 0{,}6 = 0{,}9\,\text{МПа}.$$

Толщина цилиндрической обечайки:

$$S_ц = \frac{D_в \cdot P_{г.и.}}{2 \cdot \sigma_д \cdot \varphi} + C_0 = \frac{1 \cdot 0{,}9}{2 \cdot 220 \cdot 1} + 0{,}001 = 0{,}0032\,\text{м}.$$

где φ = 1 – коэффициент ослабления сварного шва.

Принимаем $S_ц$ = 0,004 (м).

Толщина цилиндрического расширения:

$$S_ц = \frac{D_р \cdot P_{г.и.}}{2 \cdot \sigma_д \cdot \varphi} + C_0 = \frac{1{,}1 \cdot 0{,}9}{2 \cdot 220 \cdot 1} + 0{,}001 = 0{,}0033\,\text{м}.$$

Принимаем $S_р = 0{,}004$ м.

Толщина эллиптической крышки:

$$S_{кр} = \frac{R_в \cdot P_{г.и.}}{2 \cdot \sigma_д \cdot \varphi} + C_0 = \frac{1 \cdot 0{,}9}{2 \cdot 220 \cdot 1} + 0{,}001 = 0{,}0032\,\text{м},$$

где $R_в = 1$ м - радиус кривизны днища.

Принимаем $S_{кр} = 0{,}004$ м.

Толщина эллиптической крышки:

$$S_д = \frac{R_в \cdot P_{г.и.}}{2 \cdot \sigma_д \cdot \varphi} + C_0 = \frac{1 \cdot 0{,}9}{2 \cdot 220 \cdot 1} + 0{,}001 = 0{,}0032\,\text{м}.$$

Принимаем $S_д = 0{,}004$ м.

Толщина верхнего дренажно-распределительного устройства:

$$S_{т.в.} = 0{,}45 \cdot D_в \cdot \sqrt{\frac{P_{т.в.}}{\sigma_{ид} \cdot \varphi_0}} + C_0 = 0{,}45 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{7{,}176 \cdot 10^{-3}}{191 \cdot 0{,}5}} + 0{,}001 = 0{,}0049\,\text{м},$$

где $\varphi_0 = 0{,}5$ – коэффициент ослабления дренажно-распределительного устройства отверстиями

Принимаем $S_{т.в.} = 0{,}005$ (м).

Толщина нижнего дренажно-распределительного устройства:

$$S_{т.н.} = 0{,}45 \cdot D_в \cdot \sqrt{\frac{P_{т.н.}}{\sigma_{ид} \cdot \varphi_0}} + C_0 = 0{,}45 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{45{,}111 \cdot 10^{-3}}{191 \cdot 0{,}5}} + 0{,}001 = 0{,}01078\,\text{м}.$$

Принимаем $S_{т.н.} = 0{,}012$ м.

Основные технические характеристики аппарата сведены в таблицу.

Таблица. **Основные технические характеристики аппарата**

Показатель	**Значения показателя**
Диаметр аппарата, мм	1000
Высота аппарата, мм	2800
Высота неподвижного слоя, мм	1000
Высота инертного материала, мм	1000
Высота свободного объема, мм	500
Толщина стенки, мм	4
Толщина верхнего дренажно-распределительного устройства, мм	5
Толщина нижнего дренажно-распределительного устройства, мм	12

Таким образом, выполненные расчеты на прочность конструктивных элементов ионообменного аппарата позволили определить безопасные условия его работы при конкретных нагрузках. Разработанный аппарат отвечает всем требованиям безопасной и надежной его эксплуатации при чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова Т.П., Полуянов В.П., Юрьев А.М. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы на системах водоснабжения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2008. № 3. С. 98–109.

2. Зикриярова С.М., Снытин И.А., Сыздыков Д.М., Кусайынова Э.И. Оценка факторов риска для здоровья населения при чрезвычайных ситуациях // Вестник КазНМУ. 2015. № 2. С. 610-613.

3. Рочева А.Е., Васильев А.Л. Применение блочно-модульных систем водоподготовки // Символ науки . 2022. № 4-1. С. 29-31.

4. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.

5. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. М.: Альянс, 2021. 752 с.

6. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Л.: Машиностроение, 1981. 382 с.

УДК 66.021.3

А. В. Топоров
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИЛОЖЕННОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация: в статье приведены результаты испытаний образцов из полимерного материала, полученных при помощи технологии 3D печати. Представлены зависимости прочности образцов от коэффициента заполнения для случаев награждения вдоль и поперек сетки. Приведены фотографии образцов. Сделаны выводы относительно прочностных характеристик, установлены закономерности.

Ключевые слова: 3D печать, испытание материалов, сжатие, плотность заполнения.

A. V. Toporov

STUDY OF THE STRENGTH OF PRODUCTS OBTAINED USING 3D PRINTING TECHNOLOGY, DEPENDING ON THE DIRECTION OF THE APPLIED LOAD

© Топоров А. В., 2023

Abstracts: the article presents the results of testing samples made of polymer material obtained using 3D printing technology. The dependences of the strength of the samples on the filling factor for cases of awarding along and across the grid are presented. Photos of samples are given. Conclusions are drawn regarding the strength characteristics, regularities are established.

Keywords: 3D printing, material testing, compression, filling density.

В настоящее время среди множества технологий 3D печати достаточно часто применяется технология, получившая название FDM-печать (FusedDepositionModeling) [1]. По своей сути это экструзия – процесс, в основе которого лежит выдавливание расплавленного пластика через сопло с последующим затвердеванием на воздухе.

Для FDM-печати характерна относительно малая стоимость оборудования, доступность и невысокая цена расходных материалов, гибкость технологии изготовления. Основным недостатком данной технологии, связанным с послойным нанесением полимерного материала и его сплавлением является формирование сложной структуры детали, которая по своим свойствам будет значительно отличаться от деталей, изготовленных по другим технологиям, например, литьем или механической обработкой.

Для изготовления деталей по технологии FDM-печати применяются множество различных сортов пластика [2]. Материал исходного сырья оказывает значительное влияние на свойства конечного изделия, но и технология печати, ориентация заготовки и другие факторы будут накладывать отпечаток на прочностные характеристики детали.

При изготовлении детали возможно задать такие параметры печати, при которых внутри будет формироваться структура с различной плотностью заполнения. При 100 % запылении в идеальном случае формируется практически монолитная структура (рис. 1 в). С уменьшением плотности заполнения внутри образца создается сетка различной плотности, а на поверхности сплошной слой, толщина которого задается параметрами печати и обычно составляет 1-2 мм (рис. 1 а, б). Форма ячеек сетки может быть различной и задается при настройке параметров печати. Поскольку сетка имеет строгую ориентацию материал будет обладать анизотропными механическими свойствами.

Исследования образцов проводились с использованием стандартной методики [3]. Печать производилась с применением филамента из PLA пластика. Предел прочности данного вида пластмассы составляет порядка 40–70 МПа.

Испытания проводились с использованием машины ПСУ-10.

а б в

Рис. 1. Фотографии внутренней структуры образцов с различной плотностью заполнения: а –20 % заполнение, б –80 % заполнение, в –100 % заполнение

В ходе испытаний на сжатие разрушались образцы квадратного поперечного сечения со стороной 15 мм и высотой 10 мм (рис. 2 а). Печать производилась как от основания, так и от боковой грани. В первом случае сетка внутреннего заполнения была ориентирована вдоль прилагаемой к образцу силы, во втором – поперек. Сетка внутреннего заполнения формировалась исходя из алгоритма принтера и представляла из себя ячейки квадратной формы, различные по величине (в зависимости от плотности заполнения, рис. 1 а, б).

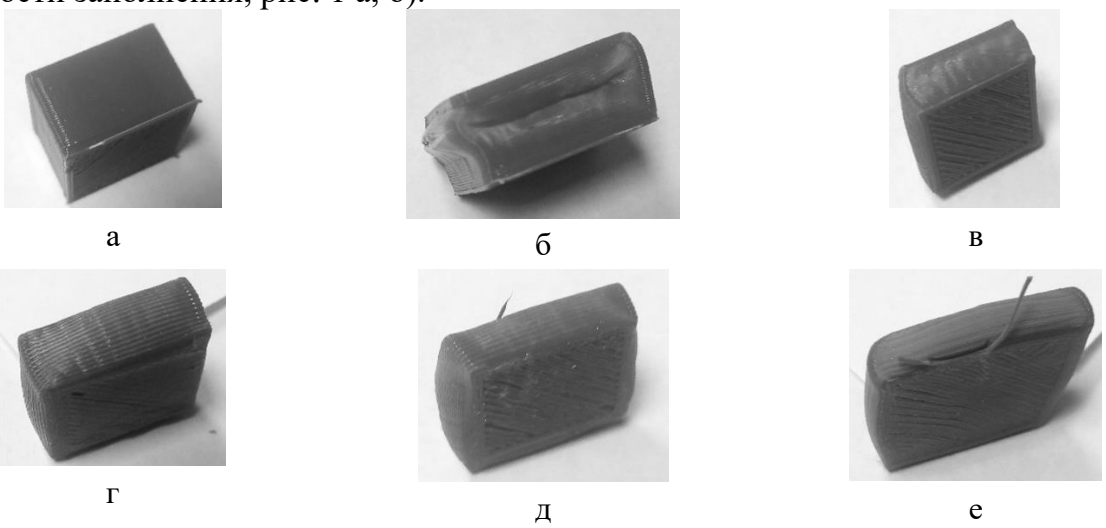


Рис. 2. Фотографии образцов:
а – образец до нагружения, б – после нагружения (20 % заполнение),
в – после нагружения (40 % заполнение), г – после нагружения (60 % заполнение),
д – после нагружения (80 % заполнение), е – после нагружения (100 % заполнение)

Образы после нагружения представлены на рис. 2 б-е. Как видно из рисунка следы разрушения возможно отметить лишь на образце, имеющем 20 % внутреннее заполнение. Высота образца после нагружения составила 7,8 мм. На остальных образцах наблюдается выпучивание боковых поверхностей, без появления видимых трещин (рис. 2 в-е). Наиболее значительную деформацию испытали образцы с заполнением 80 % и 100 % (высота составила 5,9 мм и 5,1 мм соответственно). Высота образца с заполнением 40 % составила 7,1мм, с заполнением 60 % – 6,4 мм. Указанные величины высот носят справочный характер, поскольку измерялись после извлечения образцов из пресса. Однако, даже по этим приблизительным данным возможно определить закономерность – чем больше степень заполнения образца, тем больше он деформируется до разрушения. Влияние концентраторов напряжения [4], коими являются места спаев нитей, не наблюдается.

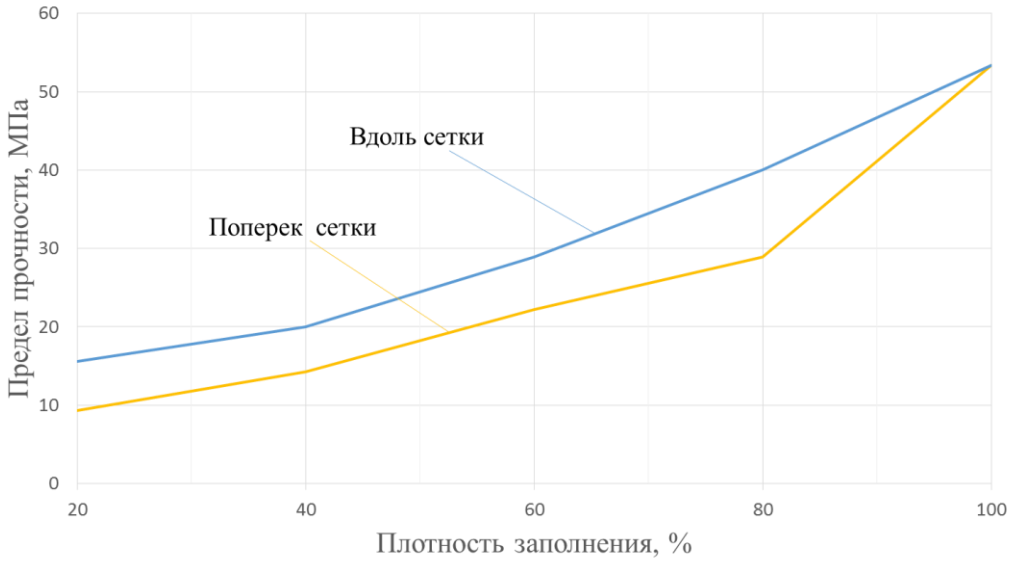


Рис. 3. Зависимость предела прочности образцов от плотности заполнения

Чтобы оценить прочностные характеристики образцов были определены нормальных напряжений при разрушении. Разрушение фиксировалось по падению нагрузки прилагаемой к образцу. Зависимость предела прочности от плотности заполнения представлена на рис. 3. Как видим из рисунка, предел прочности материала вдоль линий сетки порядка на 50 % выше, чем поперек линий сетки. Для графика нагружения вдоль сетки характерны два практически параллельных участка, имеющих различные углы наклона к горизонтальной оси. На участке от 100 % до 40 % заполнения наблюдается более интенсивное уменьшение величины предела прочности по сравнению с участком 40 %–20 %. Возможно это обусловлено потерей устойчивости отдельных элементов внутренней структуры, на которые действует продольная сила, что наиболее значительно проявляется при снижении плотности заполнения менее 40 %. Нагрузка при этом воспринимается в основном сплошной внешней оболочкой.

При нагружении образа поперек сетки происходит ее смятие и деформация ячеек. Это сказывается уже при незначительном снижении плотности внутреннего заполнения (порядка до 80 %).

Таким образом, установлено, что прочность на сжатие изделий, полученных при помощи технологии FDM-печати, на 50 % выше при их нагружении вдоль линий сетки практически во всем диапазоне изменения плотности внутреннего заполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.В. Кондрашов, А.А. Пыхтин, С.А. Ларионов, А.Е. Сорокин / Влияние технологических режимов fdm-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики fdm-моделей (обзор) // Труды ВИАМ №10 (82) 2019 С 34-49

2. Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю. Обзор расходных материалов для 3D печати методом послойного наплавления // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 8-2. С. 16-18.

3. ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2018-10-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018 – 20 с.

4. Топоров А.В., Иванов В.Е. Исследование механических свойств модельного материала, полученного при помощи технологии 3d печати // В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90- й годовщине образования гражданской обороны. Иваново, 2022. С. 565-568.

УДК 658.52.011.56

А. П. Туваков, П. И. Синодеева, И. И. Ведерникова, С. А. Егоров
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИ РАБОТЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

Аннотация: В работе рассмотрено использование тензодатчиков для определения усилия на инструмент при обработке и момента замены изношенного инструмента.

Ключевые слова: инструмент, износ, тензометрический датчик, микропроцессор

A. P. Tuvakov, P. I. Sinodeeva, I. I. Vedernikova, S. A. Egorov

THE USE OF STRAIN GAUGES DURING THE OPERATION OF A METAL-CUTTING MACHINE

Abstracts: The paper considers the use of load cells to determine the force on the tool during processing and the moment of replacement of a worn tool.

Keywords: tool, wear, strain gauge, microprocessor.

При обработке деталей на станках режущий инструмент испытывает большие нагрузки.

Существуют определенные нормативы по срокам службы инструмента в часах до полного износа и нормы расхода инструмента на определенное количество деталей.

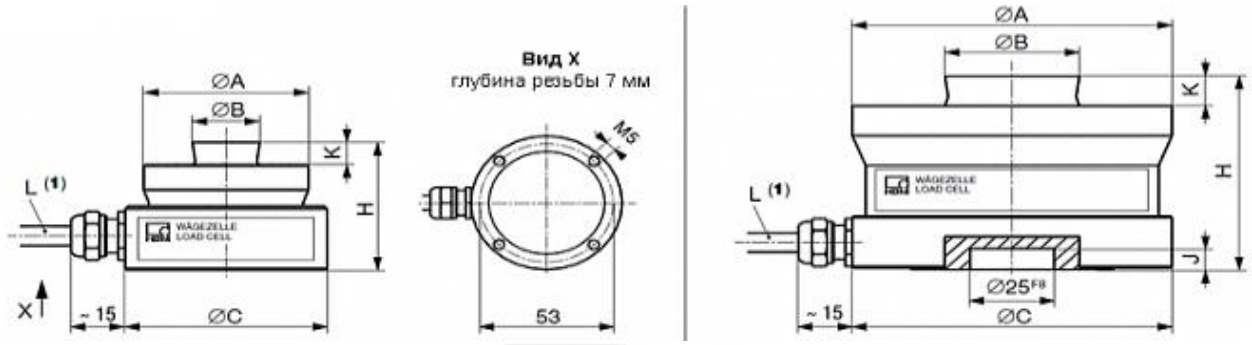
Своевременная смена затупившихся инструментов позволяет довести до минимума потери ценного металла (быстрорежущей стали и твердого сплава) при заточке, продлевает срок службы инструмента и приводит к экономии расхода инструмента на единицу изделия.

© Туваков А. П., Синодеева П. И., Ведерникова И. И., Егоров С. А., 2023

Износ инструмента также можно определить по возрастающему усилию на резец при обработке детали. Для определения этого усилия и определения момента замены инструмента можно использовать тензометрические датчики (тензодатчики).

В качестве такого датчика можно использовать тензометрический датчик торсионного типа RTNC3LT/4,7t (рис. 1,2), установку которого можно предусмотреть в шпинделе токарного станка (для станков с креплением инструмента в шпинделе станка), либо встроить в механизм подачи токарного станка (для станков с креплением заготовки в шпинделе станка).

Рис. 1. Тензометрический датчик RTNC3LT/4,7t



RTN	4.7т
ØA	49
ØB	20
ØC	60
H	43
J	-
K	7,5
L(м)	5

L – длина кабеля

Рис. 2. Размеры тензодатчика RTNC3LT/4,7t

Принцип работы тензодатчика представлен на рис. 3. Как видно на рисунке, в плечи моста включены четыре тензорезистора, которые расположены на гибкой подложке, что обеспечивает им упругую деформацию в ходе измерений. Все резистивные элементы тензодатчика подбираются равнозначными, что обеспечивает на выходе в состоянии покоя нулевое значение разности потенциалов в точках + S и – S. Это обозначает, что в ненагруженном идеальном тензодатчике не будет протекать ток в выходной цепи измерительного прибора.

Как только к измерительному органу прибора будет приложена механическая нагрузка, гибкое основание деформируется, от чего изменятся рабочие параметры всех резисторов в цепи моста тензодатчика. В большинстве случаев попарно происходит сжатие и растяжение тензорезисторов.

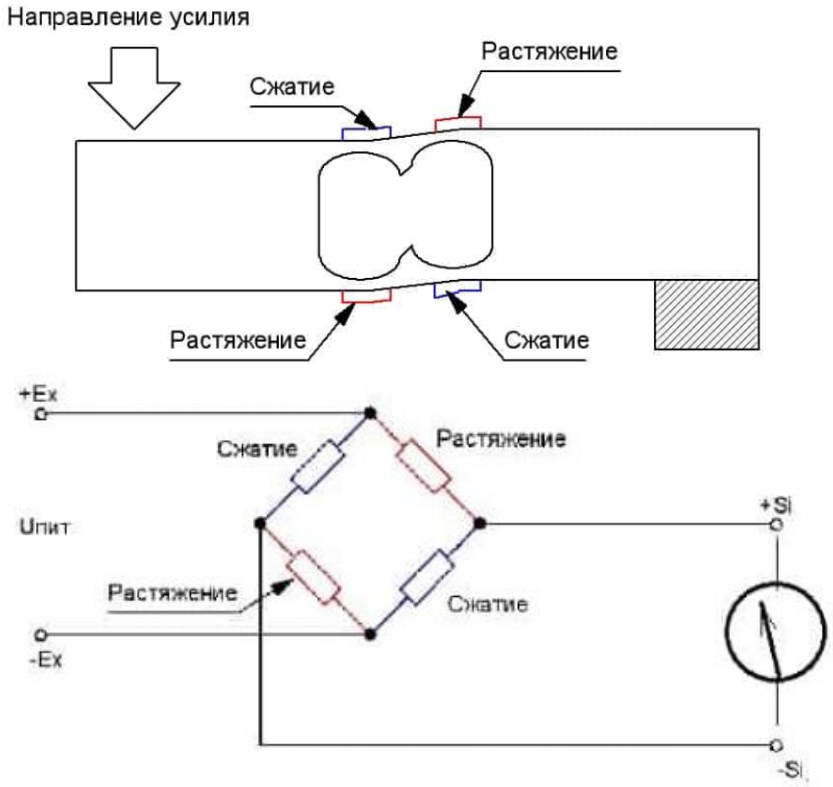


Рис. 3. Принцип работы тензодатчика

Как видно на рисунке, два резистора сжимаются, а другие два растягиваются, в результате чего происходит искажение моста. Электрическая цепь выходит из равновесия и через выход тензодатчика начинает протекать электрический ток. О чем будет свидетельствовать отклонение стрелки гальванометра или дисплей оборудования, реагирующий на изменение разности потенциалов. Как только нагрузка перестанет воздействовать на тензодатчик, гибкая пластина вернется в исходное состояние, а измерительный мост снова перейдет в состояние равновесия.

Схема подключения тензометрического датчика RTNC3LT/4,7t представлена на рис. 4.

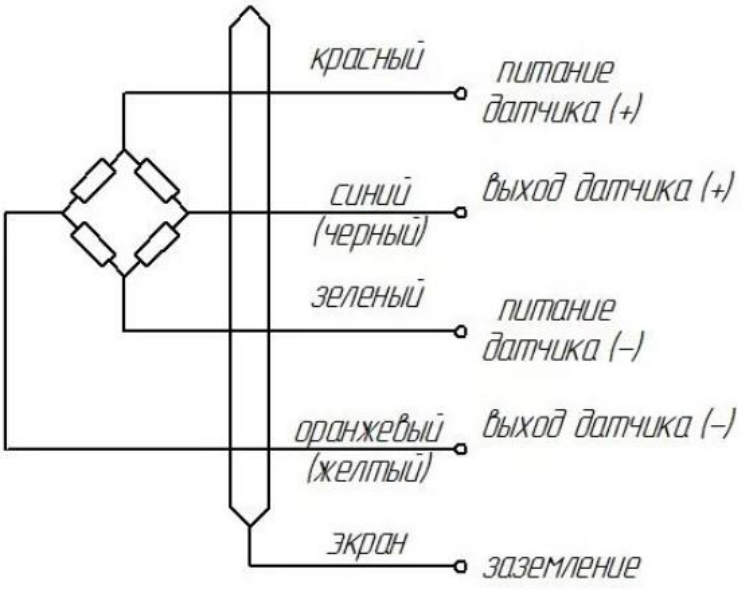


Рис. 4. Схема подключения тензометрического датчика RTNC3LT/4,7t

Схема подключения датчика RTNC3LT/4,7t на базе микропроцессора ATmega644 представлена на рис. 5.

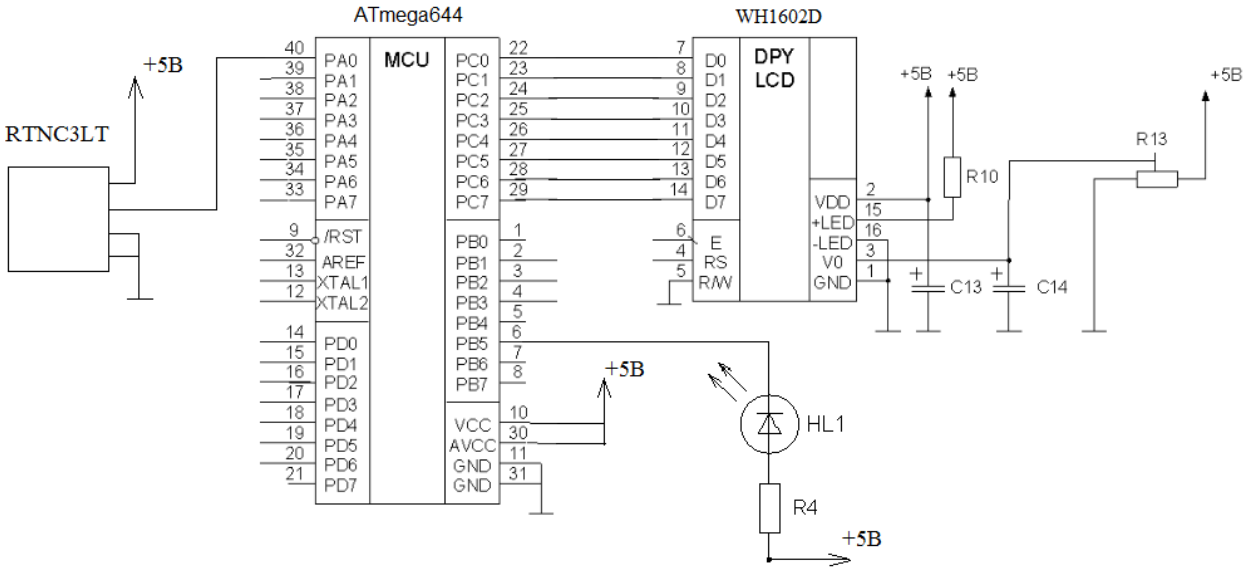


Рис. 5. Схема подключения датчика RTNC3LT/4,7t на базе микропроцессора ATmega644

Сигнал с выхода датчика RTNC3LT/4,7t подается на вход PA0 аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) микропроцессора ATmega644. Аналоговый сигнал (величина входного напряжения) преобразуется в 8-разрядный двоичный код числового значения силы (в ньютонах или кг), который поступает на выводы PC0…PC7, присоединенные к входам контроллера LCD-дисплея WH1602D, вследствие чего значение усилия на резце будет высвечиваться на экране.

При программировании микропроцессора ATmega644 также можно прописать определенное значение усилия, при превышении которого будет загораться сигнальный световой индикатор (светодиод HL1).

Рис. 6. Микропроцессор ATmega644

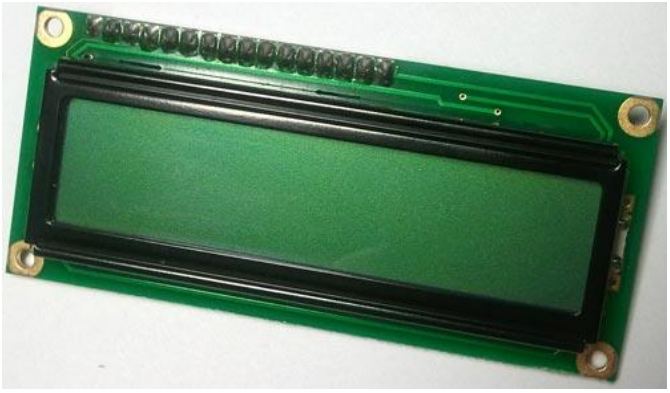


Рис. 7. Дисплей WH1602D

Микропроцессор ATmega644, дисплей WH1602D и световой индикатор (светодиод) представлены на рис. 6 и 7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тензодатчик: принцип работы, устройство, типы, схемы подключения. [Электронный ресурс].

2. Бекташов, Дмитрий Алиевич. Станки с числовым программным управлением: справочное пособие / Д. А. Бекташов; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". – Иваново: Б.и., 2016. – 132 с.

УДК 621

Е. А. Тюмкина, Н. А. Кропотова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИНЖЕНЕРНО-ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ: УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация: в статье обосновано решение прикладной задачи. Для снижения профессиональных рисков предлагается повысить интерес к инженерно-прикладным задачам обучающихся первого года обучения. Считается, что решение подобных задач позволяет расширить кругозор обучающихся по профессиональной направленности, а также решение ситуационных задач способно подготовить обучающихся и профессионально адаптировать. Авторами обоснованы применение аналитического и компьютерного расчета устойчивости пожарной техники.

Ключевые слова: адаптация, профессиональная деятельность, пожарная охрана, ситуационные задачи, лебедка.

E. A. Tyumkina, N. A. Kropotova

ENGINEERING AND APPLIED PROBLEMS FOR REDUCING OF OCCUPATIONAL RISKS: SUSTAINABILITY OF FIRE ENGINEERING

Abstracts: The article substantiates the solution of an applied problem. To reduce professional risks, it is proposed to increase interest in applied engineering problems among first-year students. It is believed that the solution of such problems makes it possible to expand the horizons of students in a professional direction, as well as the solution of situational problems can prepare students and professionally adapt. The authors justified the use of analytical and computer calculation of the stability of fire equipment.

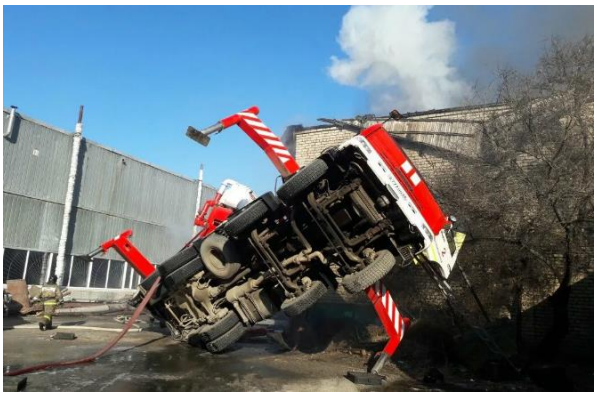
Keywords: adaptation, professional activity, fire protection, situational tasks, winch.

При организации технически правильной производственной деятельности личного состава подразделений пожарной охраны необходимо уделять внимание на снижение профессиональных рисков. Что касаемо подготовки обучающихся, то они должны уметь производить поиск рациональных решений в задачах с различными условиями и ситуациями профессиональной деятельности. Для этого обосновано решение инженерно-прикладных задач для первого года обучения, позволяющие осуществлять поиск решений профессионально-производственной задачи.

Актуальность данных решений подтверждается негативными производственными факторами, в результате которых произошло заваливание пожарной техники с дальнейшим опрокидыванием при выполнении боевых задач (рис. 1).

© Тюмкина Е. А., Кропотова Н. А., 2023

а)



б)

в)

Рис. 1. Заваливание и дальнейшее опрокидывание техники
при выполнении служебных задач:
а) г. Торжок, июль 2014 г., б) г. Волгоград, 2019 г., в) г. Кинешма, декабрь 2022 г.

Во избежание подобных ситуаций необходимо соблюдать основные требования безопасности:

- автомобили, оборудованные стрелой должны обладать статической и динамической устойчивостью;
- угол поперечной статической устойчивости автомобиля должен быть не менее 30 0 при полной массе;
- зона движения стрелы должна находиться исключительно только в зоне рабочего поля или ее обслуживания;
- зона обслуживания должна быть безопасной как для работников-операторов [1], так и населения;
- при эксплуатации автомобилей должны соблюдаться ограничения по прочности [2], устойчивости техники в целом, а также отдельных ее рабочих механизмов.Устойчивость транспортного средства – это способность техники сопротивляться опрокидывающим моментам. На наш взгляд решение прикладной задачи должно сводиться к определению устойчивости применяемой техники в рабочем положении. Решение задачи рассмотрим двумя способами: прикладной задачей и компьютерным моделированием.

Решение прикладной задачи позволит оценить устойчивость как отношение удерживающего момента к опрокидывающему моменту:

$$К_у = \frac{М_{уд}}{М_{оп}}, \quad (1)$$

где $М_{уд}$ – удерживающий момент, $М_{оп}$ – опрокидывающий момент.

Из приведенного выражения следует, что чем больше угол подъема стрелы (проекция центра масс поворотной части находится внутри границ опорного контура) удерживающий момент больше, чем опрокидывающий, тогда коэффициент устойчивости не определим.

Если взять согласно ГОСТа Р 52032 (выражение 5, график 3), при угле подъема одной стороны автолестницы на угол 30^0 нормативная величина угла крена подрессорной массы составит $7{,}5^0$, модель для расчета была выбрана автолестница (рис. 2). Проецируя вектор Q на платформу, мы делаем заключение о том, что угол поперечной статической устойчивости будет менее 30^0.

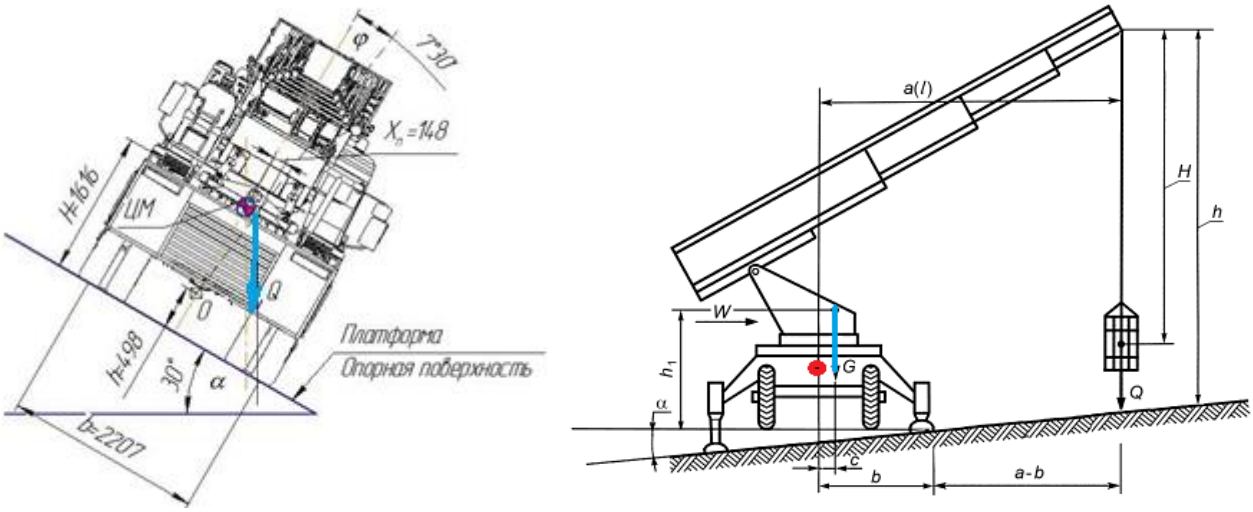


Рис. 2. Модель для расчета устойчивости автолестницы в статическом состоянии

Оценка грузовой устойчивости позволяет дать заключение о равновесном состоянии нагруженной системы (рис. 3).

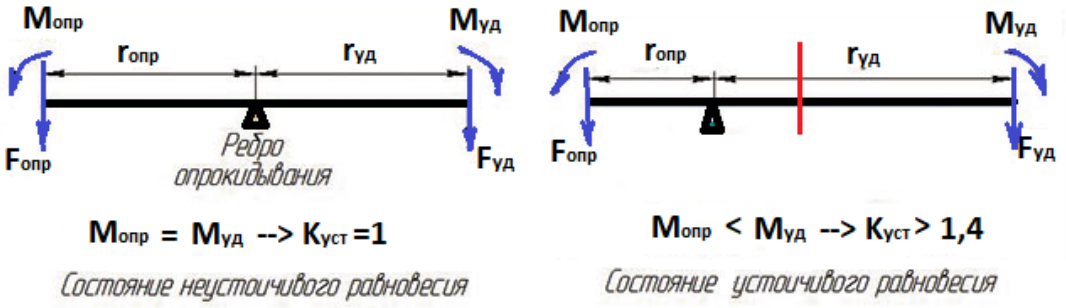


Рис. 3. Статический расчет нагруженной системы автолестницы: неустойчивое и устойчивое состояния

Уравновешивающая статическая система происходит по ребру опрокидывания, которое определяется расстояниями, входящих в определение соответствующих моментов: опрокидывающего и удерживающего. Считаем его как проекцию линии контура на горизонтальную плоскость, ограниченную аутригерами.

Подобное решение можно проводить с использованием системы автоматизированного программирования (рис. 4), задавая параметры нагруженной системы, регулируя рычаг приложенных моментов [3].

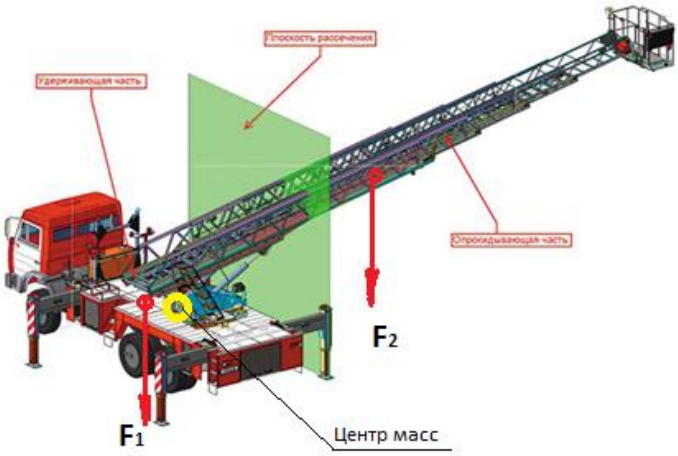


Рис. 4. Применение системы автоматизированного проектирования для решения прикладных задач

Компьютерной модель может содержать раздельно массы и проекции центров масс как отсеченной часть плоскостью, так и основного объекта. Зная координаты центра масс и их проекций на горизонтальную плоскость у каждой из рассеченных частей, можно определить удерживающий и опрокидывающий моменты соответственно, которые определят коэффициент устойчивости автолестницы для определенного положения стрелы: угол наклона и длина стрелы.

С помощью параметрических возможностей трехмерного редактора можно проверить соотношение удерживающего и опрокидывающего моментов автолестницы практически в любом положении грузоподъемной стрелы [4].

Поэтому для решения поставленной задачи примем: вылет стрелы на 20 м, масса стрелы 17540 кг, груз в люльке автолестницы 200 кг, угол поворота 90^0, ширина опорного контура 4,98 м, угол подъема стрелы 10^0. Удерживающая часть массой 15298 кг при расстоянии от центра масс до ребра опрокидывания 2,485 м создает удерживающую момент

$$M_{уд} = 15298 \cdot 9{,}8 \cdot 2{,}485 = 372{,}552 \text{ кН·м} \quad (2)$$

В то время при расчете опрокидывающего момента зададим массу 2242 кг, расстояние от центра масс до ребра опрокидывания составляет 6,848 м:

$$M_{опр} = 2242 \cdot 9{,}8 \cdot 6{,}848 = 150{,}462 \text{ кН·м} \quad (3)$$

Опрокидывание конструкции может наступить при данном исходе, несмотря на то, что получен запас устойчивости равный 1,4. В случае устойчивости системы у конструкции должен быть запас, коэффициент устойчивости должен быть больше и равным 2,5.

Параметрическую модель возможно получить, исследуя нагруженную систему за счет изменения расстояния отсеченной плоскости от центра масс.

Таким образом, решение прикладных задач для инженеров пожарной охраны позволяет расширить кругозор решаемых задач и проблемных вопросов [5], сократить поиск рационального решения и снизить профессиональные риски, связанные с опрокидыванием пожарной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов Е.Р., Кропотова Н.А. Инженерно-техническое решение повышения эффективности реагирования подразделений пожарной охраны // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, 10–11 ноября 2021 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 356 – 360.

2. Киселев В.В. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов / В.В. Киселев, А.В. Топоров, В.П. Зарубин, Н.А. Кропотова // Сетевое издание Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2021. №3(22). С. 5 – 10.

3. Кропотова Н.А., Легкова И.А. Особенности применения инфографики в образовательном процессе // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2021. Том 2. С. 200 – 204.

4. Легкова И.А., Кропотова Н.А. Возможности применения инфографики в образовательном процессе // Современное инженерное образование: вызовы и перспективы: материалы национальной научно-практической конференции, 7-8 февраля 2022 г. / под ред. Н.Н. Зеркиной; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. С. 211 – 215.

5. Мочалов Е.Р., Кропотова Н.А. Инженерно-техническое решение для повышения эффективности работы подразделений пожарной охраны // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 181 – 185.

УДК 621.01

В. В. Чеберяк
Дальневосточная пожарно-спасательная академия - филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНИЗМОВ И АГРЕГАТОВ МАШИН

Аннотация: Традиционный контроль качества на заводе будет состоять из выполнения предопределенных проверок и тестов. Если продукт удовлетворяет установленным требованиям, он считается годным к использованию. Однако вы никогда не скажете, что купили качественный продукт, если вам пришлось пройти процесс восстановления два или более раз до истечения гарантийного срока.

Ключевые слова: надежность, качество, долговечность, инженерия надежности, ремонтопригодность.

V. V. Cheberyak

RELIABILITY AND DURABILITY OF PARTS, MECHANISMS AND MACHINE ASSEMBLIES

Abstracts: traditional quality control at the factory will consist of performing predefined checks and tests. If the product meets the established requirements, it is considered suitable for use. However, you will never say that you bought a quality product if you had to go through the restoration process two or more times before the warranty period expired.

Keywords: reliability, quality, durability, reliability engineering, maintainability.

Проектирование надежности помогает определить качество продукта, добавляя время к уравнению качества. Другими словами, мы больше не просто хотим знать, может ли продукт выполнять свои предполагаемые функции в момент покупки. Вместо этого мы хотим убедиться, что продукт работает без серьезных сбоев в нормальных условиях как можно дольше.

Инженерия надежности не только помогает организациям производить более надежные продукты, но и информирует команды технического обслуживания о том, как их обслуживать, чтобы увеличить наработку на отказ (среднее время между отказами) и срок службы оборудования.

В этой статье мы поможем вам использовать надежность и проектирование надежности, рассмотрев:

- концепция надежности
- основные принципы проектирования надежности
- основы оценки надежности
- и способы, с помощью которых инженеры по надежности могут повысить надежность оборудования

Надежность — это термин, используемый для описания способности компонента или системы соответствовать определенным стандартам производительности

© Чеберяк В. В., 2023

в течение определенного периода времени при условии нормальных условий эксплуатации.

Другими словами, если у нас есть две системы, которые работают в одинаковых условиях, то более надежной будет та, которая работает дольше с меньшими сбоями.

Поскольку никто не может предсказать будущее и гарантировать, что продукт не выйдет из строя ровно через X часов использования, расчет надежности сопряжен с некоторой долей неопределенности, которая выражается в форме вероятности. Среди прочего, мы можем использовать расчет надежности, чтобы оценить, какова вероятность того, что система будет работать должным образом после x часов или дней использования. Естественно, надежность любой системы вначале будет высокой, а со временем будет снижаться.

Надежность часто путают с долговечностью, качеством и доступностью. Хотя концепции схожи, их не следует использовать взаимозаменяемо. Вот краткое объяснение для каждого.

Долговечность можно определить как способность физического изделия оставаться функциональным, не требуя чрезмерного обслуживания или ремонта, при столкновении с проблемами нормальной эксплуатации в течение его проектного срока службы.

Основное различие между надежностью и долговечностью заключается в том, что долговечность в основном связана с тем, как долго изделие может прослужить, несмотря на поломки, которые оно выдерживает, в то время как надежность пытается уменьшить общее количество и частоту этих поломок.

Более того, компонент долговечности используется для описания характеристик физических элементов, в то время как надежность может использоваться и для виртуальных систем.

В зависимости от продукта и области его применения долговечность может быть выражена в часах использования, количестве рабочих циклов или годах существования.

Качество — это понятие, которое трудно определить. Одним из популярных способов ее описания является рассмотрение факторов, влияющих на качество продукции. Это приводит нас к концепции восьми измерений качества.

На самом деле это простой способ провести различие между надежностью и качеством, поскольку мы можем просто рассматривать надежность (и долговечность, если присмотреться повнимательнее) как одно из измерений качества.

Если мы возьмем надежность как отдельную концепцию, другой способ взглянуть на их взаимосвязь - сказать, что надежная система — это та, которая сохраняет свое качество с течением времени.

Доступность показывает процент времени, в течение которого система доступна (полностью работоспособна) для выполнения того, для чего она предназначена.

Концепция очень часто используется в ИТ для описания доступности облачной инфраструктуры. Системы с наивысшей доступностью находятся в диапазоне 99,99 % (что означает, что сервис / система недоступны только в течение ~ 52 минут из всего года; часто только для выполнения планового технического обслуживания).

На доступность влияют надежность и ремонтопригодность. Более надежные системы будут испытывать меньше отказов, что повысит их доступность. Аналогич-

ным образом, чем быстрее вы выполняете плановое техническое обслуживание, тем меньше у вас будет простоев, что опять же приводит к повышению доступности.

Инженерия надежности относится к систематическому применению лучших инженерных практик и методов для создания более надежных продуктов экономически эффективным способом. Методология проектирования надежности может применяться на протяжении всего жизненного цикла изделия: от проектирования и производства до эксплуатации и обслуживания.

При этом основная ценность проектирования надежности заключается в раннем выявлении возможных проблем с надежностью. Если мы обнаружим проблему надежности на ранней стадии жизненного цикла продукта, например, на стадии проектирования, мы сможем значительно минимизировать будущие затраты (т.е. Устраняя необходимость в существенном перепроектировании продукта после того, как он уже появится на рынке).

Цели проектирования надежности заключаются в следующем:

1. Использовать инженерные знания и методы для предотвращения определенных видов отказов и снижения вероятности и частоты отказов.

2. Выявлять и устранять причины сбоев, которые происходят, несмотря на усилия по их предотвращению.

3. Определить способы устранения возникающих сбоев, если их причины не были устранены.

4. Применять методы для оценки вероятной надежности новых конструкций и для анализа данных о надежности.

Если вы посмотрите на список более внимательно, вы увидите, что цели упорядочены таким образом, чтобы следовать естественному прогрессу применения различных методов обеспечения надежности. Нет смысла пытаться добавлять избыточности для всех выявленных отказов, если некоторые из них можно предотвратить с помощью простых изменений конструкции. Другими словами, приведенный выше список представляет шаги, которые следует выполнять в последовательном порядке, чтобы гарантировать, что методы обеспечения надежности применяются экономически эффективно.

Конечная цель оценки надежности – получить надежный набор качественных и количественных доказательств того, что использование нашего компонента системы не будет сопряжено с неприемлемым уровнем риска. Это неотъемлемая часть проектирования надежности.

В этом контексте риск можно определить как комбинацию вероятности отказа (насколько вероятно, что произойдет отказ) и серьезности отказа (каковы последствия отказа; может включать риск для безопасности, потенциальный вторичный ущерб, стоимость запасных частей и рабочей силы, производственные потери и т.д.).

Не всегда легко провести грань между причиной и отказом. Если бы это было не так, не было бы необходимости в инженерах по надежности и анализе отказов.

Чтобы достаточно хорошо понимать способы отказа и механизмы отказа, чтобы эффективно их устранять, сложные системы необходимо «разбить» на компоненты. Таким образом, вы можете анализировать их на индивидуальном уровне, а также на основе того, как они взаимодействуют друг с другом.

В дополнение ко всему сказанному, то, как система взаимодействует со своим пользователем и окружающей средой, является еще одним элементом, который сле-

дует добавить к списку вещей, которые необходимо учитывать, поскольку неправильное использование и плохие условия работы могут снизить надежность продукта.

Существует несколько способов, с помощью которых инженеры по надежности могут помочь улучшить и оптимизировать процессы технического обслуживания на своем предприятии, что в конечном итоге, приведет к повышению надежности оборудования. Мы обсудим некоторые из них ниже.

Износ, возникающий при ежедневном использовании, не вызывает дискриминации. Для продолжения эффективной работы большинство активов необходимо будет регулярно оснащать запасными частями.

Компании, обладающие необходимыми ресурсами, могут отказаться от использования станков с ЧПУ или 3D-печати для создания собственных деталей вместо постоянного пополнения запасов запасных частей. Кроме того, у них может быть старая машина с запасными частями, которые больше не продаются, или им приходится иметь дело с неприятной поломкой, требующей специальной детали.

В этих сценариях инженеры по надежности могут тесно сотрудничать с командой технического обслуживания для проектирования, тестирования и производства качественных запасных частей, которые повысят надежность оборудования на месте.

Серьезные усилия по проектированию надежности приносят серьезные результаты. При правильном знании методы обеспечения надежности могут быть внедрены независимо от размера вашей компании.

Мы надеемся, что в будущем организации будут продолжать инвестировать в надежность, поскольку это помогает всем участникам. Производственные компании выигрывают от производства продуктов более высокого качества, у бригад технического обслуживания меньше проблем с их обслуживанием, а у пользователей меньше проблем с производительностью в течение срока службы их продукта. Это беспроигрышная ситуация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин, Б.Р. Киселев, А.Е. Повышение надежности работы стальных узлов трения // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. - 2011. - №3. - С. 81-84.

2. Гриневич Г.П. Надежность строительных машин. /– М.: Стройиздат, 1983 – 296 с.

3. Канарчук В.Е. Основы надежности машин. / В.Е. Канарчук. Киев: Наук. думка, 1982 – 248 с.

4. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов. / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003 – 463 с.

5. Хазов, Б.Ф. Управление надежностью машин и технологических систем на этапах их жизненного цикла : в 2 ч. Ч. 1. Этапы разработки технического задания, технического предложения, технического проекта : учеб. пособие / Б.Ф. Хазов. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 182 с.

6. Царев, А.М. Надежность технических систем. Техногенный риск : курс лекций / авт.-сост. А.М. Царев. – Тольятти : ТВТИ, 2008. – 298 с. 28.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 61.614:004.942

О. В. Блинов[1], Е. Е. Корочкина[1], В. А. Годлевский[2]
[1]Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина
[2]Ивановский государственный университет

АНАЛИЗ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ SOLIDWORKS/FLOWORKS ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НАГРЕВЕ ВОЗДУХА В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Аннотация: Показаны принципиальные возможности численного моделирования тепловой динамики замкнутого помещения с внутренним источником тепла с различными внешними ограждениями на базе пакета прикладных программ SolidWorks/ Flow Simulation.

Ключевые слова: развитие пожара, закрытое помещение, источник тепла, компьютерное моделирование, алюминий, кирпич, газобетон

O. V. Blinov, E. E. Korochkina, V. A. Godlevsky

ANALYSIS IN THE SOLID-WORKS/FLOWORKS COMPUTING ENVIRONMENT OF HEAT TRANSFER DURING HEATING AIR IN CLOSED SPACE BY CONDITIONS OF LIMITED CIRCULATION

Abstracts: The basic possibilities of thermal dynamics numerical modelling inside the closed location with an internal source of heat on the basis of software product SolidWorks/ Flow Simulation are shown.

Keywords: fire development, closed room, heat source, computer modelling.

В последние годы наметился переход к гибкому объектно-ориентированному подходу к моделированию газодинамики помещений при пожаре, которое позволяет обеспечить пожарную безопасность объекта с учетом его индивидуальных особенностей, в отличие от существовавшего прежде «жесткого» нормирования. В ряде новых отечественных норм также реализуются элементы гибкого нормирования [1, 2]. Это позволяет с достаточной точностью рассчитывать динамику развития пожара в помещениях разной конфигурации, рассчитывать риски и параметры процессов эвакуации.

В данной работе рассматривается влияние материала ограждения люоорудования на динамику развития пожара. Газовая динамика пожара моделируется конечно-элементностными методами, которые являются математической основой пакета прикладных программ SolidWorks/Flow Simulation.

К настоящему времени широко развиты аналитические методы в пожарной газодинамике [3, 4], но все более распространенными становятся численные методы [5],

© Блинов О. В., Корочкина Е. Е., Годлевский В. А., 2023

которые успешно могут быть реализованы в пакете имитационного моделирования SolidWorks [6], а для газодинамических задач особо применима программная среда FloWorks (Flow Simulation) [7].

Выполним демонстрацию некоторых возможностей программного модуля Floworks (Flow Simulation) в решении простейших тепловых задач. В качестве примера рассмотрим задачу определения нагрева воздушной среды в замкнутом пространстве, где затруднён воздухообмен. Виртуальная установка состоит из подложки, нагревательного элемента и «колбы», посредствам которой вокруг нагревательного элемента создаётся замкнутое пространство. Моделирование установки производится в программном модуле Solid Works. Модельная сборка опытной виртуальной установки представлена на рис. 1, а геометрические параметры области тепловыделения — на рис. 2.

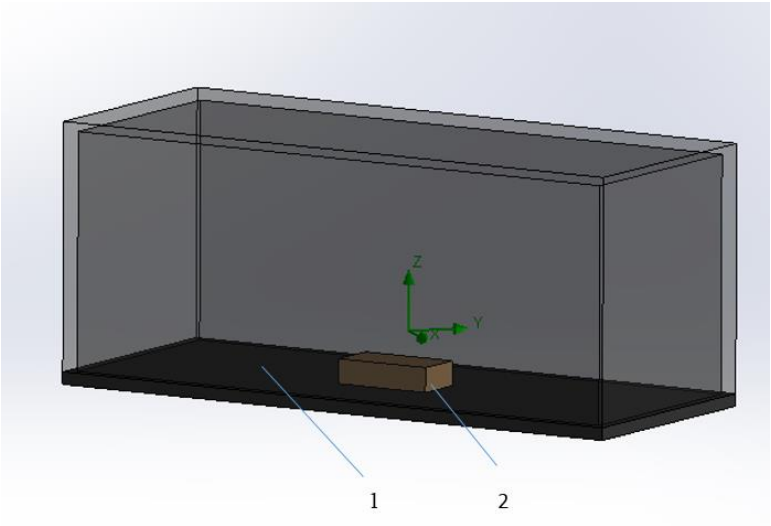
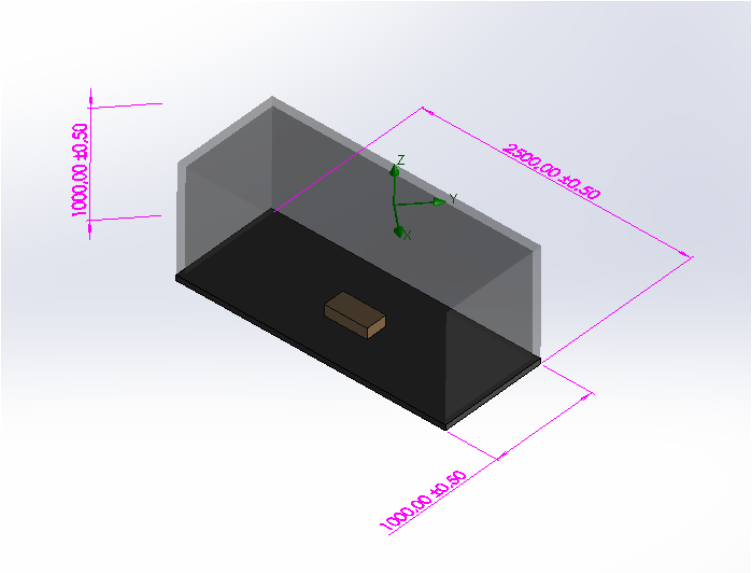


Рис. 1. Сборка опытно-виртуальной установки:
1 – оболочка,
2 – нагревательный элемент

Характеристики объекта:
Толщина стенки — 42 мм.
Мощность тепловыделения: 50000 Вт
Начальная температура внутри помещения 20 0С
Температура внешней среды 20 0С

В данной работе разработана модель помещения, в котором находиться элемент с внутренним источником теплоты для различного типа ограждений из алюминия, кирпича и газобетона. Коэффициент теплопроводности алюминия λ=209,3 Вт/(м*К), для различного типа кирпичей λ=0,1-0,261 Вт/(м*К), газобетона - λ=0,12 Вт/(м*К). Данные коэффициенты у алюминия и кирпича отличаются очень сильно. Алюминий очень хорошо проводит теплоту, а кирпич и газобетон являются теплоизоляторами. Этот факт должен влиять на распространение пожара и температуру газов. В данной модели задаются граничные условия 3-го рода. Одновременно происходит теплообмен излучением и конвекцией. Результаты расчетов приведены на рис. 3, 4 и 5.



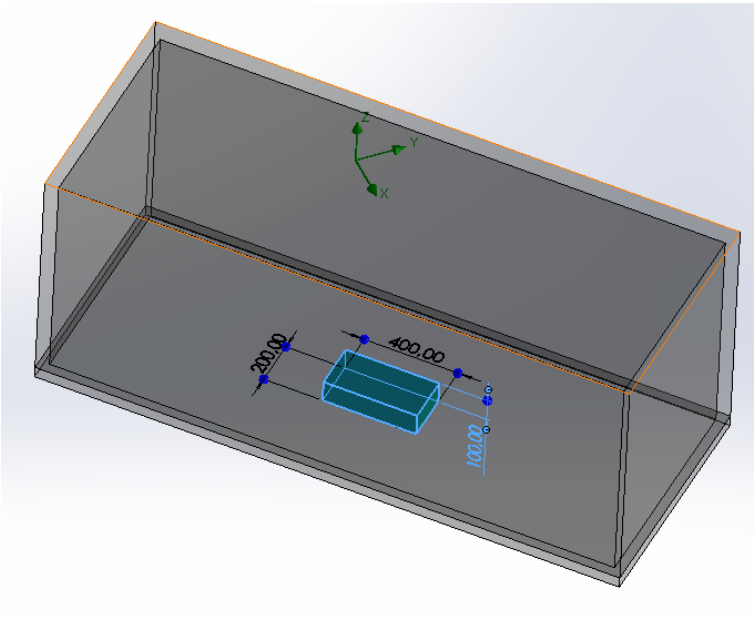


Рис. 2. Геометрические характеристики источника тепла

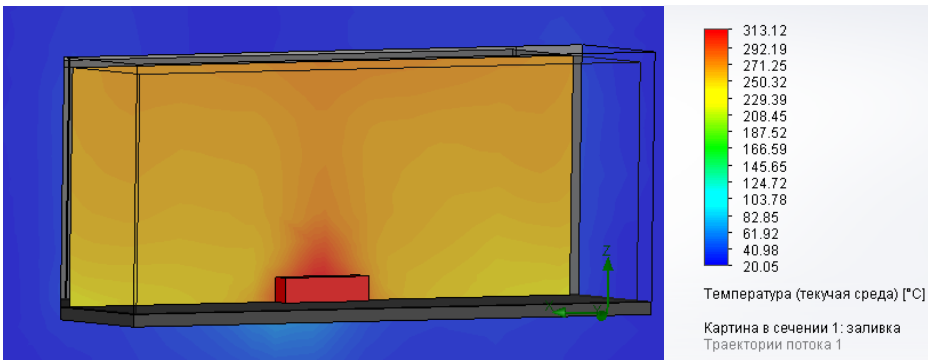


Рис. 3. Температурное поле для материала стенки из алюминия

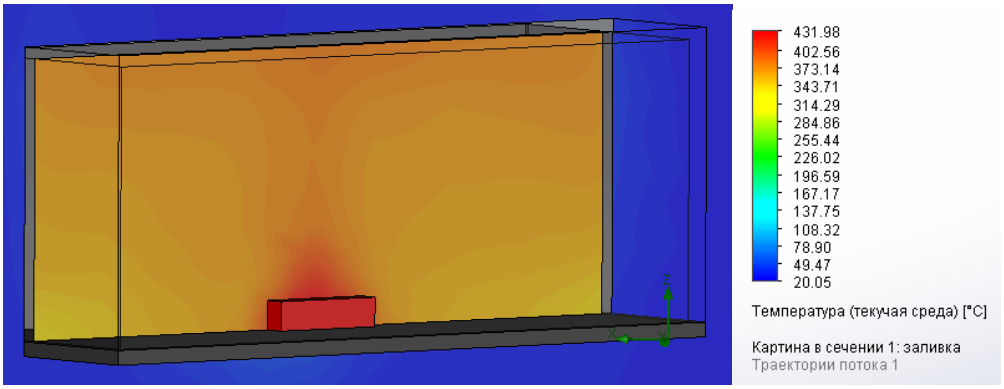


Рис. 4. Температурное поле для материала стенки из кирпича

Заключение.

Таким образом, посредствам программ SolidWorks и Flow Simulation была разработана виртуальная модель замкнутого помещения содержащего источник тепла (модель начального этапа пожара), и проведен анализ тепловых процессов внутри замкнутого помещения при заданных внешних условиях.

Проведен анализ нагрева воздушной среды в зависимости от материала ограждающих конструкций. Так как теплопроводность алюминия значительно выше, чем у кирпича и газобетона, то температура замкнутой воздушной среды ниже. Коэффициенты теплопроводности кирпича и газобетона одинаковые, но температура среды при кирпичном ограждении выше. Такие модели помогут в выработке рекомендаций по тушению пожаров в различных помещениях.

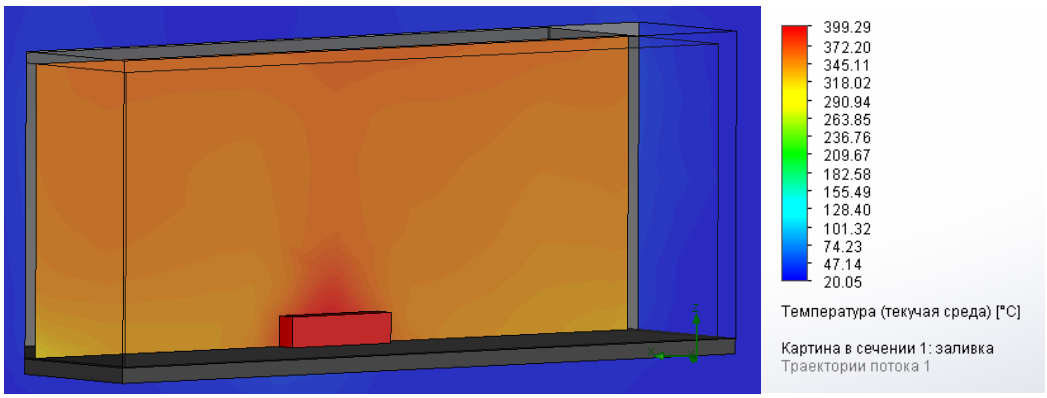


Рис. 5. Температурное поле для материала стенки из газобетона

В результате исследований нами была найдена допустимая мощность нагревательного элемента, обеспечивающая необходимую температуру, при заданных внешних условиях. Разобранный нами пример показывает принципиальные возможности программы Floworks (Flow Simulation) в моделировании тепловых процессов при развитии пожара в помещении. Дальнейшее освоение программных модулей системы Flow Simulation и SolidWorks дает широкие возможности для решения разнообразных инженерных задач пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.004-91* Пожарная безопасность. Общие требования.
2. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений.
3. Пузач С.В. Пузач В.Г. Математическое моделирование тепломассообмена при пожаре в помещении со сложной геометрией // http://www.itmo.by/ru/conferences/mif_5/abstract/2-41.pdf.
4. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях. Методические рекомендации. ФГОУ НИИПО // http://www.pozharnyj-expert.ru/rekomendatsii/primenenie-polevogo-metoda-matematicheskogo-modelirovanija-pozharov-v-pomeshenijah.
5. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ А.А. Алямовский, А.А. Собачкин – БВХ-Петербург, 2005-800 с.: ил.
6. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство / В.П. Прохоренко. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004 г. -448с.: ил.
7. Ушаков В. Анализ обтекания тел с отрывом потока в системе SolidWorks/FloWorks // http://www.cadcamcae.lv/hot/obtekanie.pdf

УДК 621.787

М. Ю. Волкова
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ БЛЕНДЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛОЖНОГО БИОНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Аннотация: Статья посвящена актуальным проблемам 3d моделирования и визуализации объекта в учебном процессе на примере создания модели китайского дракона. Анализируется комплексное влияние различных факторов на формообразование сложносочиненного биообъекта. К ним относятся как вопросы моделирования, выбор различных режимов воспроизводства, так и выбор использованного материала.

Ключевые слова: конструирование и параметрическое моделирование, трехмерная графика, примитивы, полигоны, комбинаторные варианты, булевые операции, конструктивные особенности.

M. Yu. Volkova

USING BLENDER FOR SIMULATION AND VISUALIZATION OF A COMPLEX BIONIC OBJECT

© Волкова М. Ю., 2023

Abstracts: The article is devoted to the actual problems of 3d modeling and visualization of an object in the educational process on the example of creating a Chinese dragon model. The complex influence of various factors on the shaping of a complex bioobject is analyzed. These include both modeling issues, the choice of different modes of reproduction, and the choice of material used.

Keywords: construction and parametric modeling, three-dimensional graphics, primitives, polygons, Boolean operations, design features.

В настоящее время при проектировании и моделировании различных механических систем применяется комплексный подход, связанный с изучением бионических прототипов, освоением и использованием программных средств компьютерного проектирования, моделирования и 3D печати. Одной из самых распространенных программ в учебном процессе для 3D моделирования считается Blender. Программа дает возможность создавать как простые объекты, на начальной стадии обучения, так и сложные образы, требующие подробного изучения природных аналогов, представителей животного мира или объектов мифологии.

Рассматривая различные варианты создания задуманного образа, ставились задачи многофункциональной направленности. Сравнивались комбинаторные варианты, как для воплощения модели в дальнейшем гипсовом или керамическом исполнении, так и для проектирования механических систем или анимационных динамических персонажей. При этом в рамках экспериментальных исследований предполагалась как промежуточная, так и завершающая печать модели на принтере. Это позволило выявить технологические поднутрения, не допустимые для воплощения изделия в гипсе, что привело бы в дальнейшем к браку.

Программа Blender позволяет работать с трехмерной графикой, сохранять промежуточные стадии работы. Это помогает, при необходимости, вернуться к предыдущим решениям. В то же время программа дает возможность оценивать риски технологического процесса и позволяет выполнять концептуальный дизайн, включающий методику вычислительного проектирования или же параметрического моделирования. Параметрическое моделирование использует возможности добавления дополнительной сетки для формирования необходимых размерных модулей. Комбинируя элементы модели, а также изменяя соотношения между отдельными частями, наглядно оцениваются как эстетические свойства, так и конструктивные особенности.

В рамках работы по 3D моделированию выявлено, что в программе доступно большое количество инструментов для создания и редактирования 3D моделей самых разных уровней сложности. На практическом примере доказано, что моделировать объекты можно при помощи доступных примитивов, полигонов, NURBS-кривых и кривых Безье. Дополнительно предусмотрен функционал для формирования метасфер и управления формой при помощи булевых операций. При помощи масштабирования задаются базовые пропорции (рис.1).

После придания объекту примерных пропорций головы, поверхность при помощи петель, делится для создания опорной сетки. Параметризация при этом дает возможность за короткое время сравнить различные варианты построения с помощью изменения размеров или геометрических соотношений. Для создания наиболее выразительной и точной формы выделяются и удаляются грани. Создание граней по отдельности позволяет сразу получить единое ребро. Намеченное место для формиро-

вания пасти дракона моделируется при помощи петель. При помощи инструмента «Нож» редактируется линия рта. Форма челюсти корректируется через перемещение ребер. Параметрические методы позволяют управлять самыми актуальными данными. В результате исследований доказано, что проектирование, берущее за основу параметрические методы исследования, становится фундаментальным условием для создания изделия.

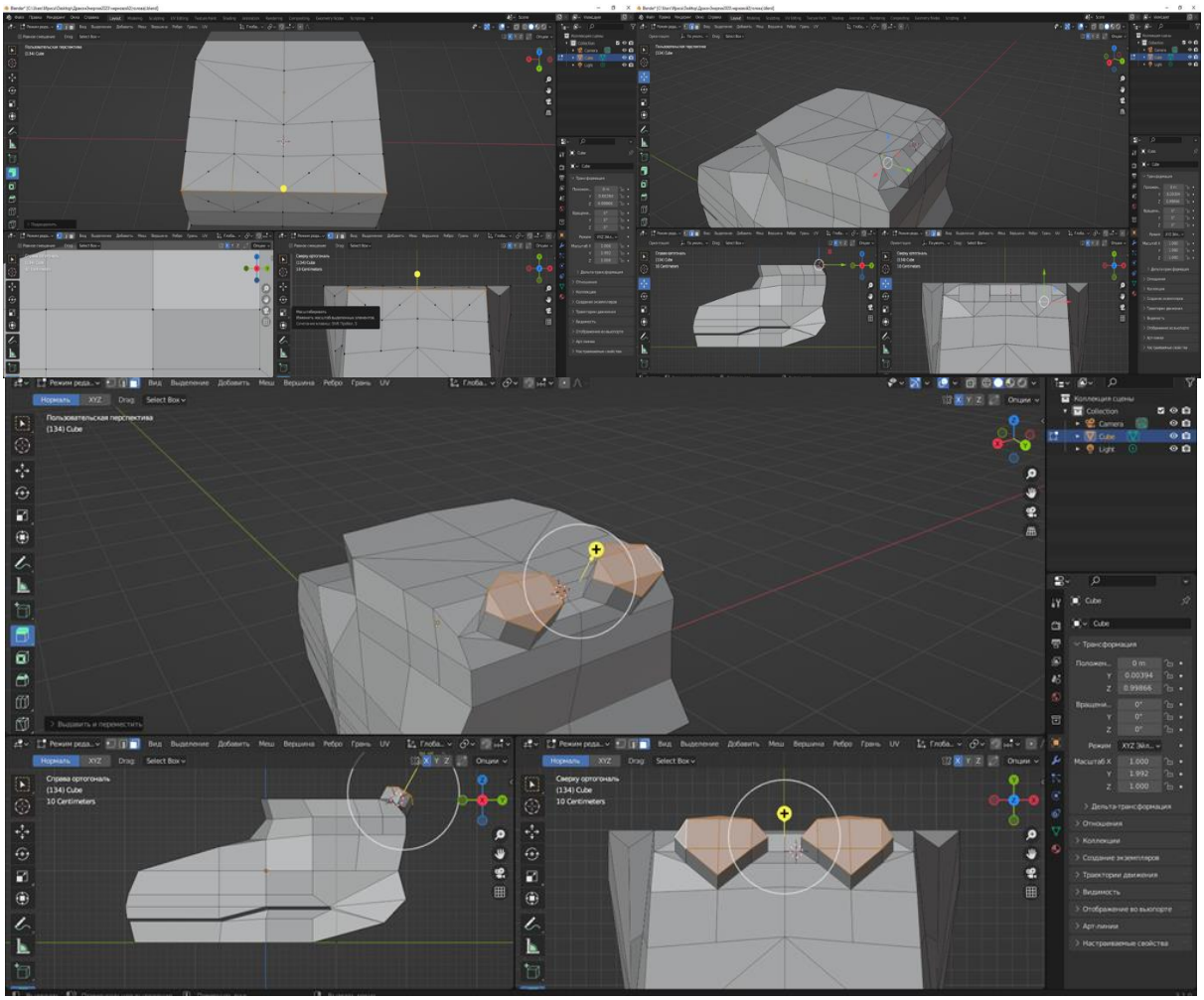


Рис. 1. Пример моделирования китайского дракона в программе Blender 3D

Функциональная задача заключалась в изучении китайской мифологии, образов китайских драконов, этапов процесса их визуализации, позволяющей в дальнейшем реализацию в заданном масштабе, с решенными технологическими и конструктивными характеристиками и дальнейшем воплощении в материале. В качестве объекта для моделирования был выбран персонаж китайской мифологии, дракон. Данное существо наилучшим образом подходит для более обширного рассмотрения возможностей программы (рис.2).

В рамках исследовательской работы распечатан на 3д принтере промежуточный вариант модели объекта. При детальном рассмотрении полученной модели были выявлены спорные моменты в построении и отмечены технологические неточности, допущенные во время моделирования.

Для печати на 3д принтере, в программе Блендер, модель дракона экспортировалась в stl формат. Далее включалась программа Repetier-Host V2.2.4. Был получен файл, известный как G-Code, в котором содержатся коды, понимаемые 3D-принтером. Для исследований использован принтер WANHAO DUPLICATOR I3. Рабочая температура экструдера: 180-240°C; Рабочая температура стола: 40-60°C; Тип пластика: ABS / PLA / PETG; ABS / PLA / PETG.

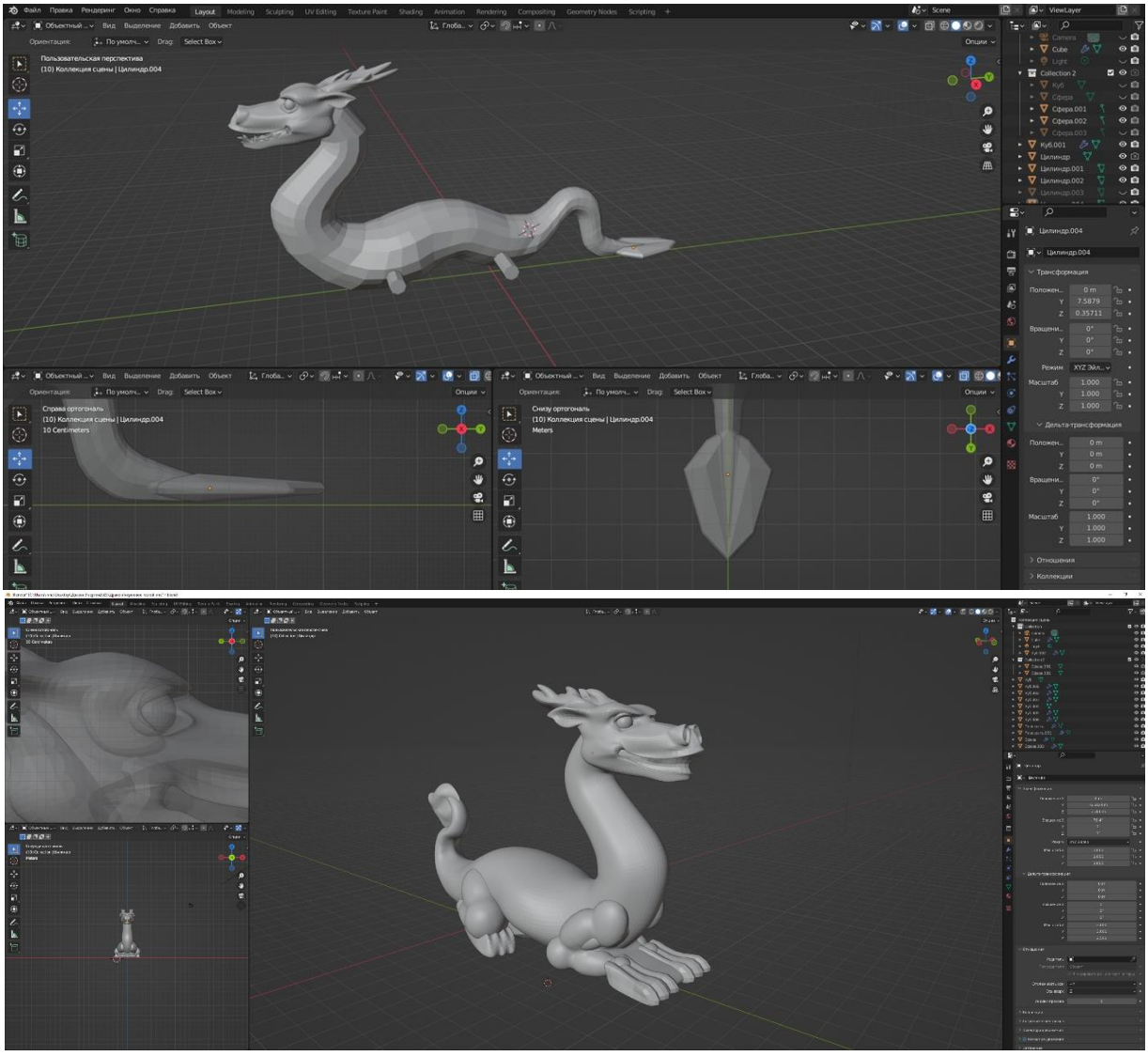


Рис. 2. Результат работы встроенной программы-слайсера CuraEngine

В рамках поэтапного моделирования в программе Blender объект помещался на условную плоскость. На финальном этапе задавались оптимальные параметры для 3D печати данной модели перед слайсингом («нарезкой» на слои). Затем, с помощью встроенной программы-слайсера CuraEngine модель печаталась на принтере.

В результате исследований и последовательных экспериментов было выявлено, что Cura 3D является оптимальной программой для печати (рис. 3).

Рис. 3. Создание промежуточной модели на 3D принтере

В исследованиях для печати модели использовался желтый пластик PLA.

Выбор пластика связан с тем, что PLA-пластик (полилактид) – наиболее простой материал для печати в домашних условиях.

Кроме того, в рамках исследования выявлено, что напечатанные из PLA объекты практически не деформируются и не трескаются. Это крайне важно для дальнейшего использования модели при отливке гипсовой формы. Применительно к созданной модели доказано, что пластик подходит для печати изделий сложной конфигурации с мелкими элементами декора, для которых важно точно передать геометрические размеры. Пластик подходит для печати моделей, требующих тщательной детализации.

Для PLA пластика на принтере задавались данные характеристики:

Твердость –7,5/10.

Температура стола – 50 C^0.

Температура экструдера – 150-170 C^0.

Экспериментальным путем подобраны оптимальные характеристики взаимодействия выбранного материала и различных программных средств для выполнения качественной модели дракона. Экспериментальным путем доказано, что наилучший результат обеспечивается при соблюдении всех технических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова М.Ю. Исследование законов формообразования геометрических тел // Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. Иваново, 2019.

2. Волкова М.Ю. Инструменты вычислительного и аналитического моделирования для проектирования объектов // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 391-393.

3. Павлюкова Н.Л., Баранов Б.Ш. Сравнительный анализ CAD-систем КОМПАС-3D и Solid Works // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения): сборник научных трудов по материалам Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции, 29-31 мая 2019 г., г. Иваново. — Иваново: ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". – 2019. – Т.3. – С.279 – 282.

4. Волкова М.Ю., Куликов С.А. 3D моделирование и визуализации трехмерного объекта в учебном процессе на примере создания модели самолета // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2021.

5. Павлюкова Н.Л., Волкова М.Ю. Применение компьютерных технологий 3-d моделирования в обучении инжинирингу машиностроительного производства // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2021. С. 329-332.

6. Малафеева И.А., Волкова М.Ю. Исследование формообразования с использованием программы блендер// В книге: Математическое моделирование и информационные технологии Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия -2022: Материалы конференции. 2022. С.104.

7. Волкова М.Ю., Малафеева И.А. Использование 3D принтера для моделирования и визуализации трехмерного объекта // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 14 апреля 2022 г. Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2022. С. 309.

УДК 621.787

М. Ю. Волкова, А. А. Ратнов, Н. Л. Павлюкова
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ МОДЕЛИ АВТОКРАНА НА БАЗЕ КРАЗ

Аннотация: Статья посвящена проблемам использования средств компьютерной инженерии при конструировании и создании макета автокрана на базе КРАЗ. Анализируется комплексное сочетание факторов, а также дублированный контроль результатов проектирования с учетом современных требований и тенденций, что позволяет в дальнейшем координировать процесс моделирования в макетном материале.

Ключевые слова: Модели лазерных контроллеров, компьютерная инженерия, эргономика, антропометрия, техническая эстетика, этапы проектирования, эвристический элемент проектирования.

M. Yu. Volkova, A. A. Ratnov, N. L. Pavlyukova

USING COMPUTER ENGINEERING TOOLS WHEN DESIGNING A CRANE MODEL BASED ON KRAZ

Abstracts: The article is devoted to the problems of using computer engineering tools in the design and creation of a truck crane model based on KRAZ. A complex combination of factors is analyzed, as well as a duplicated control of the design results, taking into account modern requirements and trends, which makes it possible to further coordinate the modeling process in the mock-up material.

Keywords: Models of laser controllers, computer engineering, ergonomics, anthropometry, technical aesthetics, design stages, heuristic design element.

Вопросы точного расчета и выполнения чертежей при конструировании машин и деталей с использованием компьютерных программ, в настоящее время достаточно актуальны. К ним относятся вопросы комплексного изучения ГОСТов, применение навыков инженерной графики, в том числе умение детальной проработки эскизов, моделирования и конструирования, а также точных макетных навыков. Использование средств компьютерной инженерии позволяет решать проблемы логики комбинаторного и оптимального формообразования в машинах и механизмах уже на стадии идеи в проектировании.

В рамках исследования была поставлена задача, включающая в себя комплексное изучение этапов проектирования с дальнейшей их реализацией. Выявлено, что объект проектирования состоит из большого количества деталей различной сложности. Поэтому, рисование эскизов, как эвристического элемента проектирования, позволило не только детально изучить объект моделирования, но и найти оптимальные проектные решения. Эскизирование в исследовательской практике дает возможность продумывать соединения, при необходимости упрощать форму сложных деталей. В дальнейшем такой подход позволяет вычерчивать продуманные оптимальные формы

© Волкова М. Ю., Ратнов А. А., Павлюкова Н. Л., 2023

в компьютерной программе. Для проведения этапа макетного изыскания и подготовки чертежей наиболее оптимальной стала программа CorelDraw. Как известно, CorelDRAW (Корел Дро) – это графический редактор, созданный для работы с векторными изображениями. В рамках исследовательской программы именно работа с векторными изображениями дала возможность создавать уникальные шаблоны деталей крана.

В результате последовательных экспериментов получен готовый файл с векторным рисунком. С помощью программы RDWorksV8, созданный файл был разделен на части. Затем на лазерном станке вырезаны все элементы будущей модели из фанеры толщиной 3 и 4 мм. Программа RdWorks являясь частью системы управления лазерного станка, с которой взаимодействует пользователь и где производится основная работа, включает в себя: контроллер, дисплей, соединительные кабеля, программу. Есть несколько поколений программного обеспечения совместимого с конкретной моделью лазерных контроллеров.

В настоящее время программа LaserWork (Rdworks) является частью системы управления Ruida для контроллеров RDLC 320a, RDC 430, RDC 6442, RDC 6445. RDWorks поддерживает следующие расширения: ai; dxf; plt; dst; dsb; pnt . Файлом, подготовленным в рамках эксперимента для лазерной резки, стал графический файл в формате cdr или dwg, представляющий собой совокупность векторных кривых.

При разработке конструкции автокрана обращалось внимание на соответствие функций отдельных элементов и их взаимодействие, что оказывает влияние на длительность эксплуатации с минимальной степенью износа деталей. Конструируемый автокран (рисунок) представляет собой макет, который можно, изменяя в программе масштабирование деталей, воспроизвести как прототип в виде сувенирной продукции, как изделия для расширения познавательных инженерных способностей и творческого потенциала детей, так и в виде наглядного пособия при изучении вопросов технической эстетики и эргономики.

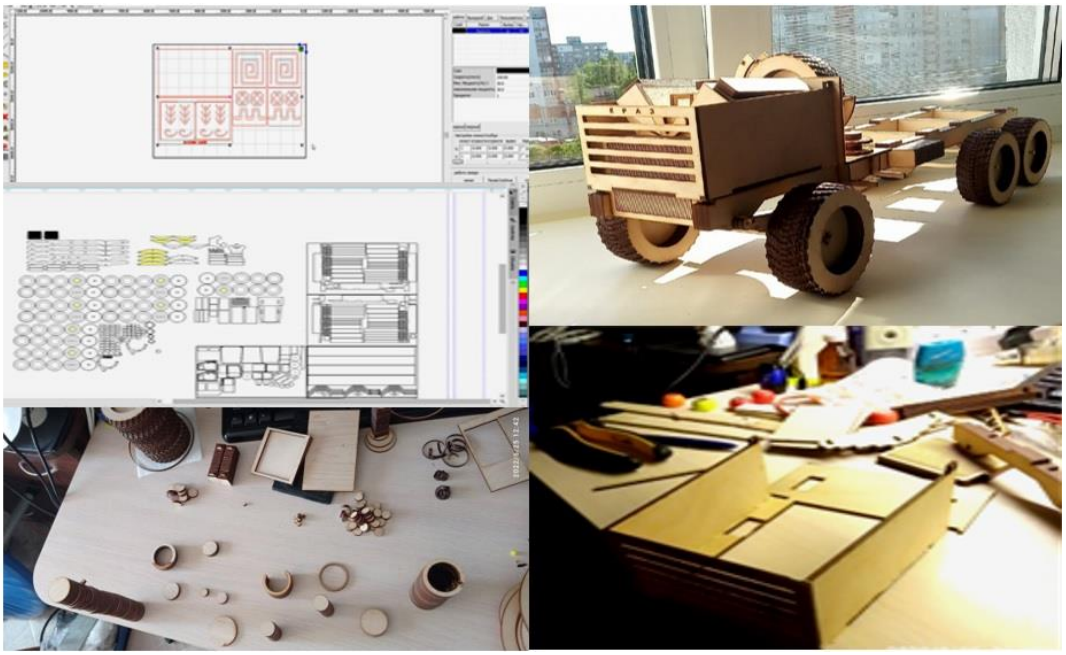


Рисунок. Варианты конструирования модели автокрана

Использование средств компьютерной инженерии позволяет не только решать на стадии проектирования вопросы пропорционирования и соединения деталей, динамики и статики целостного образа изделия; вопросы выбора материала (либо комбинаторики нескольких материалов), просчитывать варианты конструкции, но также разрабатывать системное и прикладное программное обеспечение.

Спроектированный автокран может служить как для изучения разделов макетирования, так и адаптивного изучения компьютерных программ на примере RDWorksV8. Программа RdWorks позволяет распознавать объекты, расположенные в зоне работы и ставить задачи по их обработке. Отмечено, что пользователю достаточно указать в видимой зоне камеры объект, который надо использовать для привязки и распознавания и относительно его станок начнет автоматически выполнять действия.

Разрабатываемая конструкция автокрана проектировалась с учетом современных требований и тенденций, сохраняя индивидуальные свойства с учетом современности, точности и лёгкости. Все детали имели масштаб 1:1, размер объектов в файле задавался в миллиметрах. Элементы, составляющие конструкцию автокрана на базе КРАЗ, полностью соответствовали стилизованным и масштабированным деталям действующих аналогов.

Выявлено, что концепция использования в проектировании, расчете и конструировании функциональных макетов требует не только знаний эргономики, антропометрии и технической эстетики, но и охватывает вопросы педагогики и возрастной психологии в профессиональном образовании промышленного дизайна. Комплекс работ, связанный с замыслом, проектированием и производством в материале технических макетов позволяет развивать конструкторские навыки, аналитическое мышление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова М.Ю. Моделирование вычислительного и аналитического проектирования механических систем // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. – Иваново: ФГБОУ ВО "Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России".– 2018. – С.51 – 53

2. Волкова М.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ // Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. Иваново, 2019.

3. Волкова М.Ю., Павлюкова Н.Л. Использование средств компьютерной инженерии при конструировании адаптационного тренажера // В сборнике: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Посвящается 30-й годовщине МЧС России и 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2020. С. 156-158.

4. Волкова М.Ю., Павлюкова Н.Л. Использование технической эстетики и средств инженерии при конструировании тренажеров для подростков // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2021. С. 194-197

5. Павлюкова Н.Л., Волкова М.Ю. Применение компьютерных технологий 3-d моделирования в обучении инжинирингу машиностроительного производства // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2021. С. 329-332

УДК 681.178 + 531.7.08

С. А. Гарелина, К. П. Латышенко
Академия гражданской защиты МЧС России

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Аннотация: В статье приведена реализация одного из способов уменьшения риска ЧС путём сокращения времени реагирования на чрезвычайную ситуацию путём разработки и использования мобильных технических средств. Приведена методика проектирования таких средств. В качестве примера такого подхода приведены результаты разработки мобильных средств локализации разлива нефтепродуктов, мобильного защитного средства пожарных от опасных факторов верхового лесного пожара, плазмохимического реактора утилизации отходов и производства при этом водорода и другой ликвидной продукции, воздушный шар со спасательным оборудованием и мобильный метрологический комплекс.

Ключевые слова: мобильное техническое средство, методика проектирования, разлив нефтепродуктов, защита от верхового лесного пожара, утилизация отходов, поиск заблудившихся, метрологический комплекс.

S. A. Garelina, K. P. Latyshenko

EXPERIENCE IN DEVELOPING MOBILE HARDWARE

Abstracts: The article presents the implementation of one of the ways to reduce the risk of an emergency by reducing the response time to an emergency situation through the development and use of mobile technical means. The method of designing such tools is given. As an example of such an approach, the results of the development of mobile means of localization of oil spill, a mobile protective device for firefighters from dangerous factors of a forest fire, a plasma chemical reactor for waste disposal and the production of hydrogen and other liquid products, a balloon with rescue equipment and a mobile metrological complex are given.

Keywords: mobile technical means, design methodology, oil spill, protection from riding forest fire, waste disposal, search for the lost, metrological complex.

Для повышения безопасности процесса, явления, объекта необходимо снизить риск ЧС. В соответствии с [1], за степень опасности чрезвычайной ситуации (далее – ЧС) принимают риск ЧС R, который равен произведению вероятности ЧС p на ожидаемый ущерб У, т.е.

$$R = p\text{У}. \quad (1)$$

© Гарелина С. А., Латышенко К. П., 2023

Разработано достаточно много методов и способов уменьшения (снижения) риска [2, 3], одним из которых является уменьшение времени реагирования на ЧС, что позволяет существенно снизить ущерб. Действительно, ущерб от ЧС У равен

$$У = \int_0^{\Delta t} S(t) c_i dt , \qquad (2)$$

где $S(t)$ – площадь распространения ЧС, га;

c_i – ущерб от ЧС на единице площади, руб.;

Δt – время реагирования на ЧС, с.

Из формулы (2) следует, что величину ущерба У можно снизить, в частности, за счёт сокращения времени от момента возникновения и обнаружения ЧС до начала ликвидации её последствий Δt.

Осуществить это можно, в частности, использованием мобильных технических средств (далее – МТС), которые можно быстро развернуть и использовать на месте ЧС, или интенсифицировав процесс ликвидации ЧС.

В данной работе рассмотрен вопрос разработки и использования МТС, в том числе мобильных средств защиты, для того, чтобы максимально быстро приступить к ликвидации как ЧС, так и её последствий.

Для этого была разработана методика оптимального проектирования МТС.

Она включает в себя следующие этапы.

Выбор принципа (способа, метода) работы МТС.

Выбор оптимальной структурной схемы МТС.

Выбор оптимальных параметров МТС.

Экономическая оптимизация разрабатываемого средства.

Создание МТС, определение реальных технических характеристик МТС и сравнение их с заданными. Если характеристики удовлетворяют техническому заданию, на этом разработка средства закончена, а если нет, то мы возвращаемся к началу и либо изменяем техническое задание, либо выбираем другой метод, новую структуру МТС и т.д. и повторяем проектирование до тех пор, пока не достигнем запланированных результатов.

Рассмотрим некоторые примеры разработки и применения МТС.

Большой экологический и материальный ущерб наносит разлив нефтепродуктов, хранящихся в соответствующих ёмкостях и резервуарах, при авариях на нефтепроводах, при транспортировке нефтепродуктов. При этом очень важно в минимально короткие сроки локализовать разлив. Если для локализации разливов нефтепродуктов на воде успешно используют боновые заграждения, то борьба с разливами на твёрдой поверхности вызывает трудности.

Для локализации разливов нефтепродуктов на твёрдой поверхности с использованием методики оптимального проектирования было разработано соответствующее устройство (рис. 1) [4, 5].

МТС для локализации разливов нефтепродуктов представляет собой складные многосекционные модули различной длины, которые изготовлены из металлической решётки. Шарнирные соединения обеспечивают подвижность секций. Соединение модулей в заграждение необходимой конфигурации осуществляют с помощью замков, соединяющих концевые секции модулей, которые также укомплектованы мягки-

ми фартуками для обеспечения герметичности соединений. Сверху решетчатые секции модулей покрывают гидроизолирующим покрытием, что позволяет сделать заграждение фильтрующим или изолирующим.

а *б*

Рис. 1. Модуль МТС:
а – сложенный «гармошкой» со снятым изолирующим (фильтрующим) покрытием;
б – развёрнутый, укомплектованный изолирующим (фильтрующим) покрытием
и сорбирующим матом для предотвращения локальных протечек

Поскольку МТС сделаны подвижными, модули можно складывать, перевозить и оперативно устанавливать путём растягивания (вытягивания из буксируемого транспортного контейнера), с приданием требуемой конфигурации (круг, квадрат, стенка и др.) на скорости передвижения транспортного средства по грунтовой поверхности (рис. 2).

а *б*

Рис. 2. Виды транспорта для доставки МЗС к месту применения:
а – контейнерный самосвал с гидроприводом наклона и снятия контейнера;
б – легкий транспортный прицеп с наклонным кузовом

Анализ параметров лесного пожара показывает, что наибольшую опасность для пожарных представляет лесной верховой пожар. При этом устройств, гарантированно защищающих пожарных от воздействия опасных факторов верхового пожара, не создано. С участием авторов [6, 7] было предложено и разработано в соот-

ветствии с методикой оптимального проектирования мобильное средство защиты пожарных от верхового пожара. Так, на втором этапе методики были экспериментально исследованы конкурентоспособные модели внешней формы МТС: куб, конус, полусфера, четырёхугольная пирамида и др., имеющие одинаковые габаритные размеры и сделанные из одного материала одинаковой толщины. В результате чего была выбрана сферическая форма. В качестве критерия оптимальности была использована минимальная температура на внутренней поверхности модели МТС при одинаковом внешнем температурном воздействии под разными углами (рис. 3).

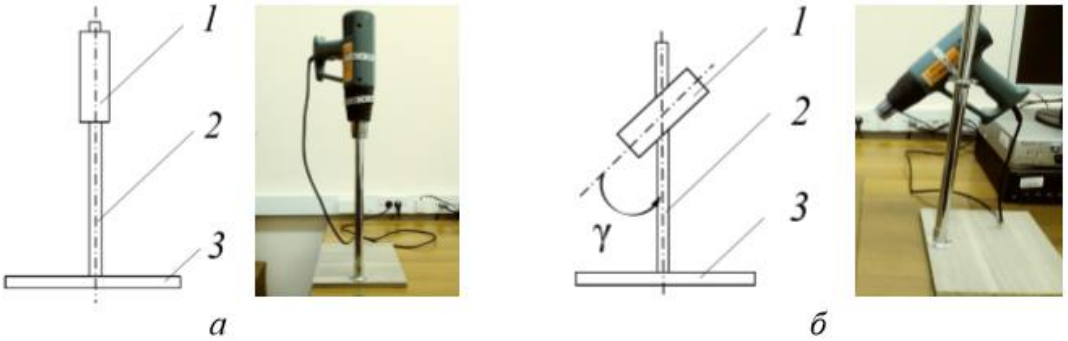


Рис. 3. Фиксация технического фена относительно стойки крепления:
а – при γ = 0°; *б* – при γ = 45°; *1* – технический фен; *2* – стойка крепления;
3 – подставка; γ – угол фиксации технического фена

В результате теоретических и экспериментальных исследований было разработано МТС защиты пожарных от воздействия опасных факторов верхового лесного пожара (рис. 4), а также определены массогабаритные параметры МТС вместимостью от трёх до пяти человек.

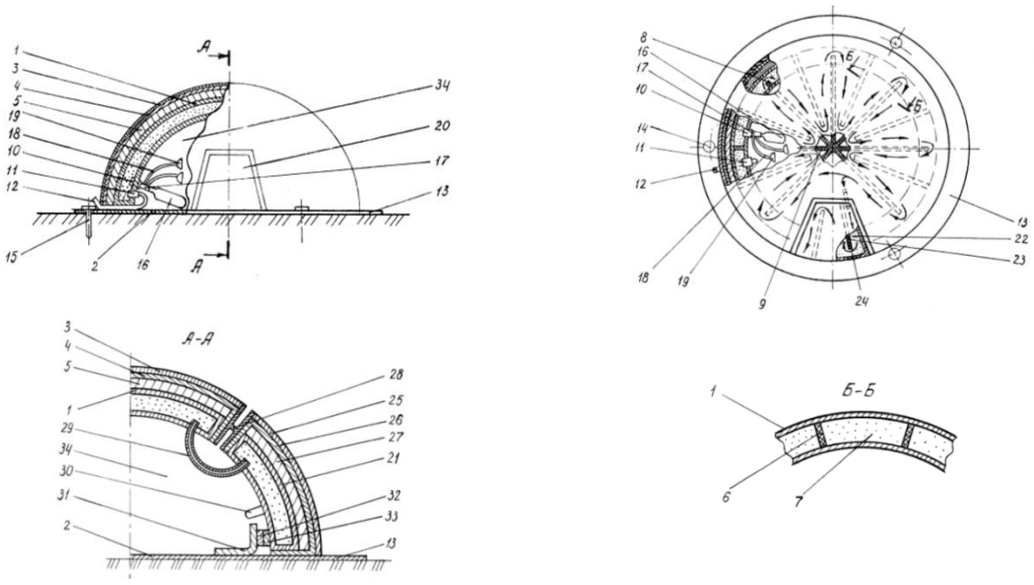


Рис. 4. Мобильное средство защиты людей
от теплового воздействия лесного пожара

Разработанные МТС позволяют транспортировать их в таких специальных автомобилях, как АЦ-5,8-40, АЦ-6,0-40. В течение времени воздействия опасных факторов верхо-

вого лесного пожара разработанные МТС обеспечивают укрываемому экипажу безопасный микроклимат в его внутреннем пространстве.

Прогресс человечества сопровождается непрерывным ростом отходов, в том числе опасных. Их рост сопровождается как увеличением числа полигонов, где захоранивают отходы, так и увеличением их площади, что сопровождается выделением вредных и отравляющих веществ в атмосферу, воду и почву, пожарами и пр. Сегодня самым распространённым методом уничтожения отходов является их сжигание, что не делает нашу атмосферу лучше.

Для переработки (утилизации), а не для сжигания отходов, был разработан [8, 9] реактор по переработке отходов (рис. 5).

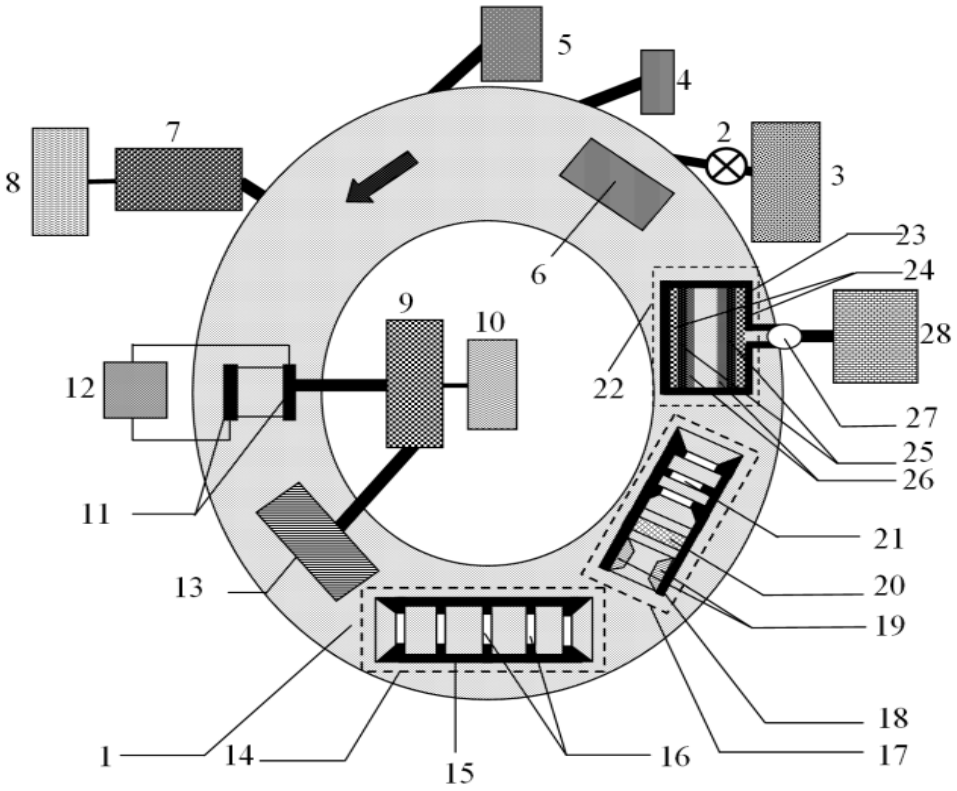


Рис. 5. Принципиальная схема реактора по плазмохимической переработке отходов:
1 – реакционная камера; *2* – вентиль; *3* – баллон, содержащий инертный газ;
4 – вакуумметр; *5, 6* – насосы; *7* – резервуар, заполненный ОГС; *8* – нагреватель-холодильник; *9* – резервуар, заполненный реагентами; *10* – нагреватель;
11 – разрядное устройство; *12* – блок питания; *13* – термостатированный участок;
14 – съёмный узел для удаления конденсирующихся продуктов; *15* – модуль узла удаления конденсирующихся продуктов; *16* – диафрагмы; *17* – съёмный узел удаления монооксида углерода; *18* – модуль узла удаления монооксида углерода;
19 – металлическая вставка; *20* – фильтр; *21* – система конденсации карбонила металла;
22 – съёмный узел удаления водорода; *23* – модуль узла удаления водорода; *24* – мембрана;
25 – сетка; *26* – нагреватель мембраны; *27* – насос; *28* – резервуар для сбора водорода

В соответствии с приведённой методикой сначала был выбран метод плазмохимической переработки отходов.

После этого была выбрана структура МТС-реактора.

Затем проведено математическое моделирование процессов, которые протекают в разрядном устройстве. С использованием полученных математических моделей была проведена параметрическая оптимизация режимов работы реактора по критерию максимального КПД его работы.

Таким образом, удалось разработать плазменный реактор по утилизации отходов, который позволяет перерабатывать отходы в водород и другую ликвидную продукцию.

Обоснованные параметры МТС по переработке отходов обеспечивают производительность водорода, сравнимую с производительностью стационарных промышленных установок. Производительность мобильных установок сравнима с производительностью водорода традиционным электролизным методом, а энергетические затраты при этом в 1,5–2 раза ниже.

Число заблудившихся и потерявшихся в лесу людей растёт [10]. Даже в таком густонаселённом регионе, как Подмосковье, каждый год теряется около 1000 человек, из которых находят около 70 %.

Писк заблудившихся людей относят к аварийно-спасательным работам.

Нами было предложено воздушное МТС для поиска заблудившихся в лесу людей. Он представляет собой привязной аэростат, в корзине которого смонтировано следующее оборудование (рис. 6):

– лазерная указка EXTREME LASERS MINI 650RSX150, видимость света до 100 км, масса – 690 г;

– рупорный громкоговоритель 12ГР-41 весом 2 кг, размерами 204×262 мм;

– проблесковые маячки массой составляет от 1 – 1,5 кг;

– усилитель сигнала сотовой связи Titan-900 PRO с площадью действия 1200 м^2, суммарная масса комплекта – 3 кг;

– гибкие солнечные батареи TOPRAY Solar. При мощности 50 Вт масса батареи 1,1 кг и размеры 570×598×2,5 мм, а при 80 Вт –1,9 кг и 975×570×2,5 мм;

– трос крепления воздушного комплекса к вездеходу – синтетический трос Plasma диаметром 8 мм с усилием на разрыв 5318 кг, масса 100 м троса – 3,7 кг.

а *б* *в*

Рис. 6. Оборудование воздушного МТС:
а – рупорный громкоговоритель 12ГР-41;
б – гибкий солнечный модуль TOPRAY Solar 50 Вт; *в* – комплект (репитер) Titan-900 PRO

Подобранное оборудование весит 21 кг, поэтому для его подъёма требуется шар, наполненный гелием, объёмом 19 м^3 (R = 1,7 м) (рис. 7).

Расчёты показывают, что для обеспечения дальности видимости 45 км высота подъёма воздушного шара должна составлять 100 м [11].

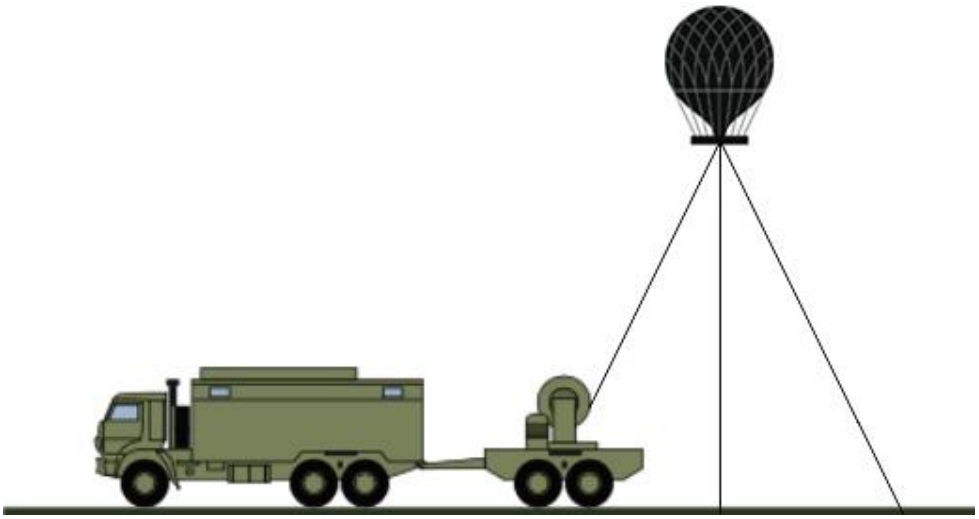


Рис. 7. Крепление воздушного комплекса к подвижной платформе

Технический прогресс привёл к использованию подразделениями МЧС России большого количества средств измерений (далее – СИ), которые нуждаются в регулярном метрологическом обслуживании и поверке.

Метрологическое обслуживание СИ не в региональных центрах, например, в ЦБИТ (Центральном бюро измерительной техники МЧС России), а в местах дислокации подразделений имеет множество преимуществ.

В метрологических лабораториях МЧС России в настоящее время эксплуатируют следующие мобильные метрологические комплексы:

КРИЛ-2 – контрольно-ремонтная измерительная лаборатория;

ПЛИТ-А3-2 – подвижная лаборатория измерительной техники;

КИП-У-1 – контрольно-измерительный пункт (рис. 8);

ПРХМ-1М – подвижная ремонтно-химическая мастерская;

ПМЛ – подвижная метрологическая лаборатория.

Рис. 8. Мобильный контрольно-измерительный пункт КИП-У1

С учётом опыта эксплуатации таких МТС было предложено:

базовый автомобиль должен быть предназначен для движения по автодорогам с твёрдым покрытием вследствие расположения подразделений МЧС России в крупных и средних населённых пунктах;

компоновка салона-лаборатории должна предусматривать размещение не менее двух рабочих мест одновременно;

рабочие места должны быть оснащены средствами автоматизации и доступа к интернету;

в состав комплекса целесообразно включить палатку (пневмокаркасный модуль) для развёртывания рабочих мест по поверке СИ ионизирующих излучений и ядерных констант;

предусмотреть возможность транспортировки и хранение источников ионизирующих излучений с учётом обеспечения радиационной безопасности;

номенклатуру рабочих эталонов необходимо расширить для проведения метрологического обслуживания СИ медицинского назначения, СИ физико-химического состава и свойств веществ;

электропитание от распределительных щитов внешних сетей трёхфазного тока частотой 50 ± 1,0 Гц напряжением 380 ± 38 В или 220 ± 22 В, а также электрогенератора;

система кондиционирования должна обеспечивать температуру в салоне 20 ± 5 °С при изменении температуры наружного воздуха от –40 до +40 °С.

Использование мобильных метрологических комплексов метрологических подразделений МЧС России играет важную роль в обеспечении единства и требуемой точности измерений [12].

Выводы.

1. Использована такая количественная оценка ЧС, как её риск и предложено для снижения риска использовать мобильные технические средства, позволяющие максимально быстро приступить к ликвидации ЧС и её последствий.

2. Приведена методика оптимального проектирования мобильных технических средств.

3. Разработано мобильное техническое средство для уменьшения площади разливов нефтепродуктов.

4. Разработано мобильное техническое средства защиты пожарных от опасных факторов верхового лесного пожара.

5. Разработано мобильного техническое средства для уничтожения и переработки отходов с производством водорода и другой ликвидной продукции.

6. Предложено использовать для поиска потерявшихся в лесу людей мобильное техническое средство на базе воздушного шара с прикреплённым к нему световому, акустическому и телекоммуникационному оборудованию.

7. Рассказано о создании передвижного мобильного комплекса метрологического обеспечения подразделений МЧС России в местах их дислокации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55059–2012 БЧС. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения.

2. Каракеян, В.И. Организация безопасности в чрезвычайных ситуациях / В.И. Каракеян, И.М. Никулина. – М.: Юрайт, 2023. – 120 с.

3. Заворотный, А.Г. Организация и ведение аварийно-спасательных работ в 2 ч. Ч. 1 / А.Г. Заворотный, А.В. Фирсов, А.Н. Калайдов и др. – М.: АГПС МЧС России, 2020. – 415 с.

4. Гарелина С.А., Латышенко К.П., Скрынников А.Ю., Сергеев И.А., Баринов А.В. К вопросу снижения ущерба от разливов нефти и нефтепродуктов Ч. 1. Актуальность разработки мобильных средств локализации разливов нефти и нефтепродуктов // Сб. н. тр. Академии. Проблемы развития гражданской обороны и защиты населения. – Химки: АГЗ МЧС России, 2022. Вып. 15. – С. 203 – 208.

5. Гарелина С.А., Латышенко К.П., Скрынников А.Ю., Сергеев И.А., Малинин Р.С. К вопросу снижения ущерба от разливов нефти и нефтепродуктов Ч. 2. Конструктивные требования к мобильному средству для локализации разливов нефти и нефтепродуктов // Сб. н. тр. Академии. Проблемы развития гражданской обороны и защиты населения. – Химки: АГЗ МЧС России, 2022. Вып. 15. – С. 209 – 216.

6. Гутовский А.В. Влияние изменения состава воздуха на время безопасного нахождения человека в замкнутом пространстве / А.В. Гутовский, К.П. Латышенко, С.А. Гарелина // Проблемы развития гражданской обороны и защиты населения: Сб. н. тр. Академии. – Химки: АГЗ МЧС России, 2019. № 12. – С. 90 – 94.

7. Мобильное средство защиты людей от лесного пожара // Патент России № 2683736. 2019. Бюл. № 10 / Гутовский А.В., Гомонай М.В.

8. Васильева Н.Н., Гарелина С.А., Климовский И.И. Реактор для переработки пластмассовых отходов и токсичных галогеносодержащих органических соединений (Варианты). Патент на полезную модель № 33538 (RU 33538 U1). 27.06.2003.

9. Васильева Н.Н., Гарелина С.А., Климовский И.И. Газофазный реактор по переработке галогенсодержащих ТОС в водород и другие нетоксичные вещества // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 11 (55). – С. 98 – 108.

10. А. Майоров. Опасный грибной сезон: как ищут заблудившихся в лесу // НТВ в Яндекс. Дзен. 07.2019.

11. Гарелин Н.И., Латышенко К.П., Терехова Г.А. Мобильный воздушный комплекс для МЧС России // Сб. тр. секции № 3 XXX межд. н-практ. конф. «Предотвращение, спасение, помощь». – Химки: АГЗ МЧС России, 2020. – С. 21 – 24.

12. Гарелина С.А., Дементьев Е.С., Латышенко К.П. Передвижные метрологические комплексы в системе МЧС России / VIII Всеросс. н.-практ. конф. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – С. 42 – 48.

УДК 614.846

В. Я. Гладченко, И. А. Ольховский
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЧИ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ ТОНКОРАСПЫЛЁННОЙ ВОДОЙ ПРИ ПОЖАРАХ НА ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация: В данной статье рассмотрены методы определения параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой при пожарах на общественном транспорте, проведен их анализ и выбраны наиболее эффективные для вычисления параметров установок.

Ключевые слова: Общественный транспорт, тушение пожаров, тонкораспыленная воды, пожарная нагрузка, интенсивность подачи.

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE SUPPLY OF FIRE EXTINGUISHING INSTALLATIONS WITH THINLY SPRAYED WATER IN CASE OF FIRES ON PUBLIC TRANSPORT

V. Ya. Gladchenko, I. A. Olkhovsky

Abstracts: In this article, the methods of finding the parameters of automatic fire extinguishing installations with thinly sprayed water in case of fires on public transport are considered, their analysis is carried out and the most effective methods for calculating the parameters of installations are selected.

Keywords: Public transport, fire extinguishing, thinly sprayed water, fire load, intensity of supply.

В настоящее время является актуальным вопрос пожаров пассажирского транспорта на отечественных дорогах. Анализ причин показывает, что около 70 % пожаров происходит из-за неисправности электрооборудования, повреждения топливопроводов и т.д. Одновременно с этим причинами пожара в транспорте могут быть возгорание обшивки сидений вследствие неаккуратного обращения с огнем (например, курение в салоне), возгорание легковоспламеняющихся веществ во время перевозки или неправильная эксплуатация газового оборудования.

В автобусах применяются модули порошкового и аэрозольного пожаротушения. В данных модулях в качестве огнетушащего вещества используются аэрозоли и инертные газы, например, углекислый газ. При тушении в объеме помещения формируется газоаэрозольная среда, которая может оказывать непереносимое токсическое воздействие уже в первые минуты пребывания в ней человека. Использование огнетушителей при возгорании в автобусе неэффективно, так как при обнаружении очага пожар уже находится в стадии развитого. В связи с этим можно отметить, что по этим причинам автобус выгорает в течение 5 минут после возникновения пожара.

© Гладченко В. Я., Ольховский И. А., 2023

Решением является интеграция в общественный транспорт автоматической установки пожаротушения тонкораспылённой водой (ТРВ).

Для того чтобы начать проектирование данной установки, требуются основные параметры:

– Интенсивность подачи ТРВ, л/(с·м^2);

– Расход ТРВ одного оросителя, л/с;

– Объём огнетушащего вещества, м^3;

– Защищаемый объём одним оросителем, м^3.

Для того чтобы определить данные параметры, требуется определить требуемую интенсивность расхода ТРВ на тушения салона общественного транспорта.

Данные по интенсивности для автоматических установок пожаротушения ТРВ можно найти в разделе 6.4 СП 485.1311500.2020, но данные в существующем Своде Правил распространяется только на здания и сооружения.

В справочнике Руководителя тушения пожара есть данные по интенсивности подачи распылённой воды из ручного ствола, что не подходит по причине неподходящей дисперсности капель, образуемых ручными стволами.

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют данные по интенсивности подачи ТРВ в салоне общественного транспорта.

Рассмотрим существующие методики вычисления интенсивности подачи ТРВ.

Для начала разберём методику, описанную в [2]. Согласно п.7.23 нормативная интенсивность рассчитывается по формуле 1:

$$I_{\text{н}} = \frac{g_{\text{под}}}{t \cdot f}, \quad (1)$$

где: $g_{\text{под}}$ - объем воды, собранный в поддоне за время работы установки в установившемся режиме, л;

t - продолжительность работы установки, с;

f - площадь поддона, равная 0,25 м^2.

Следующая методика расчёта описана в [4]. Данной методикой предусматривается экспериментальное определение нормативной интенсивности подачи распылённой воды, при которой ещё возможно тушение по формуле 2 и интенсивность подачи распылённой воды из оросителя по формуле 3:

$$I_{\text{н}} = \text{К}_{\text{з}} \cdot I_{\text{кр}}, \quad (2)$$

где: $I_{\text{н}}$ - нормативная интенсивность подачи воды, л/(м^2· с);

$\text{К}_{\text{з}}$ - коэффициент запаса надёжности;

$I_{\text{кр}}$ – критическая интенсивность подачи воды, л/(м^2· с).

$$I_{\text{орос}} = \frac{G}{S \cdot \tau}, \quad (3)$$

где: G – масса подачи воды, г; S – площадь ёмкости, м^2; τ – время отбора воды, с.

Критическую интенсивность подачи воды, в свою очередь, определяют экспериментально на установке, изображённой на рис. 1.

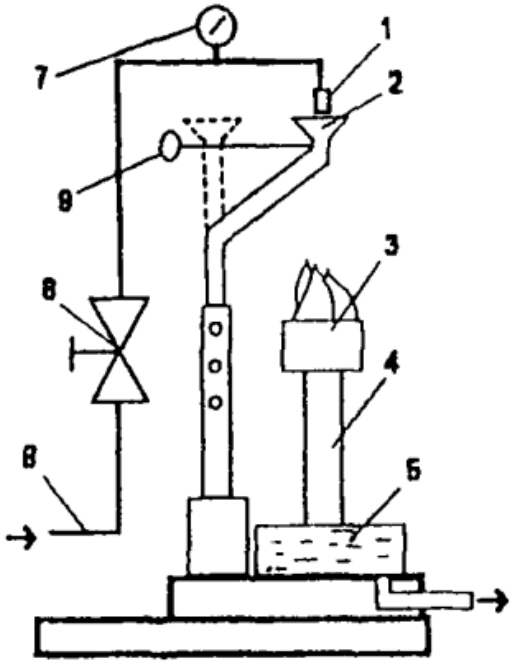


Рис. 1. Схема установки
для экспериментального определения
нормативной интенсивности
подачи распылённой воды:
1 - распылитель; 2 - отсекатель;
3 - противень; 4 - опора под горелку;
5 - поддон для слива, 6 - вентиль;
7 - манометр; 8 - водопитатель; 9 - тяга

Проведение эксперимента подробно описано в данной Методике.

Существует также «Руководство по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспылённой водой. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004», что является актуализированной версией «Методики определения интенсивности подачи распылённой воды при тушении пожаров горючих веществ и материалов в помещениях экспресс-методом, применительно к спринклерно-дренчерным системам пожаротушения (№ 54-80).- М.: ВНИИПО, 1980. – 16 с». В связи с этим методики расчёта интенсивности подачи ТРВ идентичны [6].

Следующая методика определения интенсивности подачи распылённой воды описана в [7]. Интенсивность определяется по формуле 4:

$$I_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot F_{\text{сум}} \cdot (T_{\text{ф}} - \text{Т}_{\text{кип}})}{S_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}}} \qquad (4)$$

где: α – коэффициент теплоотдачи Дж/(с·м^2·К);

$F_{\text{сум}}$ – минимальная суммарная площадь поверхностей капель, м^2;

$T_{\text{ф}}$ – температура горения вещества, К;

$\text{Т}_{\text{кип}}$ – температура кипения воды, К;

$S_{\text{п}}$ – площадь поверхности горения, м^2;

$Q_{\text{в}}$ - удельная теплота испарения воды, кДж/кг.

Данная методика учитывает вид горючей нагрузки и дисперсности капель распылённой воды, что выражается в теплоотдаче горючего материала и теплоте испарения воды, то есть с уменьшением диаметра капель растет интенсивность теплообмена с продуктами горения и увеличивается теплоотвод из факела пламени.

Таким образом, можно сделать вывод, что для расчёта интенсивности подачи автоматических установок пожаротушения ТРВ требуется установить характеристики пожарной нагрузки орошаемого объекта, затем вычислить минимальный эффектив-

ный диаметр капель ТРВ, что позволит определить требуемую интенсивность подачи ТРВ на данную пожарную нагрузку.

Далее рассмотрим методики определения расхода тонкораспылённой воды на тушение пожаров твердых горючих материалов.

Согласно ГОСТ Р 53288-2009 [3] метод заключается в определении массы воды и газа, вышедших из оросителя за единицу времени, тогда средний расход ТРВ из оросителя вычисляют по формуле 5:

$$q = \frac{m_{\text{в}} + m_{\text{г}}}{t}, \text{кг/с} \tag{5}$$

где: $m_{\text{в}}$ – масса вышедшего огнетушащего вещества, кг;

$m_{\text{г}}$ – масса вышедшего газа, кг;

t – время выхода огнетушащего вещества, с.

Данная методика применима только для модульных установок пожаротушения ТРВ, так как определяет расход ТРВ как для газовой установки тушения объёмным способом.

Согласно [6], в качестве нормативного значения удельного расхода обычно принимают величину, близкую к минимальному значению удельного расхода, что вычисляется по формуле 6:

$$q_{\text{уд}} = k q_{min}\ , \text{л/с} \tag{6}$$

где: k – коэффициент запаса;

q_{min} – значение удельного расхода воды, ниже которого тушение не происходит или продолжительность тушения превышает 10 мин.

Таким образом, для вычисления расхода данным методом требуется знать значение минимального удельного расхода воды, что так же следует вычислять, либо получать значения натурными экспериментами.

В [7] была получена зависимость для ординарных пожаров твердых горючих материалов, которая вычисляется по формуле 7:

$$\log_{10} q_{\text{уд}}^{\text{тр}} = 1{,}1 \log_{10} F_{\text{п}} - 0{,}203 \tag{7}$$

где: $q_{\text{уд}}^{\text{тр}}$ – требуемый удельный расход подачи огнетушащего вещества, л/с;

$F_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2.

Далее проведя вычисления логарифмов, получим:

$$q_{\text{уд}}^{\text{тр}} = \frac{F_{\text{п}}^{1,1}}{1{,}59588} \tag{8}$$

Таким образом, зная площадь пожара, можем вычислить требуемый удельный расход подачи огнетушащего вещества.

Подводя общий итог, можно сделать вывод, что для расчёта параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой при пожарах на общественном транспорте следует учитывать пожарную нагрузку, находящуюся в объ-

ёме салона общественного транспорта, дисперсность капель ТРВ, получаемая в результате распыления через ороситель и площадь возгорания (пожара).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 485.1311500.2020 «СПЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».

2. ГОСТ Р 50680-94 «Установки водяного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний».

3. ГОСТ Р 53288-2009 «Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические Модульные установки пожаротушения тонкораспыленной водой автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний».

4. Методика определения интенсивности подачи распылённой воды при тушении пожаров горючих веществ и материалов в помещениях экспресс-методом, применительно к спринклерно-дренчерным системам пожаротушения (№54-80). – М.: ВНИИПО, 1980. – 16 с.

5. Методические указания по определению эффективности тушения распыленной водой твердых горючих материалов - М.: ВНИИПО, 1974. - 8 с.

6. Руководство по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспылённой водой.- М.: ФГКУ ВНИИПО МЧС России, 2004.

7. И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» - Учебное пособие: ВИПТШ МВД России, 1980. – 256 с.

УДК 614.843.27

П. А. Деев, П. В. Пучков
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО ХОМУТА

Аннотация: в статье описывается конструкция устройства, предназначенного для создания проволочного хомута для фиксации различных шлангов и рукавов в пневматических и гидравлических системах. Разработанное устройство позволит создавать самодельные проволочные хомуты любого диаметра из проволоки различного сечения. К достоинствам приспособления можно отнести простоту конструкции, универсальность и компактность.

Ключевые слова: шланг, рукав, проволока, фиксация, проволочный хомут, обслуживание, ремонт

P. A. Deev, P. V. Puchkov

A DEVICE FOR CREATING A WIRE CLAMP

© Деев П. А., Пучков П. В., 2023

Abstracts: the article describes the design of a device designed to create a wire clamp for fixing various hoses and hoses in pneumatic and hydraulic systems. The developed device will allow you to create homemade wire clamps of any diameter from wire of various cross-sections. The advantages of the device include simplicity of design, versatility and compactness.

Keywords: hose, sleeve, wire, fixing, wire clamp, maintenance, repair

В настоящее время для ремонта машин и механизмов мастером используется большое количество разнообразного инструмента и оснастки. Для соединения рукавов и шлангов в пневматических и гидравлических системах автомобилей достаточно часто применяют металлические хомуты – стяжки различных конструкций. Наиболее популярными являются металлические червячные хомуты с просечной лентой для закрепления труб и шлангов диаметром от 8 до 100 мм (рис.1).

Рис. 1. Хомут червячный металлический с просечной лентой

Рис. 2. Проволочный хомут, созданный с помощью «Хомутателя» адвоката Егорова

При отсутствии во время ремонта под рукой хомута нужного размера его можно изготовить самостоятельно, используя специальную оснастку. Для создания проволочного хомута, например, из стальной вязальной проволоки (рис. 2) используют самодельные приспособления «Хомутатели». Наиболее широко известен «Хомутатель» адвоката Егорова. Достоинством данного приспособления является его компактность, простота конструкции и универсальность. Единственным недостатком «Хомутателя» является отсутствие приспособления для откусывания куска проволоки нужной длины, из которой в последствии изготавливается проволочный хомут. По этой причине по мимо самого приспособления для создания проволочного хомута, необходимо иметь под рукой и торцевые кусачки или бокорезы.

В данной статье предлагается техническое решение, направленное на повышение универсальности «Хомутателя» адвоката Егорова, за счет дооснащения его корпуса простейшим устройством «Перекусывателем» проволоки. Конструкция усовершенствованного приспособления для создания проволочного хомута представлена на рис. 3. Принцип работы данного приспособления ничем не отличается от принципа работы «Хомутателя» адвоката Егорова.

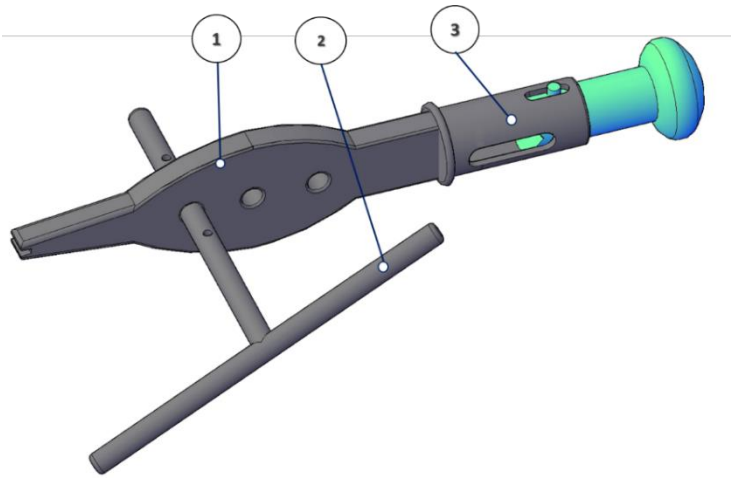
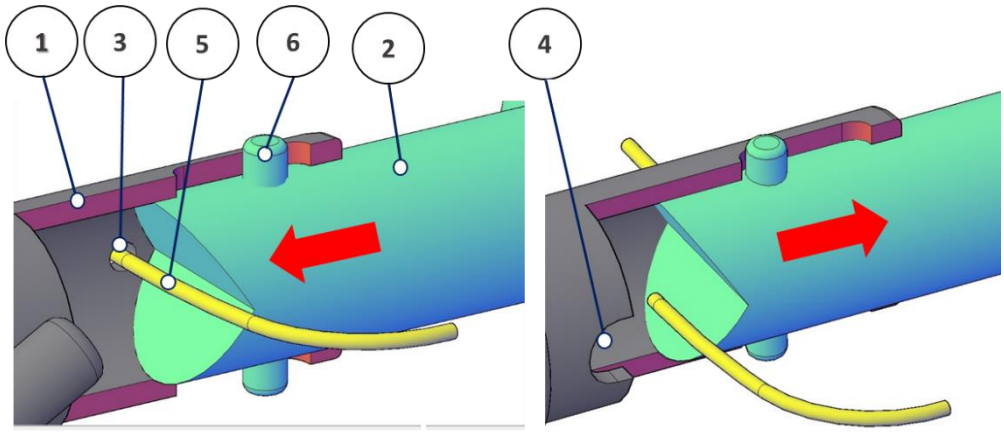


Рис. 3. Приспособление для создания проволочного хомута с «Перекусывателем» проволоки: 1- Корпус (упор); 2- «Т» - образный натяжитель; 3 - «Перекусыватель» проволоки

Конструкция «Перекусывателя» проволоки состоит из трех деталей: корпуса (1), бойка (2) и ограничителя хода бойка (6) (рис.4). Корпус приспособления представляет из себя стальную трубку круглого сечения. В трубку вставлен металлический цилиндрический стержень - боек с «V» - образной режущей частью. На боковой поверхности корпуса имеется отверстие диаметром 2 мм для перекусывания проволоки. Отделение от мотка проволоки куска необходимой длины происходит следящим образом. Конец проволоки (5), пропускается через отверстие (3) корпуса (1), а на боёк с «V» - образной режущей частью (2) прикладывается усилие (рис. 4а). Боёк движется вперед до упора ограничителя (6) в результате чего происходит чистый срез проволоки. Затем боек возвращается в исходное положение (рис. 4б).



а) б)

Рис. 4. Конструкция «Перекусывателя проволоки»:
1 – втулка; боёк с «V»-образной режущей частью; 3- отверстие для установки проволоки;
4 – окно для удаления проволоки; 5 - проволока;
6 – ограничитель хода бойка: а – рабочий ход бойка; б – «холостой» ход бойка

Рассчитаем усилие, которое необходимо создать в «Перекусывателе» проволоки, для перекусывания стальной вязальной проволоки диаметром 1,0 мм, изготовленной из стали марки Ст2. Допускаемое напряжение (при статической нагрузке) на чистый срез для данной марки стали составляет $[\tau_{ср}] = 70$ МПа. Для расчета усилия воспользуемся формулой:

$$F=4\tau_{ср}/\pi d^2 i, \quad (1)$$

где F – поперечная сила, Н;
$\tau_{ср}$ – допускаемое напряжение среза, МПа;
d – диаметр проволоки, мм;
i – число поверхностей среза, шт.
В результате несложных расчетов получим усилие среза равное 89,2 Н.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучков П.В., Бикмурзин М.Н. Разработка конструкции устройства для обслуживания пожарных Рукавов. Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XIV международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей и адъюнктов (аспирантов, соискателей) ученых.: в 2-х томах. Т. 1. – Минск: УГЗ, 2020. – С. 197-198.

2. Пучков П.В., Долотин Г.А. Разработка конструкции станка для навязки пожарных рукавов на соединительные головки. Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 29—30 ноября 2018 г. Часть I. - Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. - С. 472-474.

3. Пучков П.В. Приспособление для быстрой и безопасной скатки пожарных напорных рукавов. Материалы двадцать седьмой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018» / Под общей редакцией д-ра техн. наук, профессора Топольского Н.Г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. С. 180-183.

4. Иванов Д.В., Киселев В.В. Оценка показателя надежности пожарной техники / В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 41-43.

5. Кальмагаев Ю.А., Ключихин И.С., Киселев В.В., Ковалев С.В. Повышние надежности пожарной техники за счет качественной организации ее ремонта и технического обслуживания / В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 84-87.

6. Иванов В.Е. Снижение металлоемкости конструкции средствами Autodesk Inventor // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 427-429.

УДК 620.193

В. Е. Жуков, В. П. Зарубин
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ОТ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

Аннотация: в статье рассмотрен вопрос предупреждения пожаров в сельской местности от неконтролируемого сжигания травы; изучены способы удаления сухой травы и способы прокладки минерализованных полос; рассмотрены механизированные устройства выполняющие работы по прокладке минерализованных полос; предложена конструкция навесного агрегата для удаления сухой травы и мелкой растительности на трактор малого и среднего тягового класса.

Ключевые слова: минерализованная полоса, защита от пожара, ландшафтный пожар, навесной мульчер.

V. E. Zhukov, V. P. Zarubin

ON THE ISSUE OF PROTECTION OF SETTLEMENTS IN RURAL AREAS FROM LANDSCAPE FIRES

Abstract: the article deals with the issue of preventing fires in rural areas from uncontrolled burning of grass; methods of removing dry grass and methods of laying mineralized strips are studied; mechanized devices performing work on laying mineralized strips are considered; the design of a mounted unit for removing dry grass and small vegetation on a tractor of small and medium traction class is proposed.

Keywords: mineralized strip, fire protection, landscape fire, mounted mulcher.

Как известно пожары представляют непосредственную опасность для человеческого организма. В результате действия огня и дыма, а также косвенных последствий пожара люди теряют здоровье и жизнь, наносится материальный ущерб, ухудшается экологическая обстановка. Это указывает на то, что с пожарами необходимо бороться, а в лучшем случае их предупреждать. Профилактика возникновения пожаров поможет сохранить как материальные ценности, так и здоровье человека.

В анализе обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 2022 год [1] представлена обстановка по группам объектов и причинам их возникновения из которой можно сделать заключение, что более 50 % пожаров происходит на открытых территориях. Причинами возникновения пожаров в большей степени (65,26 %) является не осторожное обращение с огнем. Рассматривая динамику возникновения пожаров в течении года, можно отметить возрастание количества пожаров на открытых территориях в весенний период. Причиной тому служит не контролируемое сжигание сухой травы и разведение костров. Пал травы наносит вред не только природной экосистеме, но и непосредственно имуществу и здоровью людей.

© Жуков В. Е., Зарубин В. П., 2023

Самым эффективным средством минимизации возникновения пожаров от сжигания сухой травы является профилактика. Отсутствие продукта горения или максимальное его уменьшение снизит процент возникновения пожара. В областях с активным ведением сельского хозяйства, в частности животноводства и земледелия количество необработанных территорий с бурьяном и сухой растительностью в весенний период минимально. А на территориях, где трава не скашивается и не убирается, чаще возникают пожары которые наносят колоссальный вред населенным пунктам в сельской местности. Таким образом, проведение своевременных работ по очистке территорий вокруг населенных пунктов в сельской местности от сухой растительности является важной и актуальной задачей. Также, к вопросу предотвращения и минимизации распространения ландшафтных пожаров относятся работы по прокладке минерализованных полос вокруг лесных массивов.

Значительные территории и потребность прокладки минерализованных полос большой протяженности требует применения специального механизированного транспорта и прицепного или навесного оборудования. Обзор оборудования для образования защитных полос вокруг лесных массивов позволяет сделать заключение, что самым распространенным является опашка территорий специальными плугами и культиваторами (рис. 1).

Рис. 1. Прокладка минерализованных полос с помощью тяжелой техники

Необходимость и эффективность проведения таких работ не вызывает сомнений. Однако стоит отметить, что в некоторых случаях прокладка защитных полос не возможна, а в других случаях требует значительных затрат времени и финансовых средств. Кроме того, распашка в близи населенных пунктах или, особенно на их территории, портит ландшафт и общий вид. Одним из эффективных способов предупреждения возгорания сухой травы, вблизи или на территории населенных пунктов в сельской местности, является ее своевременное скашивание. Для этих целей существует большой ряд сельскохозяйственных машин и агрегатов (рис. 2).

Рис. 2. Сельскохозяйственные машины для скашивания травы

Назначение такого рода машин заключается в скашивании зеленой травы, укладки ее на скошенной поверхности в валки или сплошным слоем с дальней обработкой, сбором и транспортировкой к месту хранения, или скармливания сельскохозяйственным животным [2]. Проведение таких работ не только решает ряд сельскохозяйственных задач, но и положительно отражается на противопожарной обстановке. Но с упадком сельского хозяйства в некоторых регионах, заготовка кормов значительно снизилась, трава на полях не скашивается на протяжении нескольких лет, это представляет угрозу и может привести к возникновению ландшафтных пожаров. Частично решить указанную проблему, и защитить населенные пункты в сельской местности от возможного возникновения пожара, в результате сжигания сухой травы, позволит проведение ряда работ по уборке прошлогодней травы с помощью применения специальных измельчителей. Использование косилок для скашивания сухостоя многолетних трав не производительно и не целесообразно. Агрегаты косилок забиваются, режущие аппараты выходят из строя. Измельчители и мульчеры имеют иной способ удаления травы и кустарников. Рабочими органами таких агрегатов являются специальные молотки или цепи, вращающиеся с высокой скоростью и разбивающие растительность на мелкие части (рис. 3).

Рис. 3. Мульчер навесной

После прохождения таких агрегатов остается ровная поверхность без растительности и отвалов земли. Скорости работы мульчеров сопоставимы со скоростью вспашки или культивации. Ширина обрабатываемой поверхности зависит от конструкции устройство, но в большинстве случаев равна или превышает ширину минерализованных полос, получаемых плугами. Кроме этого, стоит отметить, что навесные измельчающие устройства могут агрегатироваться с тракторами среднего тягового класса и требуют меньше затрат топлива. При их работе поверхность почвы менее подвержена повреждению и изменению микрорельефа.

Однако высокая стоимость навесных мульчеров, отечественного и импортного производства, ограничивает их повсеместное применение. Решить указанную проблему, на наш взгляд, позволит создание относительно не дорогого навесного измельчающего устройства с активным рабочим органом горизонтального вращения. Основным назначением проектируемого агрегата является удаление растительности в виде бурьяна и мелкого кустарника по границе населенных пунктов в сельской местности и на их территории, а также в относительной близости от построек и домов. Общий вид агрегата представлен на рис. 4.

Основным узлом разрабатываемой установки служит мост 1 (рис. 4) автомобиля ВАЗ. Мост устанавливается и закрепляется на сварной раме 2. Рама 2 имеет конструкцию, позволяющую проводить ее установку на стандартный треугольник навески трактора. Для облегчения конструкции и увеличения рабочей частоты вращения проводится модернизация автомобильного моста. Так, одна полуось вместе с чулком удаляется и заваривается для обеспечения необходимой герметичности корпуса. Вращение на механизм передается через карданный вал от вала отбора мощности трактора на полуось. Для этого на полуоси устанавливается соответствующих геометрических размеров фланец 3. Выходным, рабочим органом агрегата является металлический диск 4 с закрепленными на нем грузовыми цепями. Диск 4 устанавливается на первичный вал дифференциала моста 1.

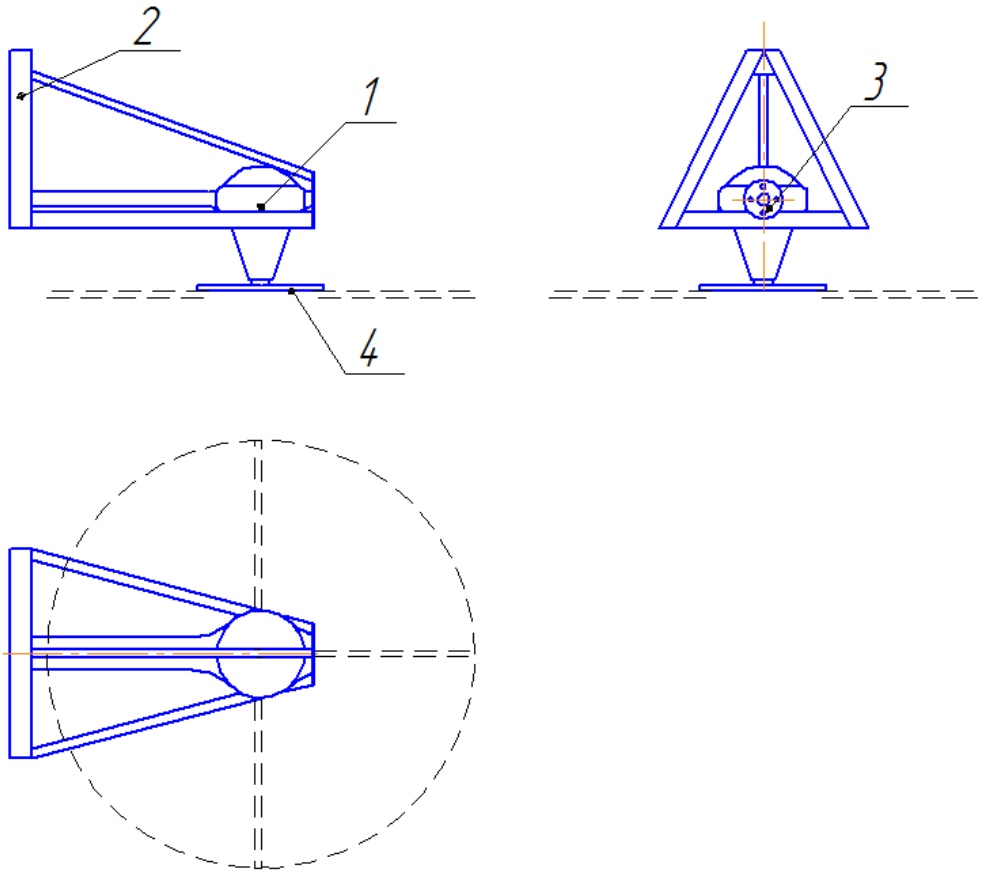


Рис. 4. Общий вид навесного агрегата для измельчения травы и мелкого кустарника.

Принцип работы агрегата, предназначенного для измельчения сухой травы, бурьяна, и мелкого кустарника заключается в следующем. Агрегат устанавливается на треугольник задней навески колесного трактора. Через карданную передачу подключается к валу отбора мощности. С помощью гидравлической системы поднимается в транспортное положение и транспортируется к месту проведения работ. Непосредственно перед началом работы, оператор включает принудительное вращение вала отбора мощности. Вращение передается на передаточный механизм агрегата (автомобильный мост) и приводит во вращение его рабочий орган. Диск с цепями начинает вращаться. За счет центробежной силы цепи распределяются в горизонтальной плоскости. С помощью гидравлической системы агрегат опускается в рабочее положение, на необходимую высоту от уровня земли. Трактор начинает движение. Растительность, попадающая на пути движения трактора и вращающегося диска с цепями, попадает под их удар и разрушается. Повторное попадание частей растительности под действие вращающихся цепей приводит к их полному измельчению.

Конструкция навесного агрегата для измельчения травы и другой мелкой растительности позволяет совершать рабочие движения трактора в двух направлениях, при движении вперед и при движении задним ходом. Учитывая частоту вращения вала отбора мощности трактора, составляющую 540 оборотов в минуту и передаточное число редуктора моста автомобиля ВАЗ равное 4,3, рабочий диск с цепями совершает около 2000 оборотов в минуту, что создает значительную центробежную силу и силу удара для разрушения мелкой растительности и кустарников. Рабочая ширина захвата

агрегата регулируется изменением длины рабочих цепей. Оптимальным параметром для рабочей ширины захваты считается ширина равная ширине трактора, с которым агрегатируется данная установка, что составляет 1,4 метра.

Компактная конструкция предлагаемого навесного агрегата обеспечивает его маневренность необходимую для работы не только на открытых пространствах, но и в непосредственной близости с постройками и искусственными препятствиями. Простота конструкции и технической эксплуатации не требует от операторов специальной подготовки и навыков. Отсутствие в составе агрегата технически сложных устройств минимизирует затраты на техническое обслуживание, регулировки и ремонт. Таким образом предлагаемая конструкция навесного агрегата для удаления прошлогодней травы, мелкой растительности и кустарников позволит заменить применение дорогостоящих мульчеров в области удаления сухой травы в весенний период. Это положительно отразится на проведении профилактических мероприятий по предупреждению пожаров в населенных пунктах сельской местности, снизит возможность распространения огня на жилые строения от не контролируемого сжигания сухой травы и растительных остатков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 2022 год. Источник: https://fireman.club/literature/analiz-obstanovki-s-pozharami-i-ih-posledstviyami-na-territorii-rossijskoj-federaczii-za-2022-god/

2. Поливаев, О.И. Тракторы и автомобили: Теория и эксплуатационные свойства / О. И. Поливаев, А.В. Ворохобин, В.П. Гребнев. – Кнорус, 2020. – 260 с.

3. Вокуев Д.Н., Иванов В.Е., Пучков П.В. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 456-459.

4. Иванов В.Е., Головатенко А.Ю. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 224-227.

УДК 621

В. Е. Иванов
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИ ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В КОМПАС-3D

Аннотация: в статье рассматривается вопрос по повышению производительности системы при трехмерном моделировании деталей пожарной техники в КОМПАС-3D за счет замены видеокарты. Приведены сравнительные характеристики видеокарт по результатам теста в программе КОМПАС-3D. Выбраны видеокарты, наиболее соответствующие критерию, цена-производительность.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, производительность, компьютер, визуализация, видеокарта.

V. E. Ivanov

IMPROVING SYSTEM PERFORMANCE WITH THREE-DIMENSIONAL MODELING OF FIRE EQUIPMENT PARTS IN KOMPAS-3D

Abstracts: the article deals with the issue of improving system performance in three-dimensional modeling of fire equipment parts in COMPASS-3D by replacing the video card. Comparative characteristics of video cards according to the test results in the COMPASS-3D program are given. The video cards that most correspond to the criterion, price-performance, are selected.

Keywords: three-dimensional modeling, performance, computer, visualization, video card.

Одним из немаловажных факторов при разработке и конструировании современных образцов пожарной техники является наличие высокопроизводительных персональных компьютеров. Создание сложных трехмерных моделей с больший количеством полигонов на компьютерах с низкой производительностью может привести к «вылетам», закрытию программ с ошибкой и другим неисправностям. Как известно за визуализацию трехмерных моделей отвечает такой компонент компьютера, как видеокарта, поэтому выбор наиболее эффективной видеокарты с оптимальным набором характеристик и невысокой цене является актуальной задачей.

Согласно источнику [1], авторами были проведены экспериментальные исследования производительности видеокарт в программе КОМПАС-3D с трехмерной моделью, которая состоит из двух миллионов 300 тысяч полигонов. Возьмем из приведенного списка распространенные видеокарты, которые есть в наличии в магазинах компьютерной техники. В таблице представлены выбранные видеокарты с указанием цены и результатов теста. На основании представленных данных построим диаграмму зависимости цены видеокарты от производительности по результатам теста. На рисунке представлена зависимость цены видеокарты от производительности.

© Иванов В. Е., 2023

Таблица. **Результаты тестирования видеокарт в КОМПАС-3D**

Название видеокарты	Количество очков, набранных в тесте	Стоимость видеокарты, руб.
GeForce GTX 1050 Ti	75	13500
GeForce GTX 1660 SUPER	170	20000
AMD Radeon RX 550	36	9000
GeForce GT 1030	32	7000
Radeon RX 560	36,7	11500
GeForce RTX 2060 SUPER	239	36700
AMD Radeon RX 580	79	15000
GeForce RTX 2080	337	100000

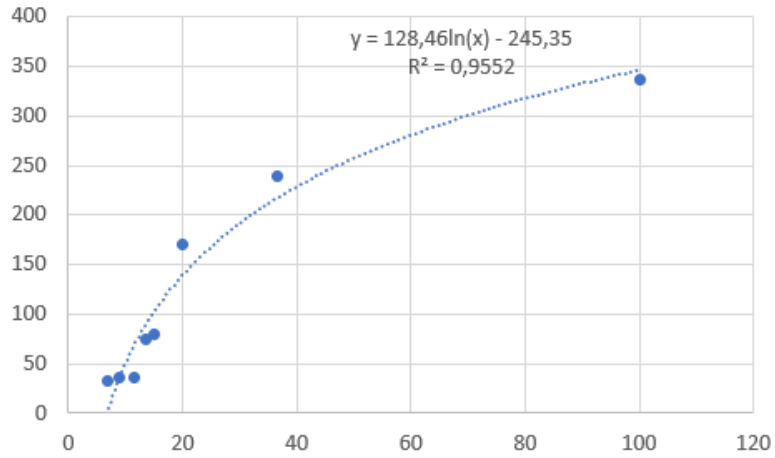


Рисунок. Диаграмма зависимости цены видеокарты от производительности по результатам теста

Согласно полученным результатам, видеокарта GeForce RTX 2080 в тесте набрала 337 балла и ее стоимость составляет 100 тыс. руб. Если сравнивать данную видеокарту с GeForce RTX 2060 SUPER, то производительность увеличивается на 29,1 %, а цена на 63,3 %. Если сравнить видеокарты GeForce GTX 1660 SUPER с результатами теста 170 единиц и ценой 20 тыс. руб. и GeForce RTX 2060 SUPER с результатами теста 239 единиц и ценой 36,7 тыс. руб., то производительность у первой ниже на 28,9 %, а цена ниже на 45,5 %. Сравнивая полученные результаты получаем, что у видеокарты GeForce RTX 2080 сильно завышена цена по сравнению с увеличением производительности, поэтому целесообразнее будет использовать для создания сложных трехмерных моделей с большим количеством полигонов видеокарты GeForce RTX 2060 SUPER и GeForce GTX 1660 SUPER.

Проведенный анализ показал, что применение видеокарт GeForce RTX 2060 SUPER и GeForce GTX 1660 SUPER при проектировании деталей пожарной техники с большим количеством полигонов будет наиболее оптимальным решением. При работе с данными видеокартами отсутствуют «вылеты» программы из-за нехватки оперативной памяти у в видеокарты. Отрисовка сложных моделей при режиме «Полутоновое с каркасом» происходит мгновенно без задержек, при этом FPS снижается незначительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тестируем видеокарты для работы с КОМПАС-3D [Электронный ресурс] // URL: https://habr.com/ru/company/ascon/blog/492100 (дата обращения: 01.03.2023).

2. Иванов В.Е., Пучков П.В. Использование современных методов исследования при разработке новых конструкций зажимов для восстановления работоспособности напорных пожарных рукавов и оценка их технического состояния на основе компьютерного моделирования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 3. С. 114-118.

3. Иванов В.Е., Легкова И.А., Пучков П.В. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2 (5). С. 53-65.

4. Пучков П.В., Иванов В.Е. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 1. С. 85-87.

УДК 621

В. Е. Иванов, М. К. Кулиахметов
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДОМКРАТА ПОДКАТНОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация: в статье рассматривается вопрос по разработке конструкции домкрата подкатного. Конструкция разрабатывалась с применением системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. При конструировании устройства проводился прочностной анализ конструкции методом конечных элементов.

Ключевые слова: прочностной расчет, домкрат, конструкция, трехмерное моделирование, транспортное средство.

V. E. Ivanov, M. K. Kuliahmetov

DEVELOPMENT OF THE JACK DESIGN WITH THE USE OF COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS

Abstracts: the article deals with the issue of developing the design of a jack-up. The design was developed using the Autodesk Inventor computer-aided design system. When designing the device, a strength analysis of the structure was carried out by the finite element method.

Keywords: strength calculation, jack, construction, three-dimensional modeling, vehicle.

В пожарно-спасательных подразделениях при ремонте и техническом обслуживании пожарной техники применяют различные подъемные устройства. Самым распространенным подъемным устройством является гидравлический домкрат. С целью повышения эффективности использования данных устройств предлагается разрабо-

© Иванов В. Е., Кулиахметов М. К., 2023

тать конструкцию подкатного домкрата с применением гидравлического. Такая конструкция позволит увеличить высоту подъема транспортного средства и повысить эффективность работ при использовании домкрата за счет мобильности.

Для разработки конструкции домкрата использованы системы автоматизированного проектирования, которые позволяют создавать, моделировать и анализировать различные конструкции как в машиностроении, так и при производстве электроники, строительстве и др. Среди самых распространенных CAD-систем являются следующие: КОМПАС-3D, AutoCAD, T-FLEX, SolidWorks, Inventor.

Некоторые из представленных программ распространяются с модулем прочностного расчет в которых применяется анализ методом конечных элементов (FEA). При разработке конструкций, анализ методом конечных элементов позволяет рассчитать деталь на прочность, так как возможно присвоить тип материала, задать нагрузки и граничные условия. Кроме этого, некоторые модули прочностного расчета позволяют произвести расчет не только при статической нагрузке, но и при динамической. Из рассмотренных программ для проектирования конструкции выбрана система автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. На рис. 1 представлена разработанная конструкция домкрата подкатного.

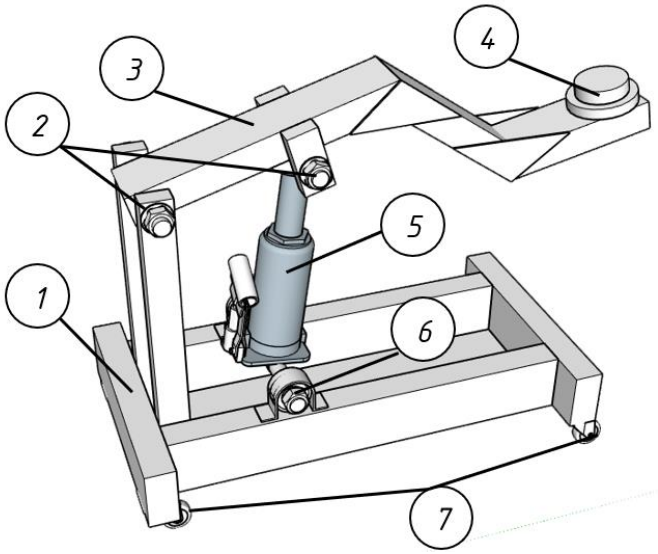


Рис. 1. Разработанная конструкция домкрата подкатного:
1 – рама, 2 – оси, 3 – кронштейн, 4 – упор,
5 – гидравлический домкрат,
6 – упорная ось для домкрата,
7 – опорные колеса

Наиболее нагруженной деталью является кронштейн с упором. Предварительные расчеты показали, что для изготовления кронштейна необходимо выбрать прямоугольную трубу с размерами 80х60 или 100х50 с толщиной стенки 5-6 мм. Для оценки данной конструкции в программе Inventor создаем исследование «Статистический анализ», присваиваем материал кронштейну - Сталь 45, задаем зависимости и приложенные силы. В окне настройка сети устанавливаем следующие параметры: средний размер элементов 0,1 мм, минимальный размер элементов 0,2 мм, коэффициент разнородности 1,5, максимальный угол поворота 60 град. На рис. 2 представлены результаты прочностного расчета (распределение напряжений) при заданной нагрузке в 25000 Н. Как видно из рисунка максимальное значение напряжения составляет 160 МПа, что не превышает допустимых значений для Стали 45.

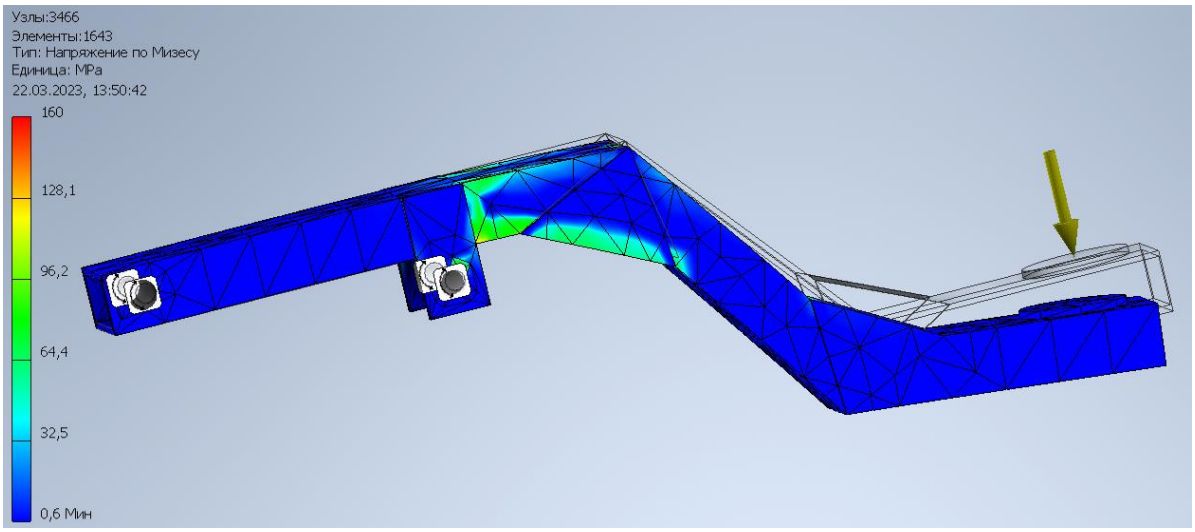


Рис. 2. Распределение напряжений полученных в результате прочностного расчета в программе Inventor

Проведенные прочностные расчеты в программе автоматизированного проектирования Autodesk Inventor позволили выявить наиболее нагруженные участки в разработанной конструкции и произвести необходимые проектировочные изменения для повышения ее надежности.

Разработанная конструкция позволяет использовать гидравлические домкраты, повышает удобство и эффективность использования подъемного устройства при проведении работ по подъему транспортного средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучков П.В., Суконщиков А.А. Восстановление деталей механизмов с помощью 3d печати. Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – 599 с. – ISBN 978-5-6042853-1-2 С. 541-544

2. Киселев В.В., Зарубин В.П. Повышение износостойкости шарнирных соединений карданных передач пожарных автомобилей. / Пожарная и аварийная безопасность. 2023. № 1 (28). С. 7-13.

3. Зарубин В.П., Гомонай М.В., Киселев В.В., Пучков П.В. К вопросу создания машины для технического обслуживания и ремонта техники при тушении лесных пожаров. / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 3 (39). С. 75-82.

4. Иванов В.Е., Легкова И.А., Пучков П.В. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2 (5). С. 53-65.

5. Пучков П.В., Иванов В.Е. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 1. С. 85-87.

УДК 621

В. Е. Иванов, А. А. Столпяков, В. В. Ширяев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА КРОНШТЕЙНА ДЛЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Аннотация: в статье рассматривается вопрос по разработке конструкции кронштейна для экзоскелета. Конструкция разрабатывалась с применением программ автоматизированного проектирования и встроенных модулей прочностного расчета. Разработанная конструкция кронштейна позволит снимать часть нагрузки на верхний пояс пожарных и спасателей при работе с аварийно-спасательным инструментом.

Ключевые слова: экзоскелет, комплекс, инструмент, аварийно-спасательный инструмент, чрезвычайные ситуации.

V. E. Ivanov, A. A. Stolpyakov, V. V. Shityaev

DEVELOPMENT OF AN EXOSKELETON BRACKET

Abstracts: the article deals with the issue of developing a bracket design for an exoskeleton. The design was developed using computer-aided design programs and built-in strength calculation modules. The developed bracket design will allow you to remove part of the load on the upper belt of firefighters and rescuers when working with an emergency rescue tool.

Keywords: exoskeleton, complex, tool, emergency rescue tool, emergency situations.

В течение всей истории человечество стремится превзойти свои возможности. В отличие от других существ, мы бросаем вызов биологии и совершенствуем свои тела быстрее, чем эволюция. Хотя у человеческого тела много слабостей, мы успешно дополняем и восполняем функции с помощью высокотехнологичных инструментов. Будучи изобретены еще в середине XX века, изобретателем Николаем Ягн, сейчас эти устройства на новом этапе развития, открывающем всё больше перспектив для их применения. Современные экзоскелеты являются сложными техническими системами, характеризуемыми многообразием рабочих процессов и характеристик, относящихся к разным областям знаний: электроники, кибернетики, механики, гидрогазодинамики и т.д. Одним из приоритетных направлений фундаментальных исследований РФ является разработка научных методов создания интегрированных человеко-машинных комплексов, к которым относятся экзоскелеты. Поэтому разработка устройства, помогающего снизить нагрузку на поясницу, мышцы пожарных и спасателей является актуальной задачей.

Недостаточный уровень проработки вопросов, посвященных математическому моделированию и экспериментальным исследованиям рабочих процессов в экзоскелетных устройствах и, как следствие, отсутствие инженерных методик расчета механико-приводной части экзоскелета, охватывающих весь спектр проблем, связанных с проектированием и апробацией экзоскелетных устройств, обуславливают формирование основных направлений исследований, ориентированных на обеспечение энер-

© Иванов В. Е., Столпяков А. А., Ширяев В. В., 2023

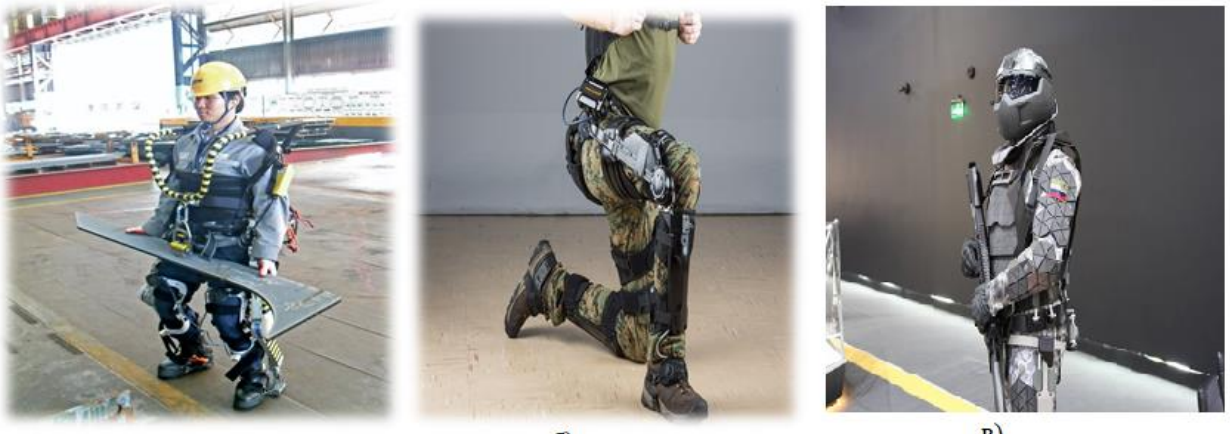
гоэффективного взаимодействия систем приводов на кинематические и динамические характеристики ИМ экзоскелета при реализации локомоторных движений.

Варианты использования экзоскелета в спасательных операциях сотрудниками МЧС многообразны, некоторые из них проиллюстрированы следующих изображениях (рис. 1).

Рис. 1. ProEXO испытание экзоскелета

Практическая значимость данного механизма определенно бесценна. В тоже время, предложенная промышленная версия экзоскелета, требует доработки по ряду специфических требования МЧС: крепление баллона, интеграция с текущей амуницией, быстрое отсоединение, не снимая каски пожарного, применение негорючих материалов и другое.

В данный момент, механизм экзоскелета получил широкое применение в различных общественных и производственных сферах жизни. Зачастую рабочие на строительных площадках вынуждены часами работать с тяжелым инструментом в неудобном положении. Например, держать над головой болгарку или перфоратор. Чтобы снизить риск получения травмы и облегчить выполнения задачи, экзоскелеты для рук и спины являются незаменимым решением. На рис. 2 показаны некоторые виды экзоскелетов.



а) б) в)

Рис. 2. Экзоскелеты:
а) экзоскелет для перемещения грузов, б) экзоскелет для нижних конечностей,
в) экзоскелет для военных целей

Экзоскелет могут применяться для бега (ходьбы) в качестве вспомогательных устройств для изменения динамики конечностей. Если рассматривать медицинские экзоскелеты, то они разделяются на подкатегории. Могут быть пассивными и активными устройствами, а также портативными (вспомогательными) и стационарными (лечебными тренажерами). Портативные экзоскелеты выполняют роль протезирующую (искусственного восстановления утраченных функций, выполнения их вспомогательным устройством), а стационарные – реабилитирующую (восстановления естественных возможностей самого организма). Экзоскелеты для людей с травматическим или врожденным параличом нижних конечностей оснащены моторами с аккумуляторами, благодаря им пациенты с нижней параплегией могут самостоятельно вставать, ходить и подниматься по ступенькам, то есть выполнять физические действия, которые для них невозможны без посторонней помощи.

Кроме этого, экзоскелеты делятся по способу действия на активные и пассивные. Активные экзоскелеты оснащены электроприводами с наличием источников питания, установленными в самом экзоскелете. Пассивные экзоскелеты не требуют источников питания для выполнения своей функции. Принцип их действия основан на базовых законах механики: за счет применения противовесов и рычагов, пассивный экзоскелет перераспределяет нагрузку на части тела. Действие пассивного экзоскелета снижает нагрузку на активные мышцы, в среднем, от 30 %. По способу ношения экзоскелеты можно разделить на четыре категории: для спины, для ног, для коленного сустава и для рук. Каждый из типов экзоскелета может использоваться самостоятельно или быть частью большой конструкции, состоящей из нескольких элементов. Распространенный пример – пассивный экзоскелет для спины и рук. Такой, например, используют видеооператоры для продолжительной съемки.

Для разработки конструкции определяем вид и вес аварийно-спасательного инструмента. Предварительно конструкция будет без поддержки опорной системы ног и основываться на подвесной системе для дыхательных аппаратов со сжатым воздухом «ПТС Профи». На рис. 3 представлена принципиальная схема конструкции устройства для снижения веса аварийно-спасательного инструмента, с которым работает спасатель или пожарный. Предложенная конструкция будет представлять собой пассивный экзоскелет. Система рычажного типа, крепится на пояс, снижение нагрузки будет осуществляется за счет пружин. Также для крепления аварийно-спасательного инструмента будет разработано универсальное крепление.

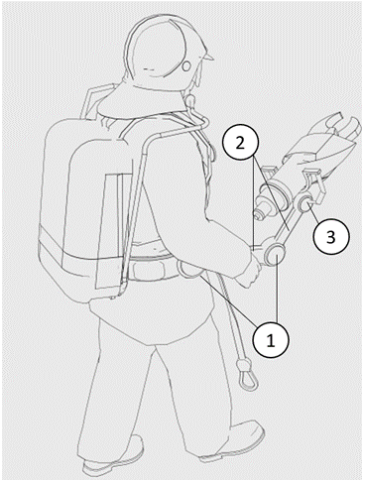


Рис. 3. Принципиальная схема устройства:
1) шарниры, 2) рычаги,
3) крепежное устройство для инструмента

На рис. 4 представлена конструкция кронштейна. Для обеспечения наибольшей подвижности при работе с аварийно-спасательным инструментом, предусмотрено три шарнирных узла. Кронштейны с пружиной позволяют снизить нагрузку от аварийно-спасательного инструмента на плечевой пояс спасателя. Само устройство будет весить не более 3 кг, согласно предварительным расчетам в системе автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. Для проведения расчетов в системе автоматизированного проектирования принята масса аварийно-спасательного инструмента 10 кг. На основании расчетов определена пружина 3-20-160-32-раст-тип II-(60С2А).

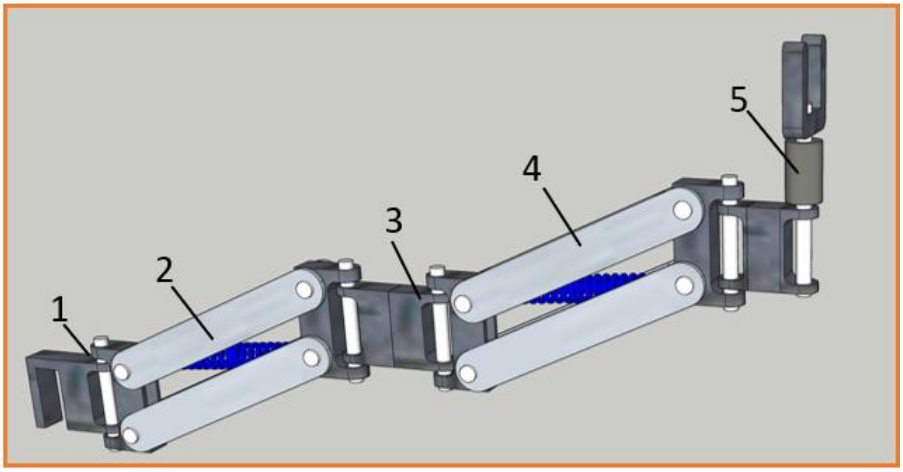


Рис. 4. Конструкция устройства:
1) шарнирный узел с кронштейном для крепления в поясном замке,
2, 4) кронштейн с пружиной,
3) шарнирный узел,
5) упор для установки аварийно-спасательного инструмента

Представленное устройство можно будет использовать, как на пожаре в непригодной для дыхания среде, так и при выполнении аварийно-спасательных работ. Он предназначен для мобильного и быстрого использования ГАСИ (гидравлического аварийно-спасательного инструмента) во время проведения аварийно-спасательных работ. За счет снижения нагрузки на пользователя способствует облегчению ведения работ и увеличению числа спасенного материального имущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экзоскелет. Википедия.URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=67717712 (дата обращения 30.01.2023).

2. Бедняк С. Г., Еремина О.С. Экзоскилет – военное и мирное применение. // Главный механик 2011; 11: С. 50-54.

3. Иванов В.Е., Пучков П.В. Использование современных методов исследования при разработке новых конструкций зажимов для восстановления работоспособности напорных пожарных рукавов и оценка их технического состояния на основе компьютерного моделирования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 3. С. 114-118.

4. Иванов В.Е., Легкова И.А., Пучков П.В. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2 (5). С. 53-65.

5. Вокуев Д.Н., Иванов В.Е., Пучков П.В. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений // В сборнике: Надежность и долговечность

машин и механизмов. сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 456-459.

УДК 378

В. Е. Иванов
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ХРОНОМЕТРАЖА НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO

Аннотация: в статье рассматривается вопрос по разработке мобильного устройства для электронного хронометража на платформе Arduino. Проведен сравнительный анализ ультразвуковых и инфракрасных датчиков расстояния, а также модулей беспроводной связи. Рассмотрен алгоритм работы устройства с применением ультразвуковых датчиков расстояния и модулей беспроводной связи.

Ключевые слова: Arduino, ультразвуковой датчик расстояния, хронометраж, тренировка, устройство.

V. E. Ivanov

DEVELOPMENT OF A MOBILE DEVICE FOR ELECTRONIC TIMEKEEPING ON THE ARDUINO PLATFORM

Abstracts: the article discusses the issue of developing a mobile device for electronic timekeeping on the Arduino platform. A comparative analysis of ultrasonic and infrared distance sensors, as well as wireless communication modules was carried out. The algorithm of operation of the device using ultrasonic distance sensors and wireless communication modules is considered.

Keywords: Arduino, ultrasonic distance sensor, timing, training, device.

Известно, что главными преимуществами в использовании автоматизированных систем для хронометража, во время тренировок и соревнований являются: значительное уменьшение времени организации и проведения тренировок или соревнований; возможность объединения информационных потоков в единую систему, например база данных или же сайт с итогами забегов; освобождение тренера и организаторов от большого количества рутинных функций управления и организации. Многие такие устройств устанавливаются стационарно, без возможности перемещения на другой стадион, поэтому разработка мобильного устройства является актуальной задачей. Отличительной особенностью предлагаемого устройства является использование контроллера Arduino для измерения времени при выполнении упражнений, который позволит: обеспечить высокую точность измерений при своей реализации; максимально упростить работу преподавателя.

Предлагаемое устройство будет состоять из следующих основных компонентов: контроллер Arduino; элементы электропитания для поддержки работы основного

© Иванов В. Е., 2023

устройства и дополнительных модулей; модуль беспроводной связи (Bluetooth или Wi-Fi); ультразвуковые и инфракрасные датчики расстояния (рисунок). Сам контроллер Arduino хорошо зарекомендовал себя в области разработки робототехнических устройств, так как при помощи его можно создавать автономные объекты, а управление организуется как через проводные, так и беспроводные интерфейсы. Программа, при помощи которой создается программный код управления устройствами, имеет схожий язык программирования с C++, только немного упрощен. Загрузка готовой программы осуществляется через встроенный в плате программатор. Самыми широко распространенными платами микроконтроллера являются Uno, Mega, Nano, каждая из которых используется для разработки различных проектов. К плате Arduino могут быть подсоединены периферийные устройства.

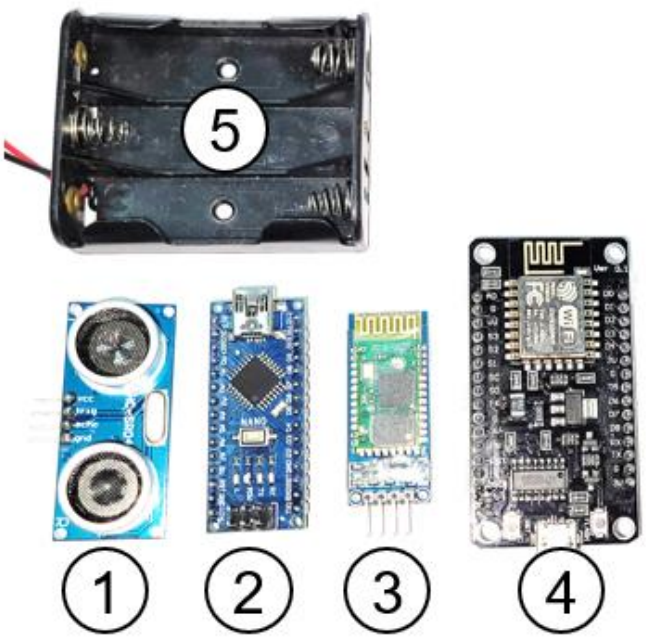


Рисунок. Основные компоненты устройства:
1 – ультразвуковой датчик HC-SR04;
2 – контроллер Arduino Nano;
3 – Bluetooth модуль;
4 - Wi-Fi модуль;
5 – блок для элементов питания

Для осуществления такой функции устройства, как реагирование на движение, при котором будет запускаться начало отсчета времени рассмотрено множество сенсоров. Наиболее подходящим по функционалу, является инфракрасный датчик расстояния Sharp GP2Y0A и ультразвуковой HC-SR04. Диапазон работы датчика Sharp GP2Y0A от 10 до 80 см. Датчик оснащен ИК-излучателем, который служит источником луча, и ИК-приемником, который ловит отражение луча. Сенсор лучше всего располагать вдали от воздействия световых помех, так как он чувствителен к свету. В некоторых случаях будет недостаточно диапазона измерений данным датчиком. Более универсальным является ультразвуковой дальномер HC-SR04 с диапазоном работы от 2 до 500 см (рисунок). Принцип работы данного датчика основан на известном явлении эхолокации. Излучатель формирует акустический сигнал, который отразившись от преграды, возвращается к датчику и регистрируется приемником. В отличие от инфракрасных датчиков на него не влияют источники света или цвет препятствия. Последовательность работы достаточно проста и понятна. На плате модуля входной импульс преобразуется в 8 импульсов частотой 40 кГц и посылается через излучатель, дойдя до препятствия, посланные импульсы отражаются и принимаются прием-

ником, в результате получаем выходной сигнал на выводе Echo. В нашем устройстве будем использовать именно ультразвуковой дальномер HC-SR04. Датчик подключаем к платформе Arduino. Полученный от ультразвукового дальномера сигнал необходимо передать по беспроводной связи к следующему контроллеру. Для этого рассмотрим виды беспроводной связи между контроллерами.

Рассмотрим радиомодуль HC-12, Blutooth модуль HC-06 и Wi-Fi модуль ESP-01 (рисунок). HC-12 - беспроводной приёмник и передатчик сигнала на расстоянии. Важной особенностью является дальность передачи сигнала до 1800 м на открытом пространстве, а также возможна работа в плотной застройке. У HC-12 достаточно большой диапазон используемых частот от 433,4 до 473,0 МГц. Для работы с этим радиомодулем необходимо использовать разрешенные частоты в Российской Федерации. HC-6 - Blutooth модуль беспроводной связи для Arduino. Bluetooth используется для передачи данных между двумя устройствами, которые находятся в непосредственной близости друг с другом. Радиус действия такого модуля до 20 м, что в разы меньше радиомодуля. Wi-Fi модуль - ESP-01 соединяется с компьютером или микроконтроллером через UART с помощью набора AT-команд. Диапазон действия до 120 м. Для программирования данного модуля необходимо использовать программу Arduino IDE версии не ниже 1.6.5. С помощью данного модуля можно осуществить прямое соединение контроллера Arduino и смартфона, для фиксации и просмотра результатов забега. В разрабатываемом устройстве будет использоваться Wi-Fi модуль ESP-01.

Рассмотрим один из вариантов работы электронного хронометра на базе контроллера Arduino. Для запуска отсчёта времени в первом варианте будет использоваться механизм запуска программы отсчета, встроенный в стартовые колодки. Перед стартом механизм находится в сжатом положении. При старте механизм разжимается и запускается цепочка последовательных действий, прописанных в программе. Первым контроллером, с которым связаны стартовые колодки посредством беспроводной связи передаётся сигнал о запуске отсчёта времени на контроллер, располагающийся на финише. При финишировании ультразвуковой дальномер фиксирует приземление спортсмена и передает сигнал об остановке времени. Время останавливается и фиксируется. После чего итоговый результат передается на смартфон преподавателя или же результат может автоматически передаваться на сайт (базу данных). Перед стартом, так же на смартфоне, преподаватель включает всю систему, своего рода это как кнопка вкл., для исключения сбоев, случайных срабатываний стартов.

Второй вариант работы электронного хронометра на базе контроллера Arduino отличается фиксацией старта. На стартовой линии устанавливается ультразвуковой дальномер HC-SR04, который до команды старт будет фиксировать препятствие (штурмовую лестницу). После команды «Старт» препятствие исчезает и датчик сообщает контроллеру Arduino. Далее алгоритм работы устройства соответствует первому варианту.

При разработке устройства учтены достоинства и недостатки рассмотренных модулей беспроводной связи и датчиков расстояния. Корпус для экспериментального образца будет изготавливаться при помощи технологии трехмерной печати. Разработанное устройство позволит обеспечить высокую точность измерений при своей реализации и максимально упростит работу преподавателя при подведении итогов занятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляхова К.М., Иванов В.Е. Разработка спортивного электронного хронометра на базе контроллера Arduino // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России и 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов. Иваново, 2020. С. 237-239.

2. Вокуев Д.Н., Иванов В.Е., Пучков П.В. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 456-459.

3. Иванов В.Е., Пучков П.В. Исследование технического состояния объектов машиностроения на основе компьютерного моделирования на примере разработки зажимов для устранения неисправностей пожарных рукавов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 12. С. 543-546.

4. Иванов В.Е., Легкова И.А., Пучков П.В. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2 (5). С. 53-65.

УДК 66–931.2

М. Ю. Колобов, Т. В. Гущина, О. В. Чагин, В. В. Бойцова, П. Н. Грименицкий
ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Аннотация: использование предлагаемых конструктивных изменений в многоступенчатой мельнице ударно-отражательного действия позволяет повысить эффективность процесса измельчения и устранить проскок крупных фракций в измельченный продукт.

Ключевые слова: мельница, ротор, удар, измельчение, частицы.

M. Yu. Kolobov, T. V. Gushchina, O. V. Chagin, V. V. Boytsova, P .N. Grimenitsky

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE GRINDING PROCESS IN A MULTISTAGE MILL

Abstracts: the use of the proposed design changes in a multistage shock-reflective mill allows to increase the efficiency of the grinding process and eliminate the slip of coarse fractions into the crushed product.

Keywords: mill, rotor, impact, grinding, particles.

Исследования [1–3] по измельчению различных материалов в многоступенчатых мельницах показали, что крупные фракции измельчаемого материала попадают в

© Колобов М. Ю., Гущина Т. В., Чагин О. В., Бойцова В. В., Грименицкий П. Н., 2023

продукты измельчения вследствие наличия мощных турбулентных пульсаций двухфазного потока (воздух + измельчаемые частицы) около отбойных элементов на корпусе мельницы, находящихся в зоне расположения разгрузочного патрубка.

Разработана многоступенчатая мельница ударно-отражательного действия [4]. Мельница (рисунок) состоит из загрузочного патрубка 1, ступенчатого корпуса 2, на внутренней поверхности которого расположены отбойные элементы 3. В корпусе на горизонтальном валу 9 расположены дисковые ступени ротора 4 со ступицами 10. Каждый диск имеет жестко закрепленные била 5. На первой и второй ступенях корпуса 2 отбойные элементы 3 расположены по всей внутренней цилиндрической поверхности корпуса. На третьей ступени корпуса на крышке мельницы 8 установлена отражательная пластина 7 под углом 45 ° слева и справа относительно осевой линии выгрузочного патрубка 6, причем расстояние между отражательной пластиной и обечайкой корпуса равно высоте отбойных элементов h. На внутренней цилиндрической поверхности третьей ступени корпуса за отражательной пластиной 7 отбойные элементы 3 отсутствуют.

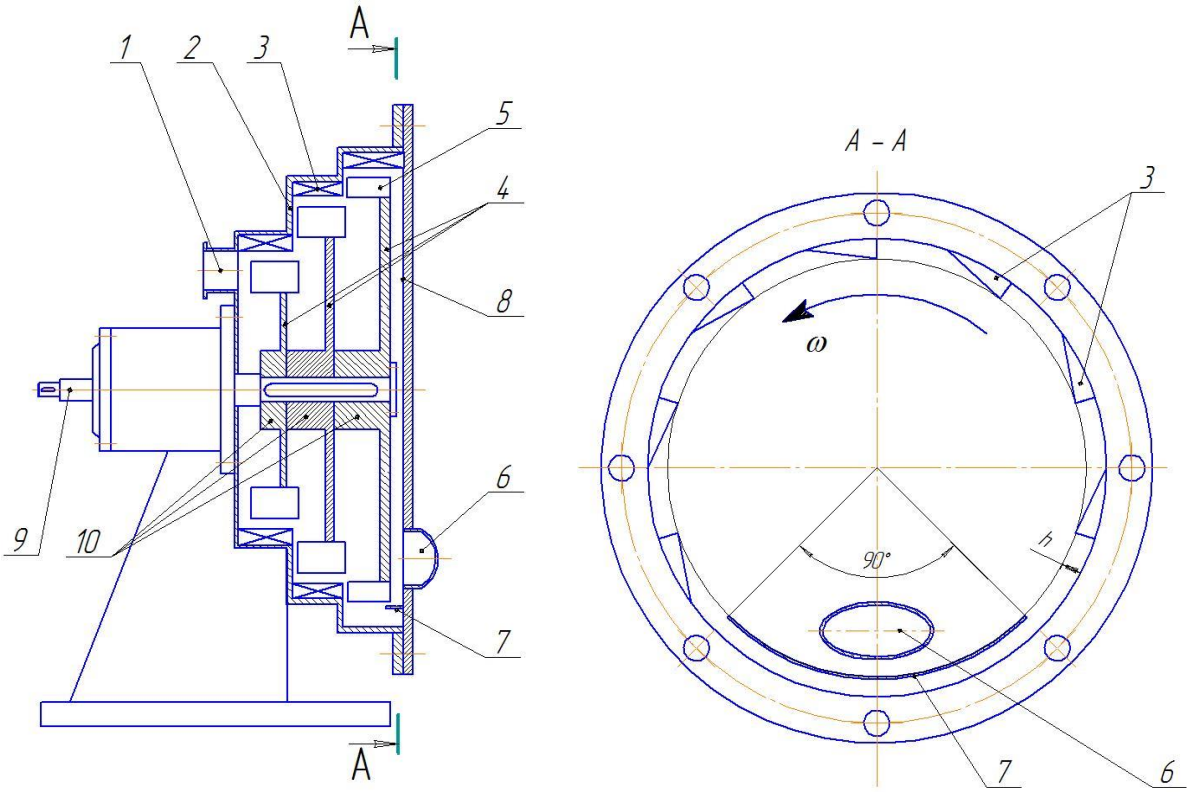


Рисунок. Многоступенчатая мельница ударно-отражательного действия

Центробежная ударная мельница работает следующим образом. Исходный материал подается в загрузочный патрубок 1, откуда поступает на вращающийся диск 4 ротора первой ступени корпуса 2. Частицы материала, попадающие под била 5, разрушаются и отбрасываются на отбойные элементы 3, где дополнительно измельчаются. Происходит предварительное измельчение частиц. Далее материал попадает на вращающийся диск 4 ротора второй ступени корпуса 2 и измельчается, попадая под била 5 и отбойные элементы 3. Пройдя вторую ступень измельчения, материал попадает на вращающийся диск 4 ротора третьей ступени корпуса 2 и измельчается, попа-

дая под била 5 и отбойные элементы 3. Измельченный материал удаляется из мельницы через выгрузочный патрубок 6. Крупные частицы попадают в зазор между корпусом мельницы 2 и отражательной пластиной 7, которая препятствует выходу частиц через выгрузочный патрубок 6. Увлекаемые воздушным потоком крупные частицы попадают на отбойные элементы 3 и измельчаются. Измельченные частицы удаляются через выгрузочный патрубок 6.

Использование предлагаемой центробежной ударной мельницы позволяет повысить эффективность процесса измельчения и устранить проскок крупных фракций в измельченный продукт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н. Исследование мельницы ударно-отражательного действия. // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. Иваново, 2020. № 3 (63). С. 54–59.

2. Гущина Е.А., Гущина Т.В., Блиничев В.Н. Разработка и исследование энерго- и ресурсосберегающих машин для тонкого измельчения материалов // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 16 апреля 2020. С. 33–37.

3. Блиничев В.Н., Постникова И.В., Воробьев С.В., Колобов М.Ю., Зуева Г.А. Интенсификация процесса разрушения поликомпонентных материалов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Иваново, 2022. Том 65, № 1. С. 109–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6357

4. Патент № 2761658, МПК B02C 13/00. Центробежная ударная мельница / Колобов М.Ю., Гущина Т.В., Блиничев В.Н., Чагин О.В.; заявитель и патентообладатель ИГХТУ. № 2021116574; заявл. 08.06.2021; опубл. 13.12.2021, Бюл. № 35.

УДК 658.52.011.56

В. Н. Копосов
ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГПС

Аннотация: в работе обоснованы требования к автоматизированным системам инструментального обеспечения гибких производственных систем (ГПС). На основании требований сформулированы показатели эффективности автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС.

Ключевые слова: гибкая производственная система, автоматизированная система инструментального обеспечения, системный подход, показатели эффективности.

© Копосов В. Н., 2023

V. N. Koposov

PERFORMANCE INDICATORS OF AUTOMATED SYSTEMS INSTRUMENTAL SUPPORT OF GPS

Abstracts: the work justifies the requirements for automated instrumental support systems for flexible production systems (GPS). Based on the requirements, the performance indicators of automated tools for instrumental GPS support systems are formulated.

Keywords: a flexible production system, an automated instrumental support system, a systematic approach, performance indicators.

Важнейшей подсистемой гибкой производственной системы является автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО). Она оказывает существенное влияние на технологические возможности и эффективность функционирования ГПС. Материальные и эксплуатационные затраты и в итоге эффективность функционирования гибкой производственной системы и ее подсистем, в том числе и автоматизированной системы инструментального обеспечения, в значительной мере зависит от решений, принятых на стадии проектирования. Эти затраты обусловлены не только значительной капиталоемкостью оборудования ГПС и АСИО, но и ощутимыми расходами на выполнение проектных работ.

Важным моментом на стадии проектирования ГПС является формулирование требований, предъявляемых к АСИО. Необоснованное завышение требований приводит к неоправданным дополнительным затратам, а занижение – к низкому качественному уровню проектных решений и низкой эффективности системы. С одной стороны, проектировщику необходимо учитывать специфику того производства, для которого проектируется гибкая производственная система. С другой стороны, учитывая уровень тех или иных показателей эффективности лучших мировых образцов этих систем, он должен иметь в виду тенденции развития автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС.

При проектировании технических систем традиционно используют следующие показатели их эффективности: функционирования, технологичности, надежности, эргономические показатели и т.д. Эти показатели сложились на основании опыта проектирования и эксплуатации конкретных систем.

При формулировании требований к автоматизированной системе инструментального обеспечения и, как следствие, показателей ее эффективности необходимо учитывать один из принципов системного подхода к проектированию этой системы – принцип непротиворечивости ее показателей эффективности по отношению к показателям эффективности ГПС. Автоматизированная система инструментального обеспечения является подсистемой ГПС. А если рассматриваемая система (в данном случае АСИО) является частью (подсистемой) некоторой большой системы (ГПС), то любое ее улучшение будет оправдано только в том случае, когда при этом будет повышаться эффективность большой системы.

Принципы системной организации ГПС были сформулированы и обоснованы д.т.н., профессором Н.Г. Наянзиным. Применительно к проектированию автоматизированной системы инструментального обеспечения необходимо было установить логические связи между этими принципами системной организации ГПС (как большой

системы), соответствующими требованиями к АСИО (как подсистемы этой большой системы) и показателями эффективности, характеризующими выполнение этих требований. Результаты работы представлены в таблице.

Таблица. **Требования к АСИО ГПС**

Принципы системной организации ГПС		**Требования к АСИО**	**Показатели эффективности АСИО**
Первый уровень	**Второй уровень**		
1. Технологическая универсальность	-	Обеспечить требуемый уровень технологической универсальности	Коэффициент технологической универсальности
2. Принцип самоорганизации	Принципы: 2.1. Живучести	Обеспечить живучесть АСИО	Живучесть АСИО
	2.2. Надежности	Обеспечить надежность АСИО	Коэффициент готовности АСИО
	2.3. Самовосстановления	Придать АСИО свойства самодиагностики и самовосстановления отказавших элементов	Наличие и количество средств диагностики состояния режущих инструментов и элементов АСИО
	2.4. Эволюционно-адаптивного проектирования	Обеспечить: - возможность независимой отладки и пуска элементов АСИО; - ступенчатого наращивания элементов АСИО; - замену морально устаревшего и физически изношенного оборудования без прерывания работы других элементов АСИО	Наличие возможности: - независимой отладки и пуска элементов АСИО; - ступенчатого наращивания элементов АСИО; - замены морально устаревшего и физически изношенного оборудования без прерывания работы других элементов АСИО
3. Технико-экономические принципы	Принципы: 3.1. Интенсификации технологических процессов	Обеспечить минимум цикловых потерь времени, связанных с работой режущих инструментов	Величина цикловых потерь времени, связанных с работой режущих инструментов

Принципы системной организации ГПС		**Требования к АСИО**	**Показатели эффективности АСИО**
Первый уровень	**Второй уровень**		
	3.2. Непрерывности технологических процессов	Обеспечить минимум внецикловых потерь времени, связанных с работой режущих инструментов	Величина внецикловых потерь времени, связанных с работой режущих инструментов. Величина потерь времени при пере-наладке магазино-комплектов инструментов
	3.3. Экономии материальных, трудовых, энергетических и др. ресурсов	Обеспечить минимум материальных, трудовых, энергетических и др. ресурсов АСИО	Величина годовых затрат на инструментальное обеспечение ГПС
	3.4. Компактности конструктивно-компоновочного оформления	Обеспечить: - минимум занимаемой элементами АСИО площади; - требуемый уровень интеграции выполнения функций АСИО	Величина занимаемой элементами АСИО площади. Коэффициент интеграции выполнения функций
	3.5. «Безлюдности»	Обеспечить: - минимум обслуживающего персонала АСИО; - максимум уровня автоматизации АСИО	Число операторов инструментального обеспечения ГПС Коэффициент автоматизации выполнения функций
	3.6. Технологичности	Обеспечить технологичность изготовления нестандартного оборудования и сборки элементов АСИО	Технологичность изготовления нестандартного оборудования и сборки элементов АСИО
	3.7. Стандартизации и унификации	Обеспечить выполнение требований стандартизации и унификации элементов АСИО	Уровень стандартизации и унификации элементов АСИО

Показатели эффективности автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС могут быть как количественными, так и качественными. Количественные показатели могут быть рассчитаны. Они выступают в качестве критериев или ограничений. Конкретные качественные показатели могут быть либо критериями, либо ограничениями (в зависимости от поставленной задачи).

Для расчета количественных показателей эффективности разработаны соответствующие математические зависимости. Так, например уровень интеграции выполне-

ния функций АСИО предлагается оценивать с помощью коэффициента интеграции функций

$$k_f = \frac{|f_c|}{m}, \quad (1)$$

где $|f_c|$ – количество частных функций, реализуемых системой;

m – количество элементов АСИО.

Если хотя бы одна функция АСИО выполняется вручную оператором (операторами), то при расчете k_f к числу m прибавляется количество операторов.

Предельные значения коэффициента интеграции функций следующие:

$$0 < k_f \leq |f_{c\,max}|, \quad (2)$$

где $|f_{c\,max}|$ – максимально возможное число частных функций, выполняемых АСИО.

При фиксированном значении $|f_c|$ коэффициент интеграции функций возрастает с уменьшением и уменьшается с увеличением количества элементов, входящих в состав системы.

Степень автоматизации выполнения функций элементами АСИО может оцениваться следующим коэффициентом:

$$k_a = \frac{|f_a|}{|f_c|}, \quad (3)$$

где $|f_a|$ – количество частных функций, выполняемых автоматически элементами АСИО (если функция выполняется в автоматическом режиме, то для нее указывается единица, если вручную, то ноль, а если в полуавтоматическом режиме, то указывается значение 0,5).

Увеличение коэффициента автоматизации выполнения функций происходит при использовании в автоматизированных системах инструментального обеспечения ГПС автоматических устройств, что приводит к сокращению доли ручного труда. В настоящее время наблюдается тенденция к повышению степени автоматизации выполнения функций АСИО.

Качественные показатели (возможность ступенчатого наращивания элементов АСИО, возможность замены морально устаревшего и физически изношенного оборудования без прерывания работы других элементов АСИО, технологичность изготовления нестандартного оборудования и сборки элементов АСИО и др.) определяются экспертным путем.

Использование обоснованных требований и показателей эффективности позволит проектировать конкурентоспособные автоматизированные системы инструментального обеспечения ГПС.

УДК 629.025

Л. В. Лукиенко, А. И. Чернышев
ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ХРАНЕНИИ ЗЕРНА

Аннотация: в работе рассмотрены особенности работы установок вертикального транспорта на примере вертикальных конвейеров для транспортировки зерна к устройствам его хранения. Показан переменный характер загруженности подобных установок, обусловленный неравномерной подачей зерна в транспортирующие ковши. Предложены рекомендации по обеспечению энергосберегающего режима работы установки для вертикального транспорта зерна за счёт применения частотно-регулируемого привода

Ключевые слова: вертикальный конвейерный транспорт, привод конвейера, хранение зерна, частотно-регулируемый привод

L. V. Lukienko, A. I. Chernyshev

REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION DURING THE OPERATION OF VERTICAL TRANSPORT DURING GRAIN STORAGE

Abstracts: the paper considers the features of the operation of vertical transport installations on the example of vertical conveyors for transporting grain to its storage devices. The variable nature of the workload of such installations is shown, due to the uneven supply of grain to the conveying buckets. Recommendations are proposed to ensure an energy-saving mode of operation of the installation for vertical grain transport through the use of a frequency-controlled drive

Keywords: vertical conveyor transport, conveyor drive, grain storage

В настоящее время перед сельским хозяйством России поставлены задачи не только увеличения сбора урожая зерновых, но и повышение эффективности его хранения при снижении энергозатрат. Это обусловлено тем, что затраты на хранение урожая составляют 30,9 % [2]. Решению этих важных народно-хозяйственных задач посвящены работы Строгина Ю.Б. [1], Бычковой Г.Н. [2], Киселёва Б.Р. [3], Куликова В.Н. [4], Буйновского А.Н. [5], Балашова В.П. [6], Шатохина И.В. [7], Кускильдина Р.Б. [8], Тарасенко А.П. [9], Волошина Е.В. [10] и других учёных. В своих работах они затрагивали различные вопросы проектирования и эксплуатации вертикального транспорта в сельском хозяйстве на стадии хранения зерна. Поэтому избранная тема исследования обладает актуальностью.

Цель работы состоит в обосновании методов снижения энергозатрат при работе вертикального транспорта при хранении зерна на основе анализ конструктивных особенностей применяемого оборудования и условий его работы.

Можно выделить следующие традиционные стадии работы с собранным зерном: его приём, обработка (очистка и сушка), хранение, перемещение и отпуск. Проведённый анализ показал, что наиболее сложным и энергозатратным является перемещение промежуточных продуктов технологического процесса в вертикальном направлении. Применение канатного подъёма (лифты, клети) ограничивает возмож-

© Лукиенко Л. В., Чернышев А. И., 2023

ности вертикального транспорта цикличностью, недостаточной надёжностью, а также влиянием веса каната на допустимую высоту подъёма.

Анализ конструкций устройств вертикального транспорта, представленный в работах показывает, что [3–7] основное внимание уделено вопросам снижения просыпания транспортируемого груза. В [1] автор обоснованно отмечает весьма высокую вероятность работы вертикальной транспортной установки по транспортировке зерна с недогрузкой и недостаточной энергоэффективностью. Для решения этой важной народно-хозяйственной задачи автор предлагает применение ступенчато регулируемых асинхронных двигателей с возможностью переключения трёхфазных потребителей со схемы «треугольник» на схему «звезда». При этом мощность трёхфазных приводных асинхронных электродвигателей снижается и потери энергии становятся менее значительными. К основным недостаткам подобного способа регулирования частоты вращения приводного асинхронного двигателя можно отнести сложность: прежде всего, необходимо правильно определить время переключения, так как при слишком раннем замыкании электрических контактов возможно возникновение короткого замыкания.

От этого недостатка способа регулирования частоты вращения электродвигателя свободен частотно регулируемый электропривод. К его основным достоинствам можно отнести: плавность и широкий диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя; плавный разгон без повышенных пусковых токов при пуске двигателя; использование обратной связи системы с частотным преобразователем обеспечивает качественное поддержание частоты вращения двигателя при переменных рабочих нагрузках. При этом неизбежно снижается изнашивание машин и механизмов, работающих в цепи с асинхронным электродвигателем, управление которым осуществляется посредством частотного регулирования. Преобразователи частоты имеют значительно более широкий диапазон регулирования по сравнению, например, с гидравлической муфтой или механическим вариатором. Надёжность преобразователя частоты также намного выше, чем надёжность других управляющих устройств, особенно гидравлических. Применение подобного регулирования привода создаёт возможность отказа от дополнительных управляющих систем, и, таким образом, снижения неизбежных потерь в системе управления приводом.

В настоящее время распространение получили два способа управления частотно-регулируемым преобразователем: метод векторного управления и способ управления по заранее заданной характеристике зависимости частоты вращения электродвигателя от частоты электрического тока. Первый способ более предпочтителен, так как может быть использован для регулирования частоты вращения элементов привода ответственного промышленного оборудования, к которому, без сомнения, можно отнести установки вертикального транспорта. В пользу подобной рекомендации говорит то, что частотно-регулируемый привод с широтно-импульсным модулированием (ШИМ) (прямоугольное или синусоидальное ШИМ), представляющий собой инвертор с двойным преобразованием напряжения, находит широкое применение в механизмах подачи очистных комбайнов, работа которых проходит в условиях значительных динамических нагрузок. Управление таким инвертором осуществляется посредством работы встраиваемых программируемых микроконтроллеров.

В работе проведён анализ конструкций привода вертикальных транспортных установок. Показано, что наиболее перспективным направлением совершенствования привода установок является применение частотно-регулируемого привода, что позво-

лит в значительной степени снизить энергопотребление при осуществлении технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строгина Ю.Б. Совершенствование электропривода вертикальных установок конвейерного транспорта. Автореферат дисс. … к.т.н., Краснодар, 2004, 20 с.

2. Бычкова Г. Н. Экономическая эффективность применения инновационных технологий хранения зерна / Г. Н. Бычкова, Е. М. Поверинова, В. А. Боровинских. — Текст: электронный // XIX Международная конференция «Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования" : сборник материалов конференции. — Екатеринбург, УрФУ, 2016. — С. 2431-2440.

3. Киселев, Б.Р. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие/ Б.Р. Киселев, М.Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2019. – 179 с.

4. Куликов В.Н., Миловидов М.Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности. - М.: ВО «Агропромиздат», 1991. – 383 с.

5. Ковшарь В.М., Буйновский А.Н. Ковшовый элеватор (нория) для сыпучих материалов. МПК B65G 17/12, 2737177 C1 Дата регистрации: 25.11.2020

6. Балашов В.П., Балашов А.В., Негримовский М.Г. Нория. МПК B65G 17/36, 2397130 C1, Опубликовано: 20.08.2010 Бюл. № 23

7. Шатохин И. В., Парфенов А. Г. Оценка дробления зерна различных культур нориями / Лесотехнический журнал №1, с. 244-249, 2015

8. Кускильдин Р.Б., Кольга А.Д. Использование установок непрерывного транспорта в качестве шахтного подъема / Современные проблемы транспортного комплекса России. Т.3, №2, с. 196-203

9. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж : ВГАУ, 2003. – 331 с.

10. Волошин Е.В. Элеваторы и склады: учебное пособие: в 2 Ч. Часть 2 / Е.В. Волошин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019 – 97 с.

УДК 351.862.001, 614.8.084

В. А. Малышев, А. В. Борисов
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОЙ ПИТЬЕВОГО КАЧЕСТВА ЛИЧНОГО СОСТАВА АЭРОМОБИЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

Аннотация: в статье исследована задача по обеспечению водой питьевого качества спасателей, включенных в состав аэромобильных группировок, определены узкие места и выработаны предложения по обеспечению эффективности выполнения этой задачи

Ключевые слова: обеспечение водой АМГ, нормы водопотребления, средства очистки воды, эффективность выполнения задачи по обеспечение водой.

V. A. Malyshev, A. V. Borisov

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROVIDING DRINKING WATER TO THE PERSONNEL OF AIRMOBILE GROUPS

Abstracts: the article investigates the task of providing drinking quality water to rescuers included in the airmobile groups, identifies bottlenecks and develops proposals to ensure the effectiveness of this task.

Keywords: AMG water supply, water consumption standards, water purification products, the effectiveness of the task of providing water.

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (далее ЧС) в интересах спасательных формирований, проводящих аварийно-спасательные и другие неотложные работы, и обеспечения водой пострадавшего населения [1, 2] организуется полевое водоснабжение, значение которого из года в год повышается.

Это обусловлено:

- во-первых, повреждением или невозможностью использования элементов систем водоснабжения населенных пунктов, находящихся в зоне ЧС;

- во-вторых, ростом загрязненности природных источников воды, особенно в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

- в-третьих, необходимостью соблюдения требований [4] к качеству воды на хозяйственно-питьевые нужды и применением современных норм водопотребления [3];

- в-четвертых, тяжелой физической работой спасателей при ликвидации последствий ЧС, вызывающей обильное выделение пота, составляющее 6–8 литров в сутки [5], что приводит к обезвоживанию (дегидратации) организма и снижению работоспособности. Данные медицинских экспериментов свидетельствуют о том, что при потере влаги в размере 6–8 % от веса тела человек впадает в полуобморочное состояние, при потере 10 % – начинаются галлюцинации, при 12 % человек не может восстановиться без специальной медицинской помощи, а при потере 20 % наступает неизбежная смерть.

© Малышев В. А., Борисов А. В., 2023

Вместе с тем, на практике полевому водоснабжению уделяется недостаточное внимание, особенно это касается организации функционирования, создаваемых для выполнения первоочередных работ при ликвидации ЧС, аэромобильных группировок (далее – АМГ), численность которых определяется исходя из принадлежности АМГ (субъекту Российской Федерации, либо спасательным воинским формированиям, либо учебным заведениям) и может составлять 100, либо 200 человек [2].

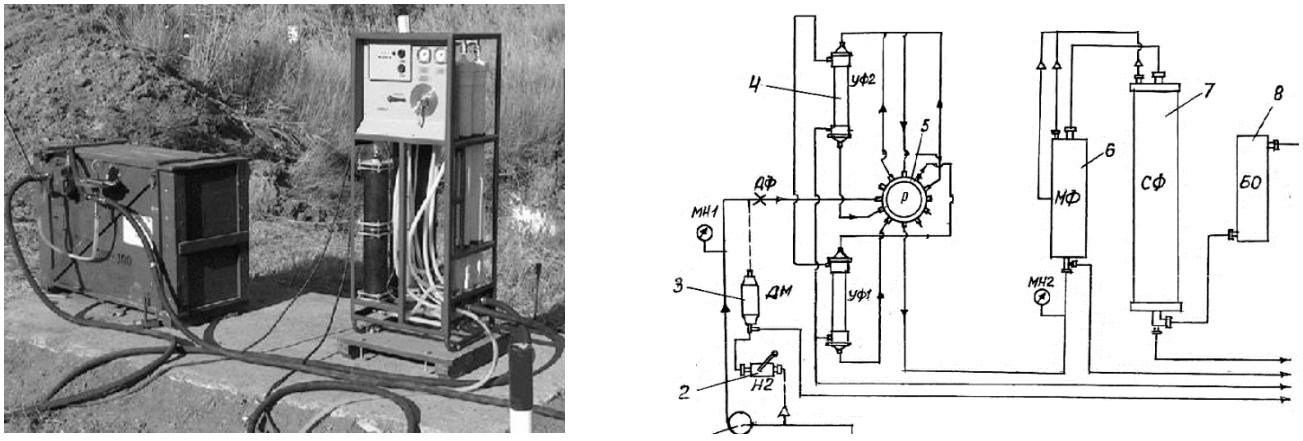
В качестве примера можно привести следующее – запас продуктов питания группировка должна иметь из расчета на весь срок действия (10 суток), а запас бутилированной воды для формирований с вышеуказанной численностью – 200 или 400 пятилитровых бутылей, соответственно. Расчеты показывают, что запас бутилированной воды для АМГ создается лишь на одни сутки из расчета 10 л на одного человека в районе проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Отсюда возникают два вопроса – какова норма потребления воды и каковы потребности в водоснабжении группировки при расположении спасателей в полевых лагерях?

На наш взгляд, здесь необходимо учитывать требования, отраженные в «Руководстве по продовольственному обеспечению военнослужащих…» [3]: «…обеспечение водой в полевых условиях организуется исходя из предъявляемых требований по ее качеству и возможностей по подвозу, но не менее чем из расчета на 1 человека в сутки:
с 15 октября по 15 апреля: в умеренном климате – 15 л; в жарком климате − 20 л;
с 16 апреля по 14 октября: в умеренном климате – 20 л, в жарком климате – 25–30 л».

Таким образом среднюю величину нормы потребления воды только на продовольственные нужды на 1 человека в сутки можно принять 20 л. Тогда, суточная потребность в воде АМГ численностью 100 чел. составит 2 м^3.

Эффективность (степень) обеспечения водой ***К***вз группировки вполне закономерно зависит от наличия средств полевого водоснабжения и их возможностей. Поэтому в целях обеспечения автономного водоснабжения в районе ЧС в Перечень необходимого оборудования, аварийно-спасательного имущества, включаемого в материальный резерв для АМГ определены «мини станции комплексной очистки воды» [2].

Конкретный тип и модель этих станций в указанном документе не определены. Вероятнее всего это переносные водоочистные установки типа ПВУ – 300 (рис.1).



а) *б)*

Рис. 1. Переносная водоочистная установка ПВУ-300:
а) − общий вид; *б)* − технологическая схема; 1− электронасос; 2− ручной насос; 3 – демпфер; 4 – ультрафильтрационный аппарат (УФА); 5 – распределитель; 6 – микрофильтр;

7 – сорбционный фильтр; 8 – блок обеззараживания воды; 9 – резервуар для чистой воды

Рассмотрим принцип работы водоочистных установок ПВУ-300, находящихся на оснащении силовых структур Российской Федерации. Производительность ПВУ (СКО-03) 300 л очищенной воды в час. Применение реагентов при очистке воды не предусматривается.

В комплекте ПВУ-300 в кожухе расположена сама установка ультрафильтрационных аппаратов (УФА), микро- и сорбционные фильтры, блок обеззараживания воды, имеется выносной электрический и ручной насосы, резервуар для воды, комплект всасывающих и напорных трубопроводов, а также запасные части. Технологическая схема работы ПВУ-300 приведена на рисунке 1б [5, 6].

Исходная вода из источника ручным или электрическим насосом подается в распределитель и УФА, где она, проходя по каналам полых волокон, фильтруется и очищается от естественных загрязнений и частично от органических соединений и вирусов. Далее вода поступает в микрофильтр, где два картриджных мембранных элемента избавляют воду от бактерий и в споровой форме. На сорбционном фильтре вода очищается от отравляющих и растворимых органических веществ.

Эффективность (степень) обеспечения водой $К_{вз}$ группировки можно определить по следующей зависимости:

$$К_{вз} = \frac{Q_в}{Q_п}, \quad (1)$$

где: $Q_п$ – суточная потребность группировки в воде, м^3/сут;
$Q_в$ – возможности по добыче и очистке воды, м^3/сут.

При этом принято считать, что задача выполняется если значение показателя эффективности (степени) обеспечения водой находится в пределах $0{,}8 \leq К_{вз} \leq 1{,}0$, а при $К_{вз} \leq 0{,}8$ – задача по обеспечению водой не выполняется, что может привести к обезвоживанию (дегидратации) личного состава и снижению его работоспособности. Поэтому необходим поиск других решений задачи по обеспечению водой, к которым можно отнести следующие варианты – изменение оснащенности группировки, осуществление обеспечения водой группировки по минимально-допустимым нормам водопотребления, применение индивидуальных средств очистки воды:

1. Изменение оснащенности группировки. Как мы уже отмечали, для обеспечения АМГ только для приготовления пищи необходимо не менее 2 м^3 воды в сутки. Производительность одной установки 300 л /час, тогда для удовлетворения потребности АМГ в воде необходимо до 7 часов непрерывной работы ПВУ-300, не считая объема воды, необходимой для промывки УФА.

Вероятно, для решения задачи водоснабжения таких установок должно быть не менее двух. Но, даже в этом случае только АМГ будет обеспечена водой полностью при условии работы установки не менее 10 часов в сутки. Следует отметить, что переносная водоочистная установка довольно дорогостоящая, сложна в эксплуатации и требует специально подготовленного расчета.

Возможен вариант дополнительного оснащения рассматриваемых структур комплектами носимых фильтров НФ-50 [6] для обеспечения питьевой водой взводов, отде-

лений и расчетов машин. Фильтр снабжен ручным насосом, упакован в специальную заплечную сумку и легко транспортируется личным составом.

Комплект (рис. 2) включает корпус с вмонтированным насосом и патронным сорбционно-мембранным фильтрующим элементом, заборный фильтр, дезинфицирующие таблетки, сумку-чехол для укладки, ЗИП, два резервуара РДВ-25, емкостью по 25 л каждый, для очищаемой и чистой воды [6].

Порядок работы комплекта следующий: исходная вода предварительно обрабатывается в резервуаре дезинфицирующими таблетками «Акватабс» или «Аквасан», после чего прокачивается насосом через фильтрующий элемент.

В случае невозможности изменения оснащенности группировки соответствующим количеством средствами очистки воды возможен вариант снижения единичных норм водопотребления.

Рис. 2. Носимый фильтр НФ-50

В случае невозможности изменения оснащенности группировки соответствующим количеством средствами очистки воды возможен вариант снижения единичных норм водопотребления.

2. По согласованию с медицинской службой и последующим разрешением старшего начальника возможно обеспечение водой группировки осуществить по минимально-допустимым нормам водопотребления (таблица), при которых сохраняется активная деятельность спасателя в течение трех суток [4]. При ношении защитной одежды потребность в питьевой воде увеличивается на 2–5 л в зависимости от температуры воздуха, тяжести нагрузки и типа одежды.

Таблица. **Минимальные нормы потребления питьевой воды (литров на одного человека в сутки)**

Вид потребления	**При умеренной погоде (до +25°С)**	**При жаркой погоде (более +25°С)**
Приготовление чая и запас воды во фляжках	2,5	4,5
Умывание	1,0	1,0
Приготовление пищи и мытье котелков	2,0	2,0
Всего:	5,5	7,5

3. Применение индивидуальных средств очистки воды. В Перечне рекомендуемого оборудования аварийно-спасательного имущества и снаряжения, включены такие средства в Укладку для индивидуального оснащения спасателя [2]. Однако данным документом не установлен ни тип средств, ни порядок их применения.

Вероятнее всего этим средством может быть применяемый в силовых структурах России индивидуальный носимый фильтр НФ-10, либо его модификация – НФ-10В. Эти средства выдаются, как правило, каждому военнослужащему позволяют автономно получить минимально-обоснованное количество питьевой воды из необследованных источников. Комплект фильтра (рис.3) включает ручной насос и комплект сменных фильтрующе-сорбционных элементов, обеспечивающих очистку воды от естественных и бактериальных загрязнений, отравляющих веществ и ядов. Производительность фильтров 10 л/ч, а ресурс работы фильтрующего элемента до его замены составляет – 10 и 3 л, соответственно.

Рис. 3. Индивидуальный носимый фильтр НФ-10

Следует заметить, что рассмотренные в статье вопросы по организации обеспечения питьевой водой, касаются не только АМГ от спасательных воинских формирований, составляющих примерно 10 % от всего состава группировок министерства, но и спасательных формирований, создаваемых другими организациями (учреждениями) МЧС России.

Таким образом, реализация выработанных предложений позволит повысить надежность обеспечения водой личного состава аэромобильных группировок при выполнении аварийно-спасательных и других неотложных работ, что способствует сохранению здоровья спасателей и их работоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения (утв. МЧС России 20.08.2020 N 2-4-71-18-11) [Электронный ресурс] // URL: http://docs.cntd.ru/document/420224830 (Дата обращения: 05.03.2023). − текст непосредственный

2. Приказ МЧС России от 20 октября 2017 г. № 448 «Об утверждении Положения об аэромобильных группировках МЧС России» [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71725376/ (Дата обращения: 05.03.2023) − текст непосредственный

3. Приказ Министра обороны РФ от 21 июня 2011 г. № 888 «Об утверждении Руководства по продовольственному обеспечению военнослужащих Вооруженных Сил Российской Федерации и некоторых других категорий лиц, а также обеспечению кормами (продуктами) и подстилочными материалами штатных животных воинских частей в мирное время» [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. URL: http://base.garant.ru/55172034/ (Дата обращения: 04.03.2023) − текст непосредственный

4. Руководство по полевому водоснабжению войск − М.: ВИ, 1984. – 104 с. − текст непосредственный

5. П. П. Александров, И.В. Кравец, О.Р. Сайфулин. Полевое водообеспечение войск. Учебник / – Москва: ВИА, 2007. −160 с. − текст непосредственный.

6. Спасательная техника и базовые машины: учебное пособие: в 3-х ч./ ред. В.А. Васьков. Ч. 3: Средства энерговодообеспечения/ А.А. Аграновский, В.А. Васьков, В.А. Малышев, 2011. – 125 с. - − текст непосредственный.

УДК 004

А. Ю. Никитин, М. А. Федяшина, Л. В. Гулева
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА ПО ИНЖЕНЕРНО-ГРАФИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗАХ

Аннотация: В статье рассматриваются проблемные вопросы, связанные с подготовкой образовательного контента в вузах для инженерно-графических дисциплин при дистанционном формате обучения, а также даются некоторые рекомендации для разработки такого контента.

Ключевые слова: начертательная геометрия, инженерная графика, дистанционное образование, образовательный контент, системы автоматизированного проектирования.

A. Y. Nikitin, M. A. Fedyashina, L. V.Guleva

RECOMMENDATIONS FOR THE PREPARATION OF EDUCATIONAL CONTENT IN ENGINEERING AND GRAPHIC DISCIPLINES FOR DISTANCE EDUCATION IN UNIVERSITIES

Abstracts: The article deals with problematic issues related to the preparation of educational content in universities for engineering and graphic disciplines in the distance learning format, and also provides some recommendations for the development of such content.

Keywords: descriptive geometry, engineering graphics, distance education, educational content, computer-aided design systems.

© Никитин А. Ю., Федяшина М. А., Гулева Л. В., 2023

В 2020 году из-за пандемии COVID-19 в большинстве вузов обучающиеся полностью или преимущественно перешли на дистанционное образование. Данный формат образования существовал и ранее, но в значительно меньших масштабах [1, с. 313]. Сегодня дистанционное обучение в основном проводится в онлайн формате.

Дистанционный формат образования имеет как свои плюсы, так и минусы, но неоспоримым остается тот факт, что в этом формате существует определенный дефицит непосредственного общения между преподавателем и обучающимися. Обусловлен этот дефицит в основном следующими факторами: необходимостью наличия технических средств связи и стабильных каналов связи, а также возможной разницей во времени из-за несовпадения часовых поясов между сторонами общения.

Но даже в случае, если все технические вопросы успешно решены, все равно никакие высокие технологии и средства связи не смогут полностью заменить живое общение обучающихся с преподавателем. Студент на дистанционной форме обучения лишен возможности зайти к преподавателю на кафедру, задать интересующие его вопросы, сразу же получить квалифицированный и полный ответ и продолжить выполнять полученное задание, не откладывая его на более поздний срок. При дистанционном общении такие простые и привычные действия становятся более сложными для реализации, отнимая при этом значительно большие ресурсы времени [2, с. 65].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что для оптимизации процесса дистанционного обучения весь образовательный контент, включая учебники, методические указания, задания для выполнения РГР и КР и т.д., имеет смысл обновить и переработать с той целью, чтобы изложенный материал был бы более наглядным и понятным, а у обучающихся, соответственно, возникало бы меньше вопросов из-за недопонимания этого материала.

При переходе заочной формы обучения на дистанционный формат с использованием онлайн-технологий большинство преподавателей вузов не включились в разработку нового образовательного контента, специально подготовленного с учетом специфики дистанционного обучения. Они в основном использовали электронную версию ранее имевшихся у них материалов. Чаще всего это были файлы формата pdf (Portable Document Format), текстовые документы Microsoft Office, отсканированные изображения в формате jpeg и др. В них содержались варианты заданий, текстовая информация, необходимые иллюстрации и пояснения. Эти файлы размещали в сети интернет с возможностью доступа к ним обучающихся, рассылали при помощи электронной почты или мессенджеров

На начальном этапе развития дистанционной формы обучения такой подход вполне себя оправдывал. У профессорско-преподавательского состава не хватало необходимого опыта работы в дистанционном формате, не было сформировано понимание того, что и как нужно изменить или переработать в образовательном контенте, чтобы он соответствовал специфике данной формы образования. По мере накопления опыта возникали интересные идеи о модернизации учебных материалов на основе широкого использования возможностей современных технологий [2, с. 63].

В значительной мере это справедливо для инженерно-графических дисциплин (начертательная геометрия, инженерная графика). Специфику данных дисциплин характеризует тот аспект, что образовательный контент для них представляет из себя документы, содержащие в основном графические построения. В то время как у ряда прочих дисциплин в качестве учебного материала выступают прежде всего страницы с текстом плюс некоторое количество иллюстраций, фото, графиков, схем и т.д.

Рассмотрим в качестве примера задания для выполнения КР и РГР по инженерно-графическим дисциплинам, предназначенных для дистанционной формы обучения. В подавляющем большинстве данные задания представляют из себя файлы pdf, в которых содержится описательная текстовая часть задания, а также изображение, полученное одним из двух способов:

- графическое построение, выполненное в каком-либо САПР (AutoCAD, КОМПАС 3D и т.д.), распечатанное на бумаге, отсканированное и импортированное в файл pdf;

- графическое построение, выполненное в каком-либо САПР (AutoCAD, КОМПАС 3D и т.д.), сохраненное в формате растрового изображения (jpeg, png и т. д.), после чего это изображение вставлено в файл pdf. Пример такого задания одного из российских вузов показан на рис. 1.

В обоих этих случаях мы имеем файл pdf, в котором графическая информация представлена в растровом формате. Данный формат подходит для отображения фотографий и рисунков, но для инженерной графики предпочтительным является векторный формат изображений. Качество растрового изображения, как видно на рисунке, оставляет желать лучшего.

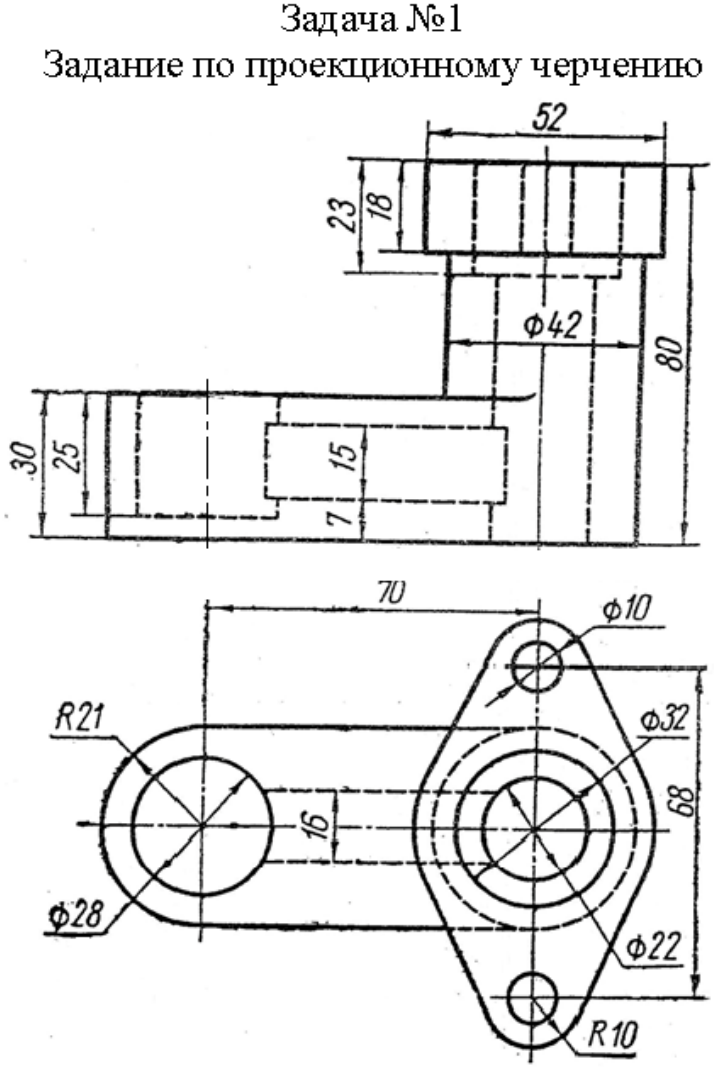


Рис. 1. Пример задания
по проекционному черчению МГСУ

В САПР чертежи создаются именно в векторном формате. Кроме того векторная графика обеспечивает масштабирование изображений без потери качества. Формат pdf имеет широчайшие возможности по работе как с растровой, так и с векторной графикой, но чаще всего они оказываются востребованы не полностью.

Разницу в качестве изображений при масштабировании (увеличении размера отображения) между растровой и векторной графикой можно увидеть на рис. 2.

Часть изображения, обведенная красной линией, представлена на правой стороне рисунка с увеличением до 400 % в программе Adobe Acrobat Reader DC. При этом становится хорошо заметно, что расположенная вверху надпись «Вариант 1» при увеличении масштаба отображения остается качественной и хорошо читаемой, так как она была выполнена в векторном формате. Изображение, размещенное ниже этой надписи, является растровым, в результате чего становятся видны его недостатки: неровный текст, «рваные» линии, толщина которых имеет разную величину по всей длине, артефакты в виде точек на белом фоне. Иногда качество таких растровых изображений в заданиях бывает настолько низким, что часть информации становится просто нечитаемой.

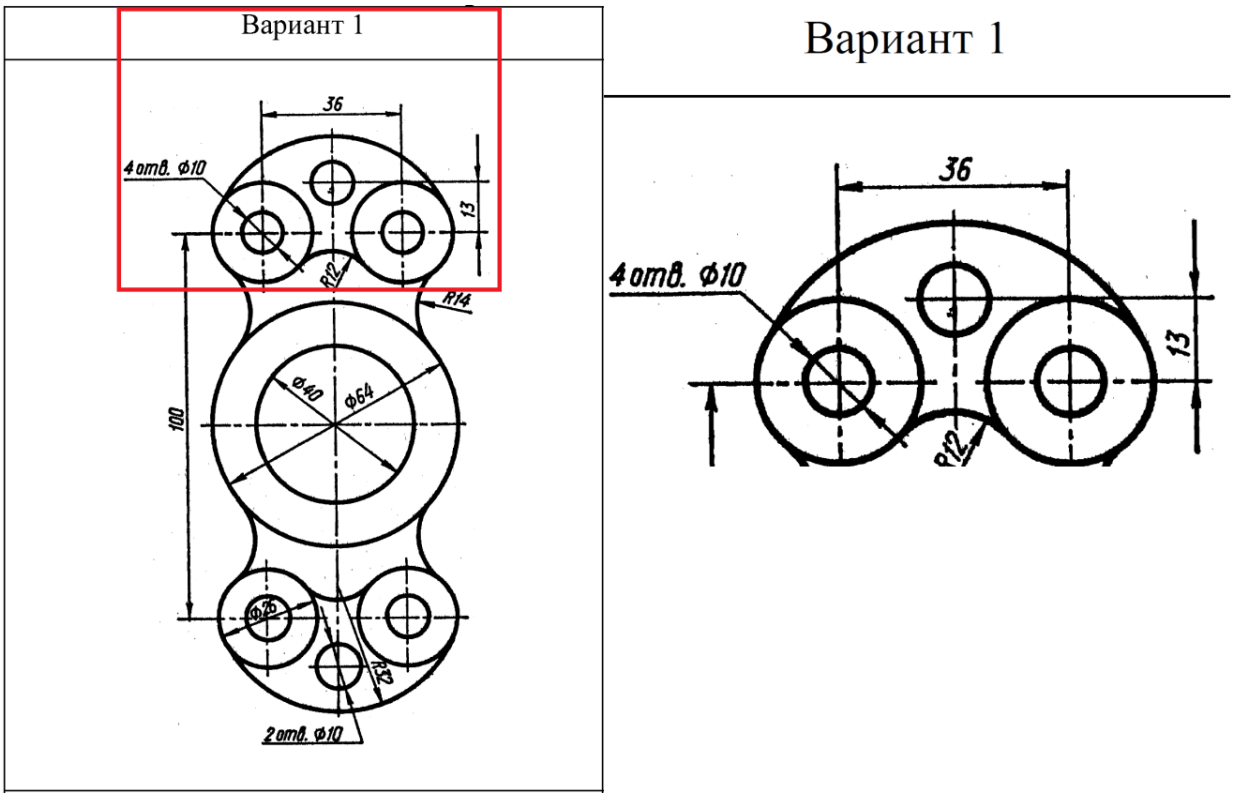


Рис. 2. Демонстрация падения качества растрового изображения при масштабировании

Отдельно хотелось бы подчеркнуть, что векторная графика имеет преимущество перед растровой именно при выполнении построений, связанных с инженерной графикой. Во многих других случаях предпочтительной является графика растровая.

Наиболее простыми и оптимальными способами подготовки качественной графической части учебных материалов в виде файлов pdf предлагаем считать следующие:

- первый способ - достаточно в любом САПР создать лист нужного формата, разместить на нем необходимую текстовую информацию, добавить изображения, выполненные в этом же САПР, и макет готов. Далее следует эту страницу при помощи виртуальных принтеров перевести в формат pdf. В Академии ГПС МЧС России для этих целей используется продукция компании AutoDesk AutoCAD, а также виртуальный принтер этой программы DWG To PDF.pc3. Так как чертежи в AutoCAD имеют векторную структуру, то и в файл pdf вся информация (текст, изображения) перейдет тоже в векторном формате. Далее полученные таким образом страницы задания необходимо объединить в один файл при помощи какого-либо редактора pdf (Adobe Acrobat Pro DC, Bluebeam Revu).

- второй предлагаемый вариант разработки контента более трудоемкий, но плюс его заключается в том, что значительная часть подготовки материалов происходит по хорошо известной всем преподавателям схеме. Сначала создается макет задания в любом текстовом редакторе. Необходимые изображения вычерчиваются при помощи САПР, а затем конвертируются в растровый формат (jpeg, png и т. д.). Эти растровые изображения импортируются в макет задания. Они нужны только для того, чтобы обозначить местонахождение будущих рисунков, а также для определения площади, которую они будут занимать на листе.

Когда макет задания будет полностью готов, его необходимо конвертировать в формат pdf. У большинства текстовых редакторов есть такая функция. Далее для улучшения качества изображений этот файл нужно открыть в редакторе pdf и произвести замену растровой графики на векторную. Растровые рисунки надо будет просто выделить и удалить. А на освободившееся место вставить векторные изображения, выполненные, например, в AutoCAD и сохраненные при помощи виртуального принтера в pdf.

Используя любой из вышеописанных способов, можно в итоге получить образовательный контент для инженерно-графических дисциплин в виде файла формата pdf, в котором помимо описательной текстовой части будут содержаться изображения в высоком качестве. Причем, если возникнет необходимость данный учебный материал распечатать на бумаге, то его качество также окажется выше, чем при использовании растровых изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин А.Ю., Федяшина М.А. Особенности преподавания дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» в формате дистанционного обучения // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 312–317.

2. Никитин, А. Ю., Федяшина, М. А., Гулева, Л. В. Совершенствование методики разработки заданий для выполнения расчетно-графических и контрольных работ по инженерно-графическим дисциплинам [Текст] / Никитин, А. Ю., Федяшина, М. А., Гулева, Л. В. // Высшее образование сегодня. – 2022. – № 3-4. – С. 63-67.

УДК 004.9

С. А. Никитина, О. В. Хонгорова
ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация: В статье рассматривается вопрос цифровизации высшего образования и компоненты цифровых технологий. Рассматривается вопрос цифровой грамотности**,** которая становиться необходимым условием в современном мире и в образовательном процессе, в частности. Обозначается важность цифровой грамотности как обучающегося, так и преподавателя. Приводятся основные виды цифровых навыков, которыми должен обладать преподаватель в эпоху цифровизации образования.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые технологии, образовательный процесс, цифровая грамотность.

S. A. Nikitina, O. V. Khongorova

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Abstracts: The article deals with the issue of digitalization of higher education and the components of digital technologies. The issue of digital literacy of students and teachers is considered, which is becoming a necessary condition in the modern world and in the educational process, in particular. The main types of digital literacy and digital skills that a teacher should have in the era of digitalization of education are given.

Keywords: digitalization, digital technologies, educational process, digital literacy.

В современном мире цифровые технологии прочно вошли во все сферы общества и стали неотъемлемой частью нашей жизни. Безусловно, что постоянно развивающиеся информационные технологии оказывают свое влияние и на сферу образования. В современных условиях цифровизации необходимость модернизации системы образования с привлечением новых информационно-коммуникационных технологий очевидна.

Масштабному освоению и внедрению цифровых технологий, практически во всех сферах деятельности, положил Государственный национальный проект «Цифровая экономика РФ» [1].

Развитие цифровизации общества потребовало совершенствования системы образования, которое направлено на реорганизацию образовательного процесса, основанную на использовании новых информационных технологий. Это позволит решить задачи подготовки высококвалифицированных специалистов, компетенции, знания, умения и навыки которых будут отвечать современным требованиям времени и рынка.

Термин «цифровизация» трактуются исследователями по-разному: как перевод информации в «цифру»; как новая парадигма мысли, общения, взаимодействия друг с другом; как новый этап развития общества, приводящий к росту качества жизни населения; как средство усовершенствования бизнес-процессов и комплекс-

© Никитина С. А., Хонгорова О. В., 2023

ного решения задач инфраструктурного, управленческого, поведенческого и культурного характера [2].

Анализ практики работы вузов страны показывает, что цифровые технологии все больше и больше проникают в организацию учебно-воспитательного процесса, происходит бурное распространение новой компьютерной техники, программного обеспечения и цифровых технологий [3].

Основными компонентами цифровых технологий в образовании являются:

- цифровая образовательная среда;
- цифровые процессы организации учебного процесса;
- цифровые технологии проверки знаний, навыков, умений, профессиональных и общекультурных компетенций обучающихся.

Цифровые технологии дают большие возможности для совершенствования процесса образования, преимущества которых состоят в том, что они применяются преподавателями независимо от специфики преподаваемого предмета, не знают границ, могут адаптироваться к различным системам образования и являются одним из главных инструментов позволяющим достигнуть повышения эффективности в формировании необходимых компетенций у обучающихся.

Сегодня цифровые технологии в образовании - это уже не только электронные презентации или использование видео, но и прямые подключения к электронным базам данных, видео трансляциям, использование системы виртуальной (VR) и дополненной реальностей (AR). Технологии VR и AR применяются в программах иммерсивного обучения (IE) (immersive education). Такие программы включают в себя использование современных информационных технологий в процессе обучения, который проходит внутри различных виртуальных миров и симуляций, причем часто в игровой форме. Такой вид обучения способствует повышению вовлеченности, коммуникаций между студентами и интереса к предмету [4].

Использование информационно-коммуникативных технологий, безусловно позволяет делать изучаемый материал более наглядным и доступным для понимания и запоминания, что способствует повышению качества образования.

Внедрение новых технологий требует цифровой грамотности для работы с ними. В современном цифровом мире цифровая грамотность позволяет человеку жить, учиться и работать, она изменяет само мышление человека, позволяя эффективно находить и обрабатывать требуемую информацию в любом формате цифровой среды (текстовом, аудиальном, визуальном). Кроме того, она требует критического мышления, усвоения определенных стандартных поведенческих правил в цифровой среде, твердого ориентирования в потоке проблем, генерируемых цифровыми технологиями [5].

Понятие «цифровая грамотность» было введено в XX веке американским писателем и журналистом Полом Гилстером. Он писал, что «цифровую грамотность можно трактовать, как умение понимать и использовать информацию, представленную во множестве разнообразных форматов и широкого круга источников с помощью компьютера» Цифровая грамотность предполагает способность критически оценивать информацию, представленную в разных форматах, и принимать решения о том, как ее использовать в различных контекстах реальной жизни [6].

Сегодня под цифровой грамотностью рассматривают такие ее виды: информационная, компьютерная, коммуникативная грамотность, а также медиаграмотность и отношение к технологическим инновациям.

В современном цифровом обществе многие обучающиеся имеют большой опыт использования цифровых технологий и им гораздо проще адаптироваться в рамках современного образовательного процесса и усваивать новые знания.

Цифровая грамотность преподавателя является одним из ключевых элементов успеха в использовании различных цифровых устройств в сфере образования. Особенно это касается преподавателей старшего возраста, которые имеют трудности в обращении с современными цифровыми технологиями, поэтому повышение компьютерной грамотности для этой категории преподавателей является важной и актуальной задачей.

В рамках цифровизации высшего образования квалификационные требования к профессорско-преподавательскому составу изменяются.

Цифровая грамотность преподавателя в современных условиях определяется такими навыками, как:

- поиск и работа с информацией;
- использование цифровых устройств;
- цифровая безопасность;
- управление информацией;
- организация обучения в цифровой среде вуза;
- коммуникация и кооперация в цифровой среде.

От современного преподавателя требуются такие умения, как оцифровка учебно-методического материала, разработка электронных учебников, создание открытых образовательных курсов и лекций, проведение занятий в онлайн режиме. Поэтому обновление своих знаний и компетенций, связанных с современными цифровыми технологиями становиться одной из целей профессионального роста преподавателя.

Таким образом, следует отметить, что цифровизация образовательного процесса приводит к необходимости развития цифровой грамотности. Цифровая грамотность становится неотъемлемой частью профессиональных компетенций преподавателя, основой цифровой коммуникации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р «Об утверждении программы Цифровая экономика Российской Федерации». base.garant.ru/71734878.

2. Индустрия российских медиа: цифровое будущее: акад. моногр. / Е. Л. Вартанова, А. В. Вырковский, М. И. Максеенко, С. С. Смирнов. Москва: Медиа-Мир, 2017. — 160 с.

3. Заруцкова В. М. // Актуальные исследования. 2022. №2 (81). С. 62-64. URL: https://apni.ru/article/3534-tsifrovizatsiya-professionalnogo-obrazovaniya

4. Шепелова Н.С., Шепелов Н.Н. Основные проблемы цифровой трансформации высшего образования в России// Экономические исследования и разработки. 2020. С. 87-89

5. Берман Н.Д. Формирование информационной компетентности студентов / Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2017. – Т. 8. – № 2-2. – С. 28-34

6. Организация современной информационной образовательной среды: учебно-методическое пособие / Т. Б. Захарова, А. С. Захаров, Н. Н. Самылкина, Н. А. Нателаури. – Москва: Прометей, 2016. – 278 с. – ISBN 978-5-9907986-4-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/89710 (дата обращения: 19.01.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Гриневич Л.А. Цифровизация высшего образования в современной России: теория и практика//Вестник КемГУКИ. 2021. №57. С. 242-248.

8. Федосеева Л.А., Дубровин Н.А., Ермолаева Е.Л., Воронцов А.М., Барсуков А.Е. Современные цифровые технологии в образовании// Современные научные исследования и инновации. 2020. № 11 [Электронный ресурс]. URL: https://web.snauka.ru/issues/2020/11/94049.

УДК 621.7

Н. А. Павлов, А. В. Топоров
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУЧНОГО НЕМЕХАНИЗИРОВАННОГО ПОЖАРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация: В статье приведены результаты испытаний образцов стали, подвергшейся различным видам обработки. Представлены механические характеристики. Обоснован выбор технологии изготовления ручного и немеханизированного пожарного инструмента.

Ключевые слова: технология изготовления, ковка, термическая обработка, сталь, ручной инструмент, немеханизированный инструмент, предел прочности, механические характеристики

N. A. Pavlov, A. V. Toporov

CHOICE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR MANUAL NON-MECHANIZED FIRE TOOLS

Abstracts: The article presents the results of testing samples of steel subjected to various types of processing. Mechanical characteristics are presented. The choice of manufacturing technology for manual and non-mechanized fire tools is justified.

Keywords: manufacturing technology, forging, heat treatment, steel, hand tools, non-mechanized tools, tensile strength, mechanical characteristics

© Павлов Н. А., Топоров А. В., 2023

В настоящее время в пожарной охране используется множество наименований ручного немеханизированного пожарного инструмента: ломы, багры, крюки, топоры, пилы, лопаты, ножницы для резки металлических решеток, комплект для резки электропроводов (ножницы, резиновый коврик, боты, резиновые перчатки, переносное заземление), комплект инструмента пожарного ручного немеханизированного УКИ-12, инструмент ручной аварийно-спасательный ИРАС [1].

Основным материалом, применяющимся для изготовления этих инструментов, является сталь различных марок, отличающаяся своими свойствами и механическими характеристиками. Однако, на прочности изделия помимо марки материала значительное влияние оказывает технология изготовления. Существует множество технологий производства стальных изделий, основными из которых являются литейное производство, обработка резанием, сварка деталей, обработка давлением, механическая обработка, порошковая металлургия и другие [2]. Для изготовления конкретного изделия выбирается определенная технология на основе следующих критериев: возможность достижения заданной точности деталей, обеспечение требований к качеству поверхностных слоев деталей, минимальная себестоимость обработки детали.

Ручной немеханизированный пожарный инструмент наиболее часто изготавливается из стальных заготовок с использованием технологии штамповки и ковки.

Технология штамповки имеет следующие достоинства: экономия металла за счет снижения потерь, возможность изготовления деталей сложных форм, снижение трудоемкости, получение изделий точной формы и конфигурации, высокая производительность. Недостатками штамповки являются: высокая стоимость проектирования и изготовления оснастки, сложность и энергоемкость процесса. Поэтому, технология штамповки используется, как правило, при массовом производстве однотипных изделий.

Технологии ковки присущи следующие достоинства: высокое качеств изделия с повышенными характеристиками прочности и пластичности, лучшей структурой, возможность обработки изделий различных габаритов, резкое снижение затрат на оборудование и инструменты. ввиду их универсальности; с помощью одного и того же оснащения, имеющегося на предприятии, можно изготовить большое количество самых разнообразных изделий с хорошим качеством металла, в связи с чем в единичном или мелкосерийном производстве ковка обычно оказывается наиболее экономически выгодным методом заготовительной металлообработки.

Недостатками данной технологии является относительно низкая производительность и большая трудоёмкость по сравнению со штамповкой, большие отходы металла. Эта технология наилучшим образом подходит для организации штучного или мелкосерийного производства.

После ковки или штамповки, как правило, дополнительно требуется механическая обработка для придания изделию конечной формы и размеров, и термическая обработка для обеспечения нужных механических свойств.

Таким образом, выбор технологии изготовления чаще всего обуславливается экономической целесообразностью, но при изготовлении некоторых образцов инструмента решающим фактором является его прочность, и другие механические характеристики, позволяющие сделать изделие легким и удобным в эксплуатации.

Для сравнения различных технологий были изготовлены стандартные образы в соответствии с [3]. Два образца были изготовлены из стальной штампованной заготовки методом механической обработки, два – методом ручной ковки при температу-

ре нагрева 750^0. Два образца - кованый и штампованный образцы подверглись термической обработке при нагревании до температуры 900^0 с последующим охлаждением в холодной воде. Два оставшихся образца термообработке не подвергались. Все образцы изготавливались из стали 35, имели размеры поперечного сечения рабочей части 22 на 2 мм.

На рисунке представлены зависимости нормального напряжения от абсолютного удлинения образцов. Как видим из рисунка 1 при штамповке без термообработки материал имеет наименьшую прочность (порядка 300 МПа), но при этом достаточно пластичен, о чем говорит широкая зона текучести (от 3 до 25 мм).

Интерес представляют образцы 2 (штамповка с термообработкой) и 3 (ковка без термообработки), диаграммы растяжения которых практически совпадают. Иными словами, в плане влияния на прочностные характеристики ковка получилась эквивалентна термической обработке. Образцы 2 и 3 имеют зону пластических деформаций, при этом для кованного образца она несколько меньше. Предел прочности для них практически одинаков и составляет порядка 450 МПа.

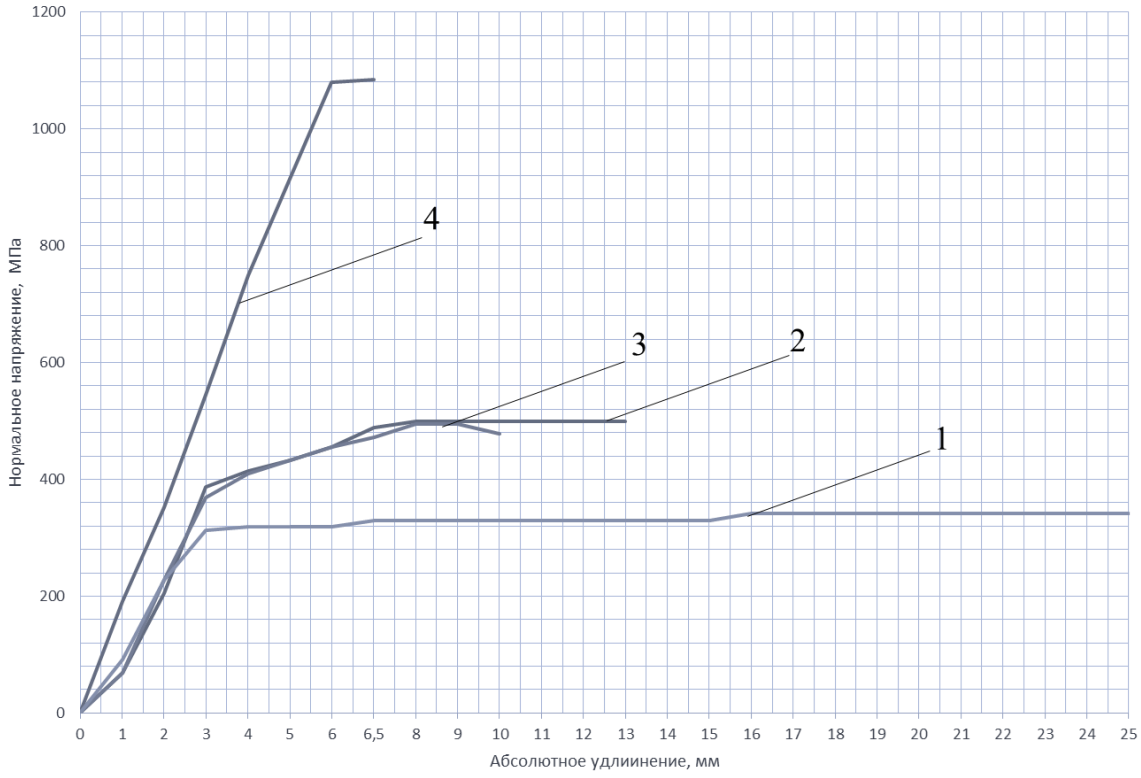


Рисунок. Зависимости нормального напряжения от абсолютного удлинения образцов:
1-штамповка без термообработки, 2- штамповка с термообработкой,
3- ковка без термообработки, 4-ковка с термообработкой

Кованый образец, подвергшегося термообработки (образец 4) зоны пластических деформаций практически не имеет, но его предел прочности является максимальным и достигает 1000 МПа. На графике возможно отметить, что все деформации образца происходят в зоне упругости.

Таким образом, с точки зрения прочности наиболее предпочтительной для изготовления ручного немеханизированного пожарного инструмента является технология ковки с последующей термообработкой.

Однако, нужно учитывать, что разрушение кованого и закаленного образца носило взрывоподобный характер- имело место хрупкое разрушение. Такой вид разрушений имеет потенциальную опасность, поскольку по внешнему виду изделия невозможно судить о критической нагрузке. Поэтому, в дальнейшем необходимо рассмотреть вариант использования местной закалки, чтобы упрочнить лишь рабочие части инструментов, оставив тело детали не термообработанным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарная техника: учебник / М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, П46 С. Г. Цариченко и др.; под ред. М. Д. Безбородько. – М.: Академия. ГПС МЧС России, 2015.

2. Общие основы технологии металлообработки и работ на. металлорежущих станках: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А. Г. Холодкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. 256 с.

3. Государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 471-88)" Металлы. Методы испытаний на растяжение" (утв. постановлением Госстандарта СССР от 16 июля 1984 г. N 2515.

УДК 620.191

Н. Л. Павлюкова
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ И ИХ УСТРАНЕНИЯ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Аннотация: рассмотрены проблемы создания классификации дефектов печати, создания базы данных дефектов и технологических режимов трехмерной печати, поставлена задача разработки автоматизированной системы контроля качества печати полимерными материалами.

Ключевые слова: аддитивные технологии, трехмерная печать, классификация дефектов, оптимизация режимов, база данных, автоматизированная система, полимерные материалы.

N. L. Pavlyukova

PROBLEMS OF CLASSIFICATION OF DEFECTS AND THEIR ELIMINATION IN 3D PRINTING WITH POLYMER MATERIALS

© Павлюкова Н. Л., 2023

Abstracts: the problems of creating a classification of printing defects, creating a database of defects and technological modes of three-dimensional printing, the task of developing an automated system for quality control of printing with polymer materials is set.

Keywords: additive technologies, three-dimensional printing, classification of defects, optimization of modes, database, automated system, polymer materials.

Применение трехмерной печати при изготовлении различных деталей уже не является редкостью. Печать полимерными материалами внедрена на предприятиях, доступна в условиях учебных лабораторий [2] и домашних мастерских. Первые стандарты в области аддитивных технологий были приняты в 2017 году, а в настоящее время разработано и утверждено около сорока ГОСТов.

Наиболее доступной для применения в настоящее время является трехмерная печать полимерными материалами, например, АБС (акрилонитрилбутадиенстирол), ПЛА (полилактид), нейлон, ПВА (водорастворимый пластик), карбон (пластик с углеродными волокнами) и др. Полученные из таких материалов изделия имеют высокую прочность и гибкость. Они используются, как для быстрого прототипирования при изготовлении тестовых изделий, так и для производства готовой продукции.

Одной из проблем трехмерной печати – это возникновение большого количества дефектов, которые приходится устранять методом «проб и ошибок», тратя на это большое количество материала, времени, электроэнергии. Большое количество данных, влияющих на качество 3D-печати и их нелинейная взаимосвязь осложняют выбор оптимальных режимов. При этом отсутствует справочная литература по выбору режимов для различных материалов, а иногда и четкой терминологии.

В исследовании поставлены задачи:

- разработать классификацию дефектов трехмерной печати;
- создать базу данных факторов, влияющих на дефекты;
- подобрать оптимальные режимы технологического процесса трехмерной печати с применением статистических методов планирования эксперимента.

В качестве прототипа интерес представляет база данных, разработанная авторами К.П. Ивашковой, А.Н. Филипповым и Е.А. Копасовым [3]. Они выделяют такие источники возникновения проблем 3D-печати, как

- характеристики материала;
- неполадки в работе принтера;
- ошибки в создании трехмерной модели; сбои программного обеспечения.

В предложенной классификации не учтены:

- изменяющиеся параметры окружающей среды,
- ошибки в выборе технологических режимов (температуры стола, температуры сопла, скорость движения стола и подачи материала).

Кроме того, в работе [2] не рассматривается влияние выше перечисленных параметров на свойства готового изделия.

На первом этапе работы предложено систематизировать и уточнить классификацию дефектов, их описание и причины возникновения, т.к. отсутствует единая терминология дефектов 3D-печати, часто используются разные термины для описания одного дефекта, а иногда жаргонные слова. Предлагаются следующие термины для составления базы данных дефектов: коробление, перегрев или недогрев пластика, не прилипание, расслоение, усадка, нитевидность («паутинистость», «пух»), инородные

включения, недостаток или переизбыток экструзии, волнистость («эхо», «звон»), выпуклость в нижней части изделия («слоновья нога») и др.

Эксперименты проводились при печати полимерными материалами, в частности использовался РЛА (температура плавления 173–178 °С, температура размягчения 50 °С, отсутствие усадки при печати).

В качестве образцов были выбраны:

1) стандартные модели для калибровки:

а) кубики со стороной 20х20 мм (рис. 1, г);

б) модели «все в одном» (рис. 1, а);

2) различные изделия (рис. 1, б, в).

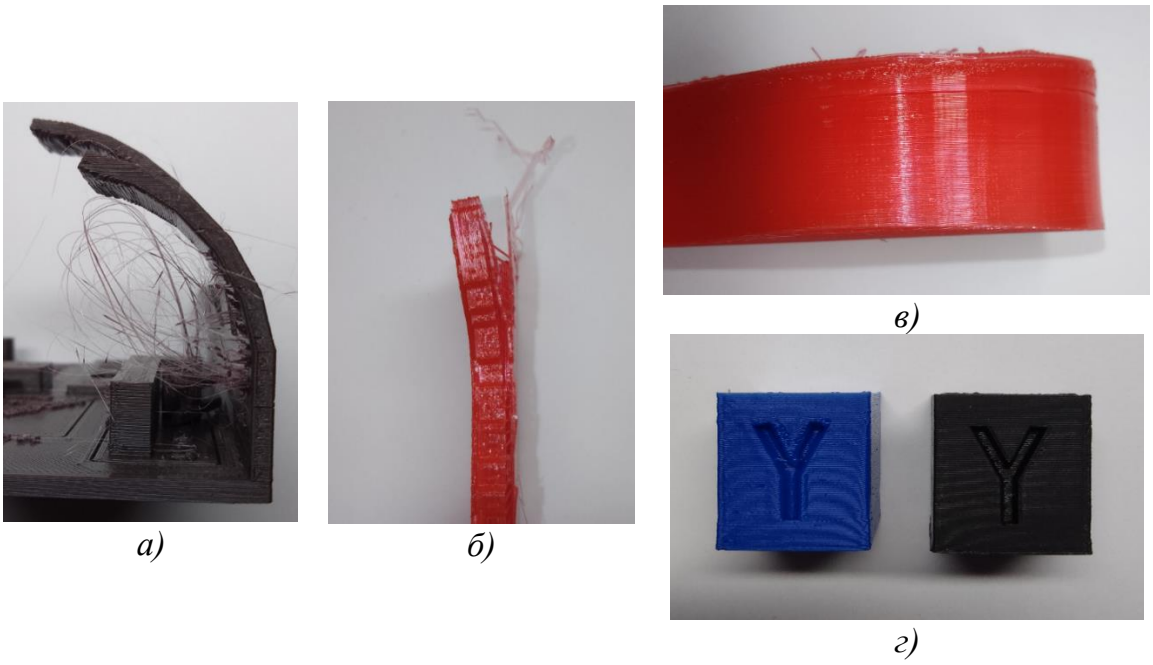
У моделей обнаружена сильная нитевидность (рис. 1 а, б), деформация (расслоение) (рис. 1 б), отлипание от стола и недостаток экструзии (рис. 1в), перегрев, волнистость вдоль буквы «Y» на образце, выпуклость в нижней части изделия (рис. 1г).

Выявлено, что один и тот же дефект может возникать по разным причинам, а одна и та же причина может приводить к возникновению разных дефектов (чаще – возникает несколько дефектов одновременно (рис. 2)). Например, на нитевидность влияют настройка ретракта, температура нагрева экструдера, свойства пластика [1], скорость перемещения головки, материал из которого изготовлено сопло.

Данные о дефектах и режимах, полученные в ходе экспериментов заносятся в базу данных.

Предполагается несколько уровней проработки базы данных:

- наполнение данными об исправлении дефектов – уровень справочника;
- выработка рекомендаций для решения проблем – уровень экспертной системы;
- использование системы для контроля возникновения дефектов и их предупреждения – уровень автоматизированной системы.



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 1. Дефекты изготовления деталей (образцов) методом трехмерной печати из ПЛА

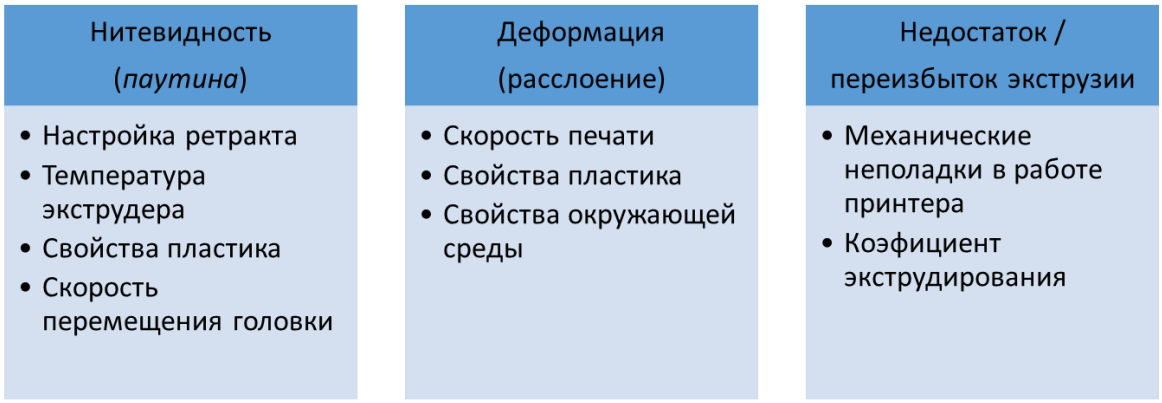


Рис. 2. Источники возникновения дефектов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова М.Ю. Исследование особенностей печати 3D принтера при моделировании и визуализации трехмерного объекта // Надежность и долговечность машин и механизмов. 2022: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. – Иваново: ФГБОУ ВО "Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России". 2022. – С. 313-318.

2. Ивашкова К.П., Филиппов А.Н., Копасов Е.А. Анализ и систематизация дефектов 3D-печати // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т.60, №5. – С. 426-430.

3. Павлюкова Н.Л., Круглов Д.В. Проект учебной лаборатории аддитивных технологий // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. 2019. – С. 495-497.

УДК 004.946

Н. Л. Павлюкова, П. И. Синодеева, М. Ю. Волкова
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация: Рассмотрены перспективы, преимущества и сложности внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности в машиностроительные производства на основе технологии виртуального прототипирования и трехмерного моделирования. Приведены примеры программных продуктов, для создания виртуальной реальности и примеры внедрения данной технологии в отечественной промышленности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, трехмерное моделирование, виртуальное прототипирование, цифровые технологии, жизненный цикл изготовления изделия

© Павлюкова Н. Л., Синодеева П. И., Волкова М. Ю., 2023

N. L. Pavlyukova, P. I. Sinodeeva, M. Y. Volkova

APPLICATION OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN MECHANICAL ENGINEERING

Abstracts: The prospects, advantages and difficulties of introducing virtual and augmented reality technologies into machine-building industries based on virtual prototyping and three-dimensional modeling technology are considered. Examples of software products for creating virtual reality and examples of the introduction of this technology in the domestic industry are given.

Keywords: virtual reality, augmented reality, three-dimensional modeling, virtual prototyping, digital technologies, product manufacturing life cycle.

Одним из направлений развития цифровых технологий в Российской Федерации, на ряду с искусственным интеллектом, являются технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR-технологии). Это отражено в федеральном проекте «Цифровые технологии».

Область виртуальной и дополненной реальности стремительно развивается, и многие эксперты признают, что будущее в сфере технологий именно за форматом создания технической реальности, имитация ее воздействия и реакций на ее воздействия и т.п. Эти технологии уже широко применяется в игровой индустрии, туристической отрасли, медицине, образовании, а сейчас и в промышленности: энергетике, автомобилестроении, машиностроении и др.

Внедрение VR/AR-технологий, как и внедрение трехмерного моделирования, кардинально меняют принципы инженерного мышления, а именно уход от проектирования на бумаге. В основе такого подхода лежит принцип моделирования, который можно назвать «как будто», когда специалист видит деталь, узел, механизм или процесс на экране монитора и в виртуальном пространстве.

Процесс проектирования новых изделий машиностроения всегда был неразрывно связан с проведением практических работ. Неполнота математических моделей, невозможность учета всех физических эффектов при работе изделия вынуждают тратить время и материальные ресурсы на создание физических прототипов, проведение предварительных научно-исследовательских работ. После завершения этапа проектирования предприятие переходит к производству продукции, при этом этап производства всегда является самым затратным. В настоящее время развитие компьютерных технологий позволяет постепенно отказаться от прототипирования в материле и оптимизировать процесс производства изделия уже на стадии предварительной проработки.

Для машиностроительных предприятий возможно внедрение виртуальной реальности в своё производство на всем жизненном цикле изготовления изделия: начиная с ранних этапов проектирования для выявления ошибок, анализа прототипа, проверки эргономики, заканчивая организацией производственного процесса, отработкой процессов обслуживания, ремонта и модернизации.

Процессы проектирования и обсуждения проекта могут идти параллельно. При обучении рабочих не нужно тратить время на создание прототипов и предоставлять дорогостоящую технику для подготовки специалистов. За счёт таких методов уменьшаются денежные затраты и повышается производительность.

Технология VR уже внедрена и развивается на заводе ПАО «КАМАЗ» для сборки кабин. Виртуальная технология позволила отойти от бумажной документации, которая использовалась при сборке, сократить время обучения сотрудников и уменьшить количество дефектов сборки [4]. Внедрение VR на АО «Трансмашхолдинг» («ТМХ») позволяет оценить конструкторские решения, оценивать удобство пультов управления, моделировать поведение пользователей, заменить изготовление нескольких макетов продукции для оценки ее удобства, пропорций и дизайнерского решения, что сделало презентации продукции более современными [5]. У холдинга "Вертолеты России" есть опыт создания проекта вертолета полностью без бумажных носителей, проект до реализации в материале полностью разработан в виртуальном пространстве [3]. На предприятии поставлена задача внедрить современные цифровые технологии при разработке новых проектов и модернизации существующих проектов вертолетов. На АО «АвтоВАЗ» VR применяются для улучшения качества автомобилей, проводя большинство испытаний автомобилей виртуально.

Отечественные производители программных продуктов предлагают ряд решений для создания виртуальной реальности. Например, компания «Топ системы» разработали приложение T-FLEX VR, встроенное в T-FLEX CAD [1]. Однако продукт позволяет работать с трехмерными моделями, созданными не только в T-FLEX, но и в Siemens NX, CATIA, Creo, Pro/ENGINEER, Solid Edge, SolidWorks, Autodesk Inventor или AutoCAD. Программный продукт VR Concept, созданный одноименной московской компанией [2], позволяет создавать виртуальную реальность для трехмерных моделей, разработанных в Solidworks, AutoCAD, КОМПАС-3D и др. CAD/CAE системах.

Отечественные разработки мобильных приложений дополненной реальности (AR-технологии) позволяют визуализировать технические объекты, в частности методику визуализации сборки редуктора (рисунок) предложили сотрудники Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова [6].

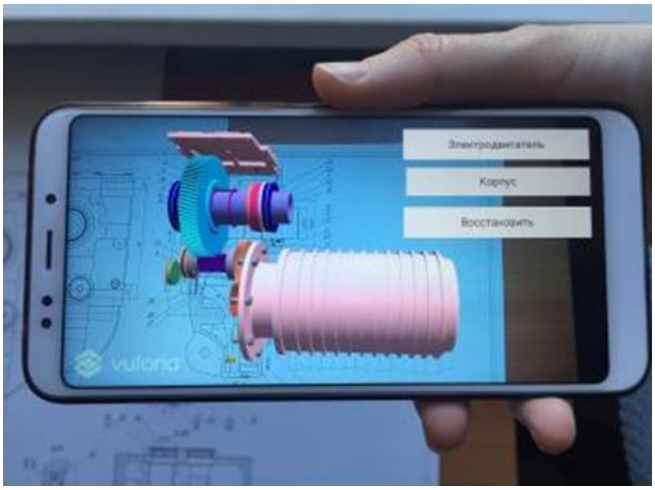


Рисунок. Визуализация сборочного чертежа с помощью технологии дополненной реальности

Анализ практики применения VR/AR-технологий в машиностроении и на промышленных предприятиях в целом, позволил выявить основные сложности их внедрения:

- отсутствие стандартов в области VR/AR-технологий;
- отсутствие каталогов трехмерных объектов;
- санкционные риски при использовании иностранных программ.
- недостаток квалифицированных кадров;
- большие сроки внедрения новых технологий;
- высокие издержки внедрения VR/AR-технологий.

Преимуществом использования VR/AR технологий в машиностроении является возможность применения технологии на всех этапах жизненного цикла продукции. Это существенно повышает производительность труда, уменьшает себестоимость продукции, позволяет сократить сроки проектирования и изготовления продукции. Кроме этого, можно отметить растущий интерес к VR/AR-технологиям и их визуальная привлекательность, современный подход и положительный опыт внедрения на крупных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T-FLEX VR - 3D проектирование в виртуальной реальности [Электронный ресурс]: Режим доступа: https: https://www.tflex.ru/products/priklad/vr/ (Дата обращения 23.01.2023).

2. VR Conceptthttps [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://vrconcept.net/vr/ (Дата обращения: 05.01.2023).

3. Вертолеты России создали первый в РФ вертолет, разработанный в виртуальной реальности [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://tass.ru/armiya-i-opk/4768990 (Дата обращения 23.01.2023).

4. Виртуальные технологии на заводе «КАМАЗа» [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://kamaz.ru/press/releases/virtualnye_tekhnologii_na_zavode_kamaza/ (Дата обращения 23.01.2023).

5. Промышленный дизайн в «ТМХ»: гармонизация инжиниринга, маркетинга и производства [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://tmholding.ru/media/article/13549.html (Дата обращения 23.01.2023).

6. Решетникова Е.С., Усатая Т.В., Курзаева Л.В. – Разработка метода визуализации производственных объектов с применением технологий дополненной реальности // Программные системы и вычислительные методы. – 2021. – № 1. – С. 10 – 21.

УДК 621.1

М. А. Палейкин, П. И. Синодеева, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАЖИМНЫХ ЦАНГ

Аннотация: В работе рассмотрены проблемы, возникающие при изготовлении зажимных цанг, и пути их решения для достижения точности изготовления и правильности работы цанги.

Ключевые слова: цанга, технология, электроэрозионная обработка

M. A. Paleykin, P .I. Sinodeeva, I. I. Vedernikova

TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING CAMPING COLLETS

Abstracts: The paper considers the problems that arise in the manufacture of clamping collets, and ways to solve them to achieve manufacturing accuracy and correct operation of the collet.

Keywords: collet, technology, electroerosive machining.

Зажимные цанги должны полноценно раскрываться в процессе их работы, при качественном производстве они должны быть на 0,5 мм больше диаметра зажимаемой детали. То есть при $d_0 > d_{max} + 0{,}5$ (мм) зажимная цанга является нормально открытой и правильно изготовленной, в свою очередь, при $d_{min} < d_0$ зажимная цанга считается брачной (d_{max}, d_{min} –максимальный и минимальный диаметр калиброванного прутка, d_0 – диаметр рабочего отверстия цанги (рис. 1)).

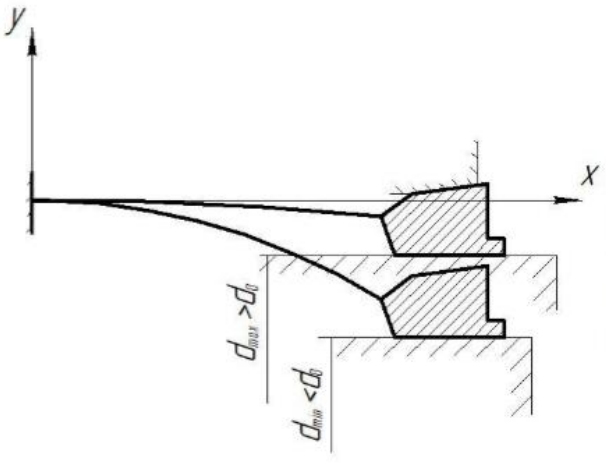


Рис. 1. Схема контакта зажимной цанги с калиброванной заготовкой

Гарантированное раскрытие лепестков цанг в свободном состоянии (не напряженном) не во всех случаях обеспечивается после их изготовления и обуславливается выполнением технологии механической и термической обработки, особенно, череду операций раскрытия цанг и шлифования. Максимальная

© Палейкин М. А., Синодеева П. И., Ведерникова И. И., 2023

возможность появления брака возникает в тот момент, когда лепестки разрезают после термической обработки и шлифования. При таком порядке зачастую $d_0 < d_{max} + 0{,}5$ (мм) и $d_{min} < d_0$.

Для решения этих проблем необходимо осуществить оценку методики производства в целом. Анализ действий при работе цанги достигается путем натурного производства тестовой партии и оценки качества полученных изделий.

Цанги для фиксатора детали в целях увеличения силы зажима за счет уменьшения угла контакта конической части цанги с корпусом в поперечном сечении выполняют с рабочим отверстием, диаметром $d_0 \leq d_{min}$ (рис. 1). При этом для независимого перемещения калиброванного прутка диаметром d, большим диаметра рабочего отверстия, а также при разжиме цанги за счет упругости лепестков, последние разводятся.

При разведении зажимных цанг конусными пробками, помещенными в отверстие, выполняют нагрев повторно и фиксируют термически. Этим методом технологии достигается условие $d_0 > d_{max} + 0, 5$ (мм).

Так как лепестки для получения рабочего напряженного положения зажимных цанг раскрывают после окончательных операций, точность рабочих поверхностей зажимной цанги понижается из-за деформации её вследствие ослабления напряжений, появляющегося в металле в результате тепловых изменений.

Для того, чтобы убрать появившийся брак, необходимо провести термическую обработку повторно, что влечёт к целесообразности проведения вторичного шлифования направляющих поверхностей цанги и увеличению трудоемкости производства цанг. Однако и повторная разводка, и шлифование не может гарантированно обеспечить равномерное раскрытие лепестков цанги. Такая обработка приводит к существенному браку.

У термически деформируемых зажимных цанг при продолжительной работе и недостаточном качестве термической обработки в некоторой степени утрачиваются упругие свойства, и цанга может не раскрываться, а также снижается усталостная прочность лепестков, в результате чего может возникнуть поломка из-за двустороннего, знакопеременного изгиба.

Усилие упругости лепестков, достаточное для работы цанги, формируется изготовлением при предварительной механической обработке рабочих зажимных отверстий коническими и таких размеров, которые определяют в рабочем состоянии требуемую деформацию их лепестков с последующей термической обработкой, разрезкой и окончательной механической доводкой при деформированных относительно нейтральных осей лепестках, параллельных оси цанги.

А после термической обработки и прорезки финишную механическую обработку проводят при сведенных относительно нейтральной оси лепестках на величину, гарантирующую получение диаметра рабочего отверстия цанги, равного или меньшего диаметра зажимаемой детали с максимальным допуском в минус.

Для получения требуемой точности изготовления и правильности работы цанги, прорезание выполняется при помощи электроэрозионной обработки. Для резки лепестков цанги используется современный проволочно-вырезной электроэрозионный станок Kingred, KD500, который позволяет заменить фрезерные операции.

Нынешний уровень совершенствования электроэрозионной обработки не позволяет обходиться без должного высокого уровня развития систем управления на основе прогресса научных понятий о динамических свойствах процесса обработки.

Цель управления процессом электроэрозионного резания, или вырезной электроэрозионной обработки основывается на двух задачах:

- управление передвижением проволочного электрода-инструмента в пространстве по требуемой траектории;
- управление скоростью движения электрода.

Для формирования модели динамики процесса в случае упругих электродов возможны следующие условности:

- на проволочный электрод-инструмент воздействует равномерно распределённая постоянная сила, создаваемая электрическими разрядами, в результате чего проволочный электрод-инструмент имеет некоторый прогиб;
- электрод не растягивается и не имеет определенной жёсткости, прогиб возникает в результате вытягивания проволочного электрода-инструмента из системы перемотки;
- величина прогиба обуславливается натяжением электрода, расстоянием между направляющими и толщиной детали и интенсивности процесса;
- трение в направляющих системы перемотки и натяжения проволочного электрода-инструмента не принимается в расчет.

Главные тезисы работы, применяемые для конструирования модели процесса:

- интегральные силы электрических разрядов увеличиваются со снижением величины расстояния между электродом и деталью фактически по линейному закону и могут быть сопоставимы с действием упругого элемента с закрепленным коэффициентом жёсткости;
- обусловленность интегральной силы от расстояния между электродом и деталью аналогична идентичной зависимости линейной скорости реза, и они могут быть интерпретированы определенными коэффициентами;
- в процессе обработки электрод пребывает в состоянии устойчивого равновесия под воздействием двух противоположно направленных сил: интегральной силы, формируемой электрическими разрядами, и силы, создаваемой системой натяжения, линейно зависящей от прогиба электрода.

На рис. 2 приведена упрощённая схема равновесного хода процесса электроэрозионной обработки. На рис. 2а представлена идеализированная схема процесса обработки. На рис. 2б показана эпюра скоростей резания. Электрод-деталь перемещается в положительном направлении со скоростью подачи $V_п$ – отложена вверх, скорость эрозионного резания в зависимости от величины межэлектродного расстояния направлена к центру равновесия «О» – отложена вниз.

На рис. 2в показана эпюра сил. Силы эрозионного процесса действуют в положительном направлении – их зависимость от величины МЭП отложена вверх, возвратная сила натяжения ЭИ «упругости» $F_и$ направлена к подвижному центру равновесия – отложена вниз.

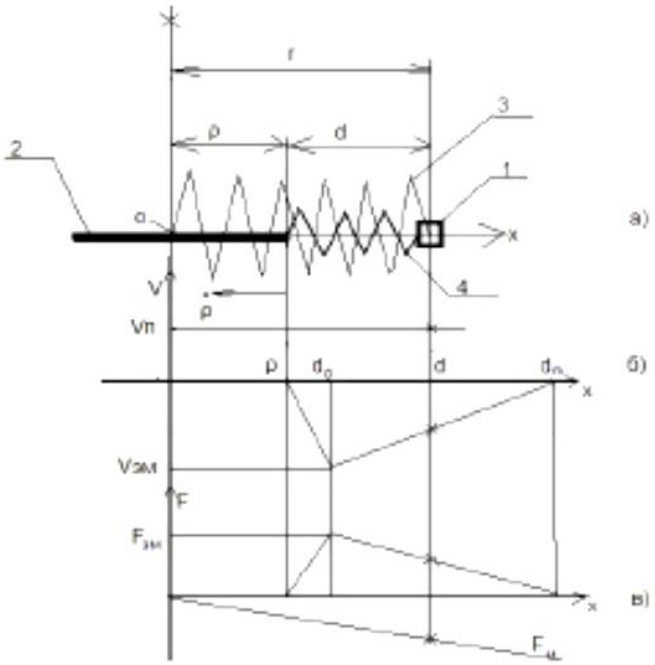


Рис. 2. Схема равновесного течения процесса вырезной электроэрозионной обработки: 1 - электрод-инструмент; 2 - электрод-деталь; 3 - упругий элемент, эквивалентный ПЭИ - работает на растяжение (прогиб ПЭИ); 4 - упругий элемент эквивалентный силовому действию процесса электроэрозионной обработки (ЭЭО) - работает на сжатие (эквивалентная жёсткость процесса ЭЭО); «О» - не возмущённое положение ПЭИ (вертикальная прямая проходит через направляющие ПЭИ) – центр равновесия; г - прогиб ПЭИ; d - текущее значение величины МЭП; ρ -обрабатываемая часть детали, расположенная правее центра равновесия; р - текущая скорость резания заготовки, направленная к центру равновесия

Математическая модель представляет собой теоретическое умозаключение исследовательских данных и общих физических понятий, сформированных в модели упругого электроэрозионного инструмента.

В процессе изучения данных, полученных в результате работы модернизированной технологии изготовления и анализа её и изначальной, были определены следующие параметры:

1. увеличение стойкости рабочей поверхности детали на 300 %;
2. в 1,5–2 раза выросла точность производства зажимных цанг;
3. сокращение припусков на чистовую обработку;
4. гарантированно обеспечивается раскрываемость цанги с высокой точностью на заданные размеры
5. снижение брака при производстве зажимных цанг на 5–10 %;
6. трудоемкость изготовления при использовании модернизированной технологии возросла в 1,2 раза.

УКД 531.2

В. Ю. Прохоров, О. В. Токарева
Академия государственной противопожарной службы МЧС России

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ В ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ ПО ТЕМЕ СТАТИКА

Аннотация: В данной статье рассматриваются возможности визуализации решений задач по прикладной механике, используя графический редактор AutoCAD, путем построения трехмерных твердотельных моделей.

Ключевые слова: визуализация, графический редактор AutoCAD, трехмерные модели, учебный процесс.

V. Yu. Prokhorov, O. V. Tokareva

VISUALIZATION OF PROBLEM SOLUTIONS ON THE TOPIC OF STATIC IN APPLIED MECHANICS

Abstracts: This article discusses how to visualize solutions to applied mechanics problems using the AutoCAD Graphics Editor by building 3D solid models.

Keywords: visualization, AutoCAD graphics editor, 3D models, learning process.

Прикладная механика представляет собой комплексную дисциплину, в которой излагаются основные положения о взаимодействии твердых тел, прочности материалов и методах расчета конструктивных элементов. Дисциплина играет большую роль в разработке, создании новой инновационной техники и модернизации оборудования. Прежде, чем изготовить любое устройство, его необходимо спроектировать на основании расчетов, используя соответствующие методики, принятые стандартами и техническими регламентами. Исправность работы любого устройства зависят от правильно рассчитанной конструкции.

Успешное освоение дисциплины «Прикладная механика» требует глубокого изучения теории, а также усвоение основных навыков в решении задач. Для этого необходимо иметь четкое представление о поведении механической системы.

При изучении курса «Прикладная механика» обучаемые часто сталкиваются со сложностями визуального характера: невозможностью наглядно представить механическую систему в начальный момент времени, непониманием динамики движения объектов. К тому же, имея небольшой запас навыков расчета задач по дисциплине прикладная механика, курсанты и студенты могут решать задачи только по образцу и не могут анализировать результаты своих расчетов. Большинство обучаемых не может правильно организовать свою самостоятельную работу, не владея методами принятия решений.

Как следствие, курсанты и студенты при решении задач затрудняются в указании верных направлений составляющих нагрузок на балки и опоры. Для избежания таких проблем, необходимо дать возможность увидеть изображение механической

© Прохоров В. Ю., Токарева О. В., 2023

системы в любой момент времени для конкретной задачи. Для этого рекомендуется использовать многообразие программ и форматов для визуализации процесса решения задачи [1].

Хорошо знакомый преподавателям программный продукт позволяет делать проекты на основе цифрового сторителлинга, формата в котором подача учебного материала дополняется визуальными компонентами. Для создания проектов можно использовать AutoCAD, PowerPoint, расширение Office Mix, Prezi, Sway и многие другие ресурсы [2].

Применение компьютерных технологий на базе AutoCAD позволяет визуализировать учебный материал, оказывая тем самым огромную помощь в изучении и понимании учебного материала. Использование трехмерных моделей обеспечивает обучающимся наибольшую эффективность восприятия излагаемого материала, способствует развитию их пространственного мышления, позволяет достичь повышения производительности и качества труда, как преподавателя, так и обучающегося [3].

На кафедре механики и инженерной графики курс дисциплины прикладная механика разбит на девять разделов.

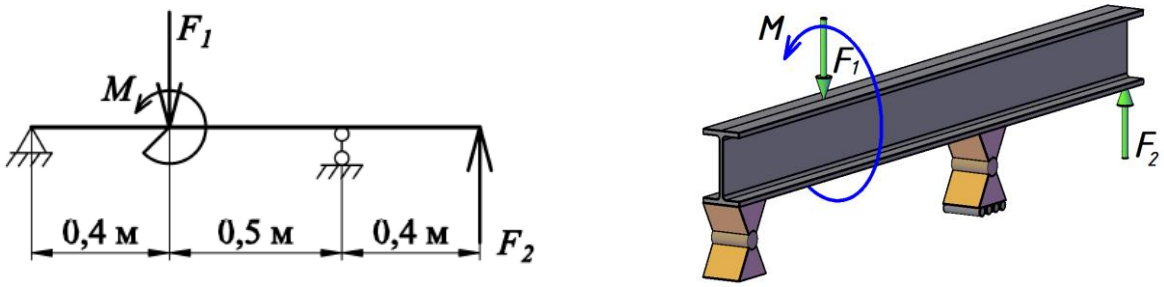
Одним из разделов прикладной механики является статика. Статика (от греч. «неподвижный») − раздел механики, в котором изучаются условия равновесия механических систем под действием приложенных к ним сил и моментов.

При решении задач статики все тела рассматриваются как абсолютно твердые. Если рассматривать состояние равновесия тела, то оно будет зависеть от характера его взаимодействий с другими телами. Основной мерой механического взаимодействия материальных тел в механике является сила и момент.

В механике сила изображается в виде вектора и характеризуется тремя основными свойствами: численной величиной, направлением и точкой приложения. Момент представляет собой величину, характеризующую вращательную способность силы.

Рассмотрим один из примеров решения задачи по статике, используя графический редактор AutoCAD, для визуализации условия задачи и ее решения.

Для заданной двухопорной стальной балки, нагруженной сосредоточенными силами F1 = 5 кН, F2= 10 кН и моментом M = 20 кН·м. Найти вертикальные реакции в опорах. Провести проверку правильности решения. Условие задачи представлено в 2D и 3D-модели на рис. 1.



а б

Рис. 1. Условие задачи двухопорной стальной балки, нагруженной сосредоточенными силами F_1, F_2 и моментом M: *а* – 2D модель; б – 3D-модель

Решение:

Рассмотрим алгоритм решения задачи:

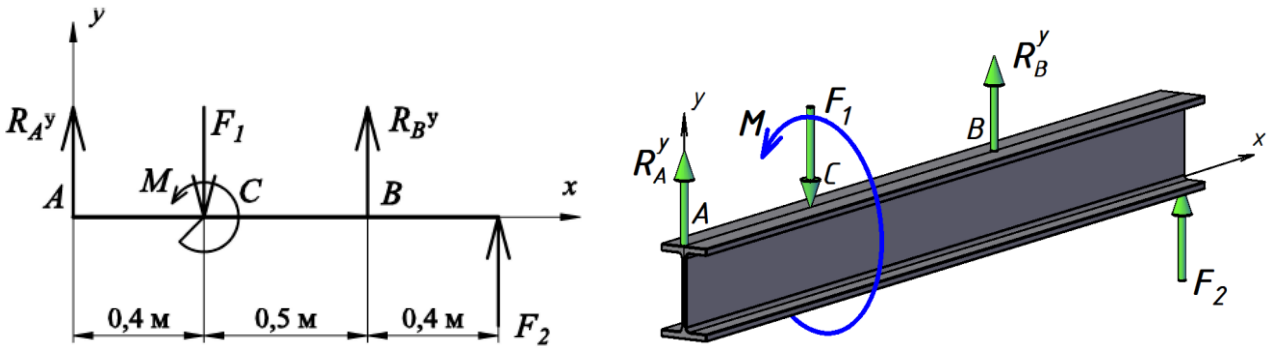
$$1)\ \sum M_A = 0\ \rightarrow R_{By};$$

$$2)\ \sum M_B = 0\ \rightarrow R_{Ax};$$

$$3)\ \text{Проверка:}\quad 3^{а})\ \sum F_y = 0;$$
$$3^{б})\ \sum M_c = 0.$$

1) Выбираем систему координат.

2) Отбросим связи, заменим их действие реакциями и изобразим расчетную схему (рис. 2.):



а б

Рис. 2. Расчётная схема двухопорной стальной балки:
а – в 2D модели; б – в 3D-модели

3) Находим величины опорных реакций:

3.1) $\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax};\ R_{Ax}=0.$

3.2) $\sum M_A = 0 \rightarrow R_{By};\ -F_2 \cdot 1{,}3 - R_{By} \cdot 0{,}9 + F_1 \cdot 0{,}4 - M = 0;$

$$R_{By} \cdot 0{,}9 = -F_2 \cdot 1{,}3 + F_1 \cdot 0{,}4 - M;$$

$$\mathrm{R_{By}} = \frac{-\mathrm{F_2} \cdot 1{,}3 + \mathrm{F_1} \cdot 0{,}4 - \mathrm{M}}{0{,}9} = \frac{-13 + 2 - 20}{0{,}9} = -34{,}44\ (\text{кН}).$$

3.3) $\sum \mathrm{MB} = 0 \rightarrow \mathrm{R_{Ay}};\ +\mathrm{R_{Ay}} \cdot 0{,}9 - \mathrm{F1} \cdot 0{,}5 - \mathrm{M} - \mathrm{F2} \cdot 0{,}4 = 0;$

$R_{Ay} \cdot 0{,}9 = + F_1 \cdot 0{,}5 + M + F_2 \cdot 0{,}4;$

$$R_{Ay} = \frac{F_1 \cdot 0{,}5 + M + F_2 \cdot 0{,}4}{0{,}9} = \frac{2{,}5 + 20 + 4}{0{,}9} = 29{,}44 \text{ (кН)}.$$

4) Выполним проверку правильности определения реакций опор двумя способами:

4.1) $\sum Fy = 0; \quad + R_{Ay} - F1 + R_{By} + F2 = 0;$

$29{,}44 - 5 - 34.44 + 10 = 0; \quad 0 = 0.$

4.2) $\sum Mc = 0; \quad + R_{Ay} \cdot 0{,}4 - M - R_{By} \cdot 0{,}5 - F2 \cdot 0{,}9 = 0;$

$29{,}44 \cdot 0{,}4 - 20 - (-34{,}44) \cdot 0{,}5 - 10 \cdot 0{,}9 = 0;$

$11{,}78 - 20 + 17{,}22 - 9 = 0; \quad 0 = 0.$

Предполагается, что при решении подобных задач, обучающиеся будут правильно анализировать, понимать и усваивать информацию, что улучшает качество выполняемых заданий.

В Академии ГПС МЧС России готовится к изданию учебное пособие, в котором будут представлены варианты рассматриваемых задач с алгоритмами решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанцева О.Г., Корчевская Е.А. [Электронный ресурс] / О.Г. Казанцева // Визуализация задач по курсу «теоретическая механика» // Информатизация обучения математике и информатике: педагогические аспекты: Материалы международной научной конференции, посвященной 85-летию Белорусского государственного университета. Минск, 2006. – Режим доступа: http://elib.bsu.by/handle/123456789/36421 – 05.03.2023.

2. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. STORITELLING как современная стратегия преподавания. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т 2. С. 149-151.

3. Токарева О.В. Практическая реализация создания трехмерных объектов в учебном процессе // Сборник XII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново. 2021. С. 347 – 351.

УДК 621.7.07

П. В. Пучков
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ FUSED DEPOSITION MODELING ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ

Аннотация: в статье описываются перспективы применения технологии FDM печати для создания пластмассовых деталей механизмов. Подробно описаны механические свойства пластика PLA, его достоинства и недостатки. Рассмотрен пример создания пластиковой шестерни для редуктора детского электромобиля.

Ключевые слова: зубчатое колесо, 3D печать, пластик PLA, механические свойства.

P. V. Puchkov

USING FUSED DEPOSITION MODELING TECHNOLOGY TO CREATE MACHINE PARTS

Abstracts: the article describes the prospects of using FDM printing technology to create plastic parts of mechanisms. The mechanical properties of PLA plastic, its advantages and disadvantages are described in detail. An example of creating a plastic gear for the gearbox of a children's electric car is considered.

Keywords: gear wheel, 3D printing, plastic PLA, mechanical properties.

В настоящее время целый ряд деталей механизмов, изготовленных из пластмасс, не уступают по эксплуатационным характеристикам металлическим, а по некоторым параметрам и превосходят их. Пластмассы имеют преимущества перед металлами: обладают меньшей плотностью, а значит и весом, не подвержены коррозии, не лишены дешевого и практически неисчерпаемого источника сырья. По этой причине в 21 веке активно развиваются различные аддитивные технологии изготовления деталей именно из пластмасс: технология послойного наплавления (FDM/FFF), фотополимерная печать (SLA/DLP/LCD) и др. Аддитивное производство выгодно отличается от субтрактивного формообразования деталей (фрезерования, точения, сверления и т.п.) отсутствием большого количества отходов в виде стружки. Формирование объемной модели осуществляется за счет послойного нанесения размягченного полимера («выращивания модели»). В данной статье пойдет речь о наиболее простой, доступной и недорогой технологии создания пластмассовых изделий, основанной на технологии FDM (Fused Deposition Modeling) печати.

Использование данной технологии позволяет оперативно восстанавливать работоспособность различных механизмов или приборов, изготавливая детали из термопластичных материалов взамен вышедших из строя деталей. Для 3D -печати в мелкосерийном производстве используют самые разные пластики: ABS пластик, PS/ABS пластик, PLA пластик, HIPS пластик, TPE-S пластик, PVA пластик. Однако, из всего разнообразия пластмасс достаточно популярным для домашней печати остается PLA

© Пучков П. В., 2023

пластик в силу целого ряда ценных свойств. Одним из важных его преимуществ является экологичность, так как сырьем для его производства служат растительные материалы: кукуруза, сахарный тростник, картофельный крахмал, соевый белок и т.д. В процессе выращивания модели на 3D принтере, размягченный PLA пластик не выделяет в окружающую среду вредных веществ. Вторым не оспоримым достоинством являются механические свойства PLA пластика: модуль упругости при изгибе составляет 2,3 ГПа, модуль упругости при растяжении 3,3 ГПа, прочность на разрыв 57,8 МПа, а прочность на изгиб 55, 3 МПа. Кроме того, PLA пластик обладает важным технологическим свойством – он не имеет усадки при затвердевании. Данный пластик достаточно легок, его плотность составляет 1,23–1,25 г/см^3. Однако данный филамент гигроскопичен и хорошо поглощает влагу из воздуха [1, 2].

Подводя итог выше сказанному, можно сделать вывод о больших перспективах применения FDM технологии для штучного изготовления деталей для ремонта различных механизмов или приборов.

Рассмотрим восстановление работоспособности отдельно взятого механизма на примере редуктора детского электромобиля. На рис. 1 представлен редуктор детского электромобиля в конструкцию которого входит пластиковая шестерня с параметрами Z_1=7, Z_2=58 (рис. 2). В следствии интенсивной эксплуатации электромобиля произошло разрушение зубьев шестерни и редуктор вышел из строя. Для восстановления работоспособности редуктора детского электромобиля была применена технология 3D печати деталей. В начале с изношенной шестерни были сняты все необходимые размеры для создания точной цифровой копии детали. Для создания виртуальной модели будущей детали было применено программное обеспечение САПР/CAD. В данном конкретном случае трёхмерная модель шестерни, представленной на рис. 2 была выполнена в программе AutoCAD. Практически всё известное на сегодняшний день программное обеспечение САПР/CAD, применяемое для создания 3D-моделей способно генерировать файл STL. Данный формат файла необходим для выращивания модели на 3D принтере. Файл STL содержит описание трехмерной модели. Формат представляет необработанную поверхность модели, состоящую из набора координат трех точек по трем осям. Каждая группа из трех точек образует полигон (треугольник). Чем сложнее и детальнее структура, тем больше полигонов будет использовано для представления модели.

Рис. 1. Редуктор детского электромобиля

Рис. 2. Виртуальная трехмерная модель шестерни

Рис. 3. Шестерня «выращенная» на 3D-принтере (PLA-пластик)

Затем в специальном приложении Wanhao-Cura-18.05 файл STL, был разбит на множество плоских горизонтальных слоев, подсчитан расход филамента и время печати модели. Вся информация о разбиении трехмерной модели на слои сохранялась в файл GCode. С данным форматом файла непосредственно работает 3D принтер WANHAO DUPLICATOR i3 V2.1. Параметры печати: диаметр проволоки 1,75 мм, продолжительность послойного выращивания детали 1ч 20 мин, высота одного слоя 200 мкм, плотности заполнения формы 80 %, расход филамента на одно изделие 13,0 г., температура печати 215 °С, скорость печати 50 мм/с. Выращенная на 3D принтере шестерня представлена на рис. 3.

Следует отметить, что технология FDM печати позволяет оперативно изготавливать детали сложной формы с достаточно низкой себестоимостью. При средней стоимости PLA пластика 1550 руб./кг, себестоимость материала, затраченного на изготовление зубчатого колеса составляет 20 руб. 15 коп. Несмотря на то, что долговечность такого зубчатого колеса не высока, но соотношение цены и качества дает большие перспективы применения данной технологии в домашних условиях. Трудно переоценить возможности данной технологии для изготовления уникальных деталей, или для печати деталей для ремонта домашних приборов. Таким образом, например, можно быстро спроектировать и напечатать пластиковую шестерню для блендера или кухонного комбайна – таких запчастей зачастую нет ни в официальных сервисных мастерских, ни на рынках, а заказ у производителя может легко обойтись в половину стоимости всего ремонтируемого прибора [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучков П.В., Иванов В.Е. Разработка ручного инструмента для разбивания автомобильных стекол в аварийных ситуациях. Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной про-ведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, 10–11 ноября 2021 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С.293-295.

2. Пучков П.В. Создание приспособления для разбивания стекол с применением технологии 3d печати. Надежность и долговечность машин и механизмов : сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 402-406.

3. Киселев В.В., Иванов В.Е. Конструирование робототехнического комплекса легкого класса на основе модульной компоновки для мониторинга, разведки и тушения загораний // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 11. С. 483-485.

4. Киселев В.В. Конструирование робототехнического комплекса легкого класса на основе модульной компоновки для мониторинга, разведки и тушения загораний // В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Материалы VI Международной научно-практической конференции. В 3-х частях. Отв. редактор И.Г. Дроздов. Воронеж, 2021. С. 372-375.

УДК 539:629.7.02

Л. С. Рева, М. А. Ноздрин
Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТА «ДИАФРАГМА» МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЁТА

Аннотация: создана конечно-элементная модель диафрагмы – элемента жесткости под установку механизма управления передней опоры самолёта. Произведен численный расчет деформаций диафрагмы и эквивалентных напряжений по Мизесу.

Ключевые слова: элемент управления самолёта, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние.

L. S. Reva, M. A. Nozdrin

STRENGTH CALCULATION OF THE ELEMENT "DIAPHRAGM" OF THE CONTROL MECHANISM A PLANE

Abstracts: A finite element model of the diaphragm, a stiffness element, was created for the installation of the front support control mechanism a plane. Numerical calculation of diaphragm deformations and equivalent stresses according to Mises is performed.

Keywords: control element of plane, finite element model, stress-strain state.

Пассажирский самолет Ил-114-300 предназначен для эксплуатации на местных воздушных линиях, является модернизированной версией турбовинтового самолета Ил-114. Для успешного выполнения экипажем своих обязанностей на Ил-114-300 устанавливается цифровой пилотажно-навигационный комплекс. Реализация на этом самолёте современных научно-технических достижений по обеспечению требуемых уровней аэродинамического и массового совершенства самолета и силовой установки обеспечивают самолету высокие показатели топливной эффективности. При создании

© Рева Л. С., Ноздрин М. А., 2023

самолета много внимания уделено обеспечению его безопасности и надежности при использовании.

Шасси самолета обеспечивает посадку на необорудованные аэродромы, имеющие как бетонированные, так и грунтовые покрытия. Кроме того, самолет рассчитан на автономную эксплуатацию в мало оборудованных аэропортах. Обеспечен быстрый и легкий доступ ко всем элементам конструкции и агрегатам, необходимость подхода к которым предусматривается программой технического обслуживания.

Важной составляющей частью современных самолетов является система управления механическими узлами и, в частности, механизм управления передней опорой самолета.

Механизм предназначен для управления движением самолёта на взлете, посадке и рулении по аэродрому.

Основным узлом механизма является узел «жесткость», который представляет собой связку профилей, диафрагм, стоек и крепёжных элементов, его назначение - крепление механизма управления к фюзеляжу самолета (рис. 1).

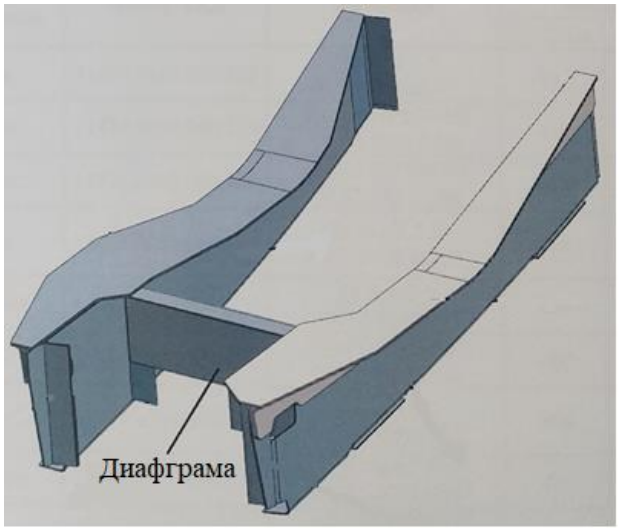


Рис. 1. Узел «Жесткость» для крепления механизма управления

Целью работы является численный расчет напряженно-деформированного состояния конечно-элементной модели [2] диафрагмы составного элемента жесткости под установку механизма управления рулежным устройством передней опоры самолёта. Для расчета создается модель диафрагмы в программном комплексе ANSYS[1].

Ansys — универсальная программная система анализа методом конечных элементов (МКЭ) является популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE) и решения МКЭ линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций.

Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытания».

Диафрагма представляет собой изогнутую пластину (рис. 2.).

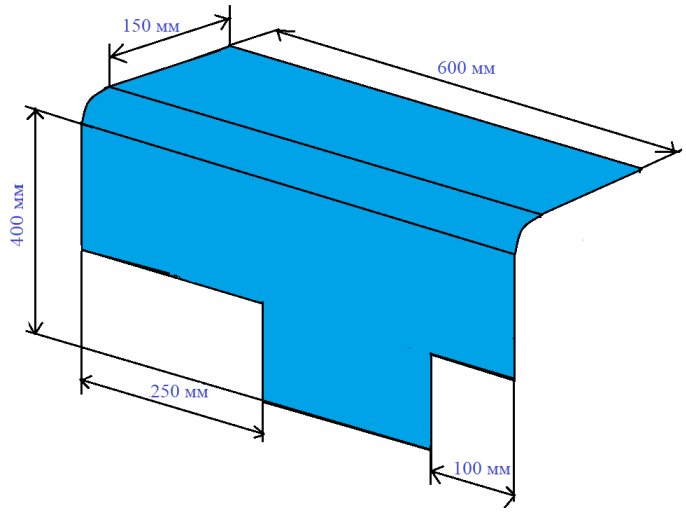


Рис. 2. Размеры диафрагмы

Материал диафрагмы Д16чАТ по ОСТ1 90246-77 (табл. 1).

Таблица 1. **Характеристики материала Д16чАТ**

Марка сплава	Состояние материала листов	Толщина, мм	Механические свойства при растяжении		
			Временное сопротивление $\sigma_{\text{В}}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Относительное удлинение %
				Не менее	
Д16чА	Закаленные и естественно состаренные	От 0.5 до 1.9	Не менее 405	270	13.0

Модель диафрагмы жестко закреплена по нижнему ребру, соответствуя креплению к фюзеляжу самолета. Диафрагма соединяет остальные составляющие узла жесткости. В модели для упрощения расчета стойки и болтовые соединения заменены распределенной по боковым граням сжимающей нагрузкой, равной 10 кН.

Создается конечно-элементная сетка, в основе которой лежит 4-х узловой двумерный элемент (рис. 3.)

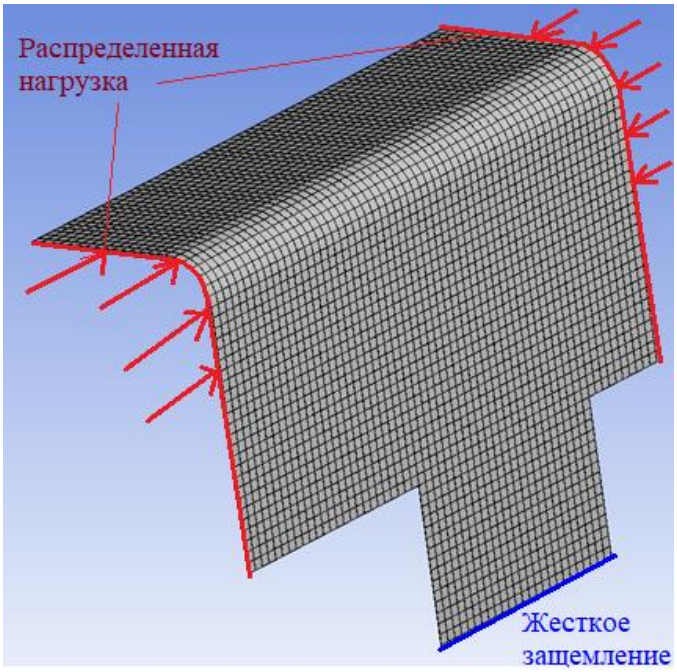


Рис. 3. Конечно-элементная сетка диафрагмы

Результатами численного расчета [3] конечно-элементной модели являются деформации (рис. 4) и эквивалентные максимальные напряжения по Мизесу (рис. 5).

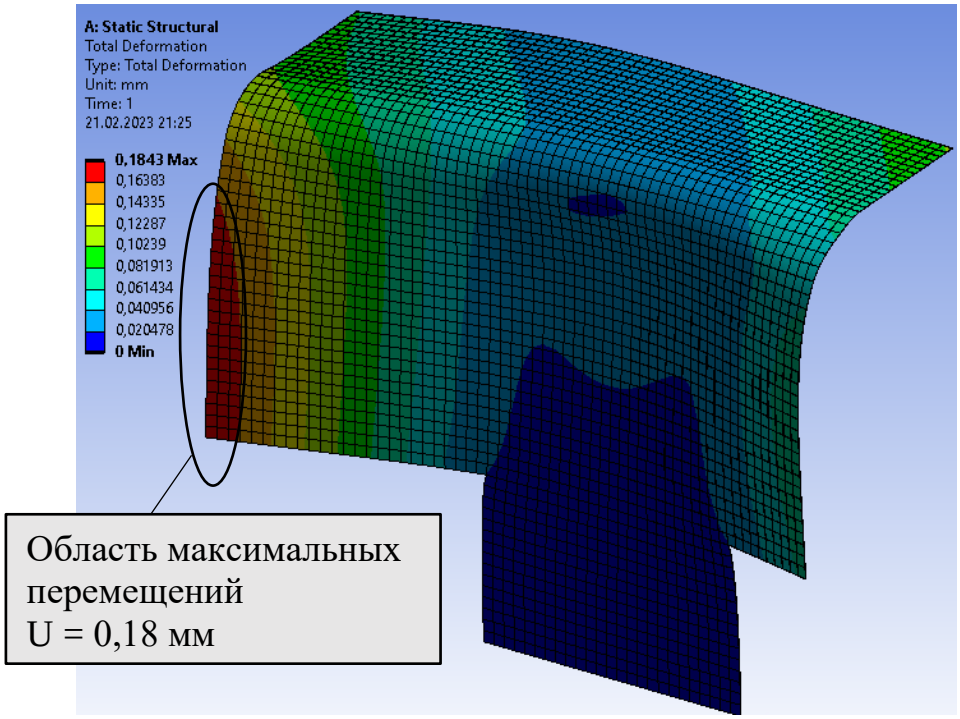


Рис. 4. Распределение деформаций диафрагмы

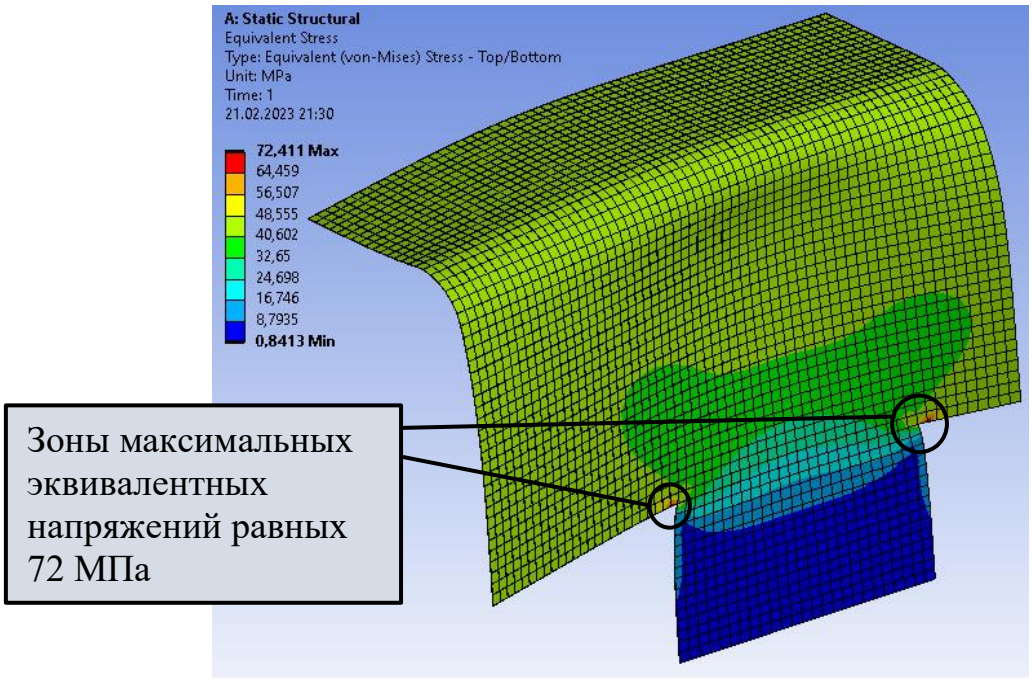


Рис. 5. Эквивалентные напряжения по Мизесу

Максимальные перемещения распределены около боковых ребер диафрагмы, при этом большее значение имеется на левом боковом ребре, т.е. расстояние от него до места жесткого закрепления больше.

Максимальные напряжения сосредоточены в местах перегиба диафрагмы и равны 72 МПа. Коэффициент запаса прочности:

$$\eta = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{405}{72} = 5{,}6\,,$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ – максимальные эквивалентные напряжения.

Таким образом, создана конечно-элементная модель диафрагмы – элемента жесткости под установку механизма управления передней опоры самолёта. Произведен численный расчет деформаций диафрагмы и эквивалентных напряжений по Мизесу. Максимальные перемещения сосредоточены на левом боковом ребре диафрагмы и равны 0.18 мм, а коэффициент запаса прочности равен 5,6, что говорит о высокой прочности данного варианта конструкции элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 240 с.

2. Каменев С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: Учеб. пособие / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 110 с.

3. Ноздрин М.А., Щербакова Н.А. Некоторые прикладные задачи механики сплошной среды: Учебно-методическое пособие. – М. : ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина» - Иваново, 2009. – 72 с.

УДК: 004.02, 621.9

А. А. Романова, Е. В. Егорычева
ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ 3D МОДЕЛИ ПОМЕЩЕНИЯ ДЕТСКОГО САДА С СОБЛЮДЕНИЕМ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

Аннотация: в статье рассмотрен процесс прототипирования помещения детского сада с помощью сред Компас-3D и Blender при соблюдении противопожарных требований. Рассмотрены вопросы соблюдения правил и нормативов пожарной безопасности на этапе проектирования объекта, применения технологий параметризации на этапе моделирования.

Ключевые слова: прототипирование, пожарная безопасность, требования ПБ к ДОУ, программная среда Blender, Компас-3D, модель, программное обеспечение (ПО).

A. A. Romanova, E. V. Egoryheva

3D PROTOTYPING OF KINDERGARTEN PREMISES IN COMPLIANCE WITH FIRE PROTECTION REQUIREMENTS

Abstracts: the article discusses the process of prototyping a kindergarten room using Compass-3D and Blender environments while complying with fire protection requirements. The issues of compliance with fire safety rules and regulations at the design stage of the facility, the use of parameterization technologies at the modeling stage are considered.

Keywords: prototyping, fire safety, safety requirements for preschool educational institutions, Blender software environment, Compass-3D, model, software.

Применение современных технологий помогает сократить расходы на качественное выполнение задач проектирования объектов при минимальных временных затратах. Чаще всего для этого используют 3D-прототипирование. На сегодняшний день это направление активно развивается и активно используется в проектировании жилых зданий и промышленных объектов, архитектурных сооружений, в ландшафтном дизайне, дизайне интерьеров, медицине, машиностроении [1]. Технологии трехмерного прототипирования совершенствуются, оборудование и программное обеспечение переходит на более высокий уровень, становится всё более многофункциональным. Преимуществ у данного вида проектирования перед другими способами визуализации довольно много. Во-первых, оно дает очень точную модель, максимально приближенную к реальности. Современные программы помогают достичь высокой детализации объектов. При этом значительно увеличивается наглядность про-

© Романова А. А., Егорычева Е. В., 2023

екта. Во-вторых, в трехмерную модель очень легко вносить практически любые изменения. Можно убирать одни детали и добавлять новые, менять цвет и форму, получая качественный результат. Также современное программное обеспечение (ПО) позволяет из трехмерной модели легко выполнить чертеж каких-либо компонентов или конструкции целиком [2, 3].

В данной работе исследовался процесс прототипирования помещения детского сада. Первый этап заключался в построении геометрической модели будущего объекта в системе Компас-3D. При моделировании применялась технология параметризации для получения оптимального расположения дверных и оконных проемов и размеров помещений. Одним из основных акцентов моделирования помещения детского сада является соблюдение противопожарных требований. Проектирование групп детского сада является важным этапом в создании комфортной и безопасной среды для развития детей, поэтому при моделировании пожарная безопасность является одной из ключевых задач. Проектирование объекта начинается с выбора объемно-планировочных решений, соответствующих современным нормативам и требованиям в области пожарной безопасности, требующим неукоснительного соблюдения. Действующая нормативная база предъявляет требования как к объемно-планировочным решениям, так и к отдельным элементам, их характеристикам и материалам, из которых они проектируются. Правильное проектирование дверных проемов и окон в здании группы детского сада является важным аспектом для обеспечения безопасности при пожаре. Дверные проемы должны иметь ширину не менее 80 см, а высоту не менее 2 метров. Окна должны быть выполнены из негорючих материалов и иметь минимальный размер не менее 60 см в ширину и 90 см в высоту. Окна в ДОУ необходимо устанавливать на высоте не менее 1 метра. Использование в системах трехмерного проектирования параметрического режима, предоставляющего возможность устанавливать различные ограничения на элементы модели и зависимости между ее параметрами, позволяет ускорить процесс моделирования для получения нужного результата и сделать его более качественным.

Для дальнейшей работы геометрическая модель помещения детского сада, выполненная в системе Компас-3D переносилась в ПО Blender. Второй этап работы заключался в создании и размещении моделей мебели и других объектов интерьера. Расстановка мебели и оборудования в помещении детского сада имеет важное значение, она не должна препятствовать доступу к аварийным выходам и к средствам пожаротушения, паласы и ковры должны быть закреплены к полу с надежной фиксацией. Детские сады должны быть оборудованы исправной системой оповещения о пожаре с применением звуковых сигналов.

При прототипировании помещения детского сада исследовалось расположение огнетушителей, обязательных знаков пожарной безопасности в дошкольном учреждении и плана эвакуации. Знаки пожарной безопасности следует размещать в поле зрения людей для которых они предназначены. Они должны быть расположены таким образом, чтобы были хорошо видны и не отвлекали внимания. Высота расположения эвакуационных знаков (например, «Направление к эвакуационному выходу») не менее 2 м от пола. Эвакуационные знаки безопасности «Выход» и «Аварийный выход» следует размещать только над дверями, ведущими к выходу. Оснащение помещений ДОУ средствами огнетушения - обязательная часть комплекса противопожарных мероприятий. Огнетушители следует располагать таким образом, чтобы они были защищены от прямых солнечных лучей, тепловых потоков, механических воздей-

ствий и других неблагоприятных факторов. Расстояние от двери до огнетушителя должно быть таким, чтобы не мешать ее полному открытию. Для размещения средств первичного пожаротушения в помещениях отводятся специальные пожарные шкафы, щиты, стенды. Ручные огнетушители могут подвешиваться на стену при помощи кронштейнов. Над огнетушителем на стене на высоте 1,7 м от пола должен располагаться знак «Огнетушитель». Знак должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.026. Ещё один важный момент в правилах пожарной безопасности – кнопка пожарной сигнализации. Как правило, извещатели располагаются в зоне хорошей видимости человеком. Активировать кнопку должен быть в состоянии человек любого роста или с ограниченными возможностями, поэтому максимальное расстояние от уровня пола не должно превышать 1,37 м.

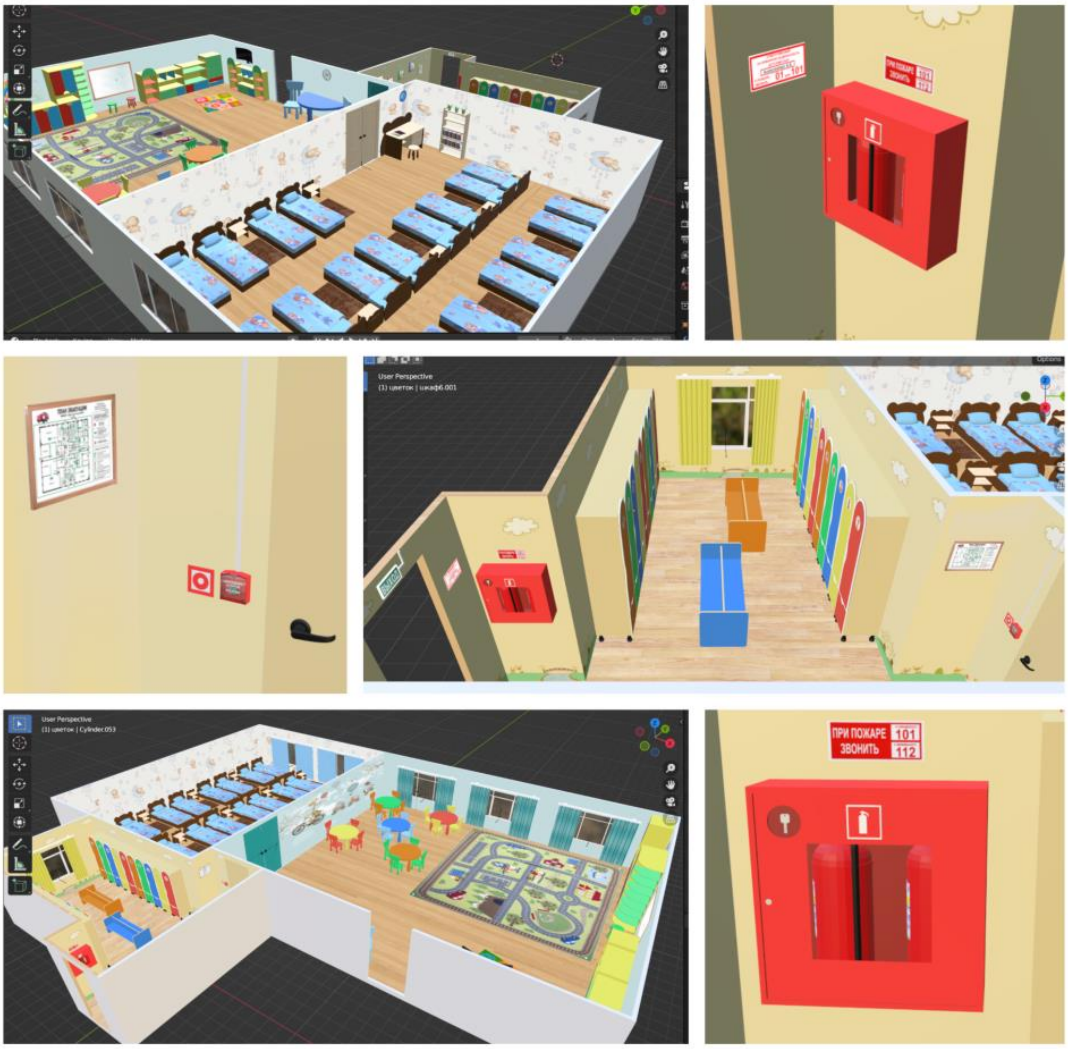


Рисунок. Модель помещения детского сада

Требования пожарной безопасности прописаны в целом комплексе нормативных документов, примером которых могут служить следующие: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», СП 1.13130.2009, СП 4.13130.2013, СП 118.13330.2012, СП 1.13130.2020,

СП 484.1311500.2020, СП 485.1311500.2020, СП 486.1311500.2020. В ГОСТ Р 12.2.143-2009 прописаны все требования к планам эвакуации. Планы эвакуации следует вывешивать на стенах помещений и коридоров, на колоннах и в строгом соответствии с местом размещения, указанным на самом плане эвакуации. Каждый план имеет конкретную точку привязки к месту своего монтажа, обозначаемый кружком. На основе всех изученных данных, исследовании материалов и моделей мебели для детского сада была построена модель (рисунок).

На третьем этапе был изготовлен макет с помощью 3D печати, проведено тестирование мастер-модели на соответствие предъявляемым требованиям (внешний вид, эргономичность, правильность форм и т. д.) и проведена корректировка неточностей [4].

Таким образом, технологии трехмерного прототипирования позволяют оценить достоинства и недостатки объекта перед началом создания и избежать существенных ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемпинский, Л.А. К вопросу обучения основам компьютерного геометрического моделирования // Модернизация профессионально-педагогического образования: тенденции, стратегия, зарубежный опыт: материалы международной научной конференции, г. Барнаул, 18–20 октября 2017 года / под науч. ред. М.П. Тыриной, Л.Г. Куликовой. – Барнаул : АлтГПУ, 2017. С.140-143.

2. Рэдвуд Б. 3D-печать. Практическое руководство / ДМК Пресс. – 2020. 220 с.

3. Новожилова, С.А., Егорычева, Е.В. Информационное обеспечение в современных технологиях обучения графическим дисциплинам / Геометрия и графика: Журнал. — Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М». 2013. №3.— т.1, ч.1. С.33 – 35.

4. Егорычева Е.В., Тюрина С.Ю., Сидоров А.А., Орлова Е.В. Инновационные образовательные технологии в техническом вузе / Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-2. С. 312-316.

УДК 621

Т. Ю. Русских, Н. А. Кропотова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА БИОСИНТЕТИЧЕСКОГО СОРБИРУЮЩЕГО БОНОВОГО ЗАГРАЖДЕНИЯ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: в статье рассматривается актуальная тема, связанная со снижением антропогенного воздействия нефтепродуктов на водные акватории за счет разработанного биосинтетического сорбирующего материала для бонового заграждения. Для снижения профессиональных рисков предлагается использование данной технологии для робототехнического комплекс. повысить интерес к инженерно-прикладным задачам обучающихся первого года обучения. Авторами обоснована экологичность предлагаемой технологии.

Ключевые слова: удаление нефтезагрязнений, ликвидация проливов, пожарная охрана, боновое заграждение, биосинтетический сорбент.

T. Yu. Russkich, N. A. Kropotova

DEVELOPMENT OF A BIOSYNTHETIC SORBING BOOM FOR A ROBOTIC COMPLEX

Abstracts: The article deals with an urgent topic related to the reduction of anthropogenic impact of petroleum products on water areas due to the developed biosynthetic sorbing material for booms. To reduce occupational risks, it is proposed to use this technology for a robotic complex. to increase interest in engineering and applied tasks of first-year students. The authors substantiate the environmental friendliness of the proposed technology.

Keywords: removal of oil pollution, elimination of spills, fire protection, booms, biosynthetic sorbent.

Нефтяное загрязнение представляет собой общепланетарную опасность, как по токсичности, так и по масштабам. На сегодняшний день актуальным вопросом для всего человечества является борьба с разливами нефтепродуктов при чрезвычайных ситуациях. Утечки, проливы нефти и нефтепродуктов, а также отходы производства как показывает практика, неминуемы при их добыче, переработке и перевозке. Огромную экологическую угрозу представляют проливы нефтепродуктов на водные поверхности. При таких разливах всего за несколько часов пленка нефтепродуктов покрывает тонким слоем десятки и сотни квадратных километров водного пространства, двигаясь с течением воды. Разливы нефтепродуктов локализовать совсем непросто. При разливах нефти образуется пленка из углеводородов на водном пространстве, которая мешает поступлению кислорода в воду и затрудняет воздухообмен. Вместе с этим, часть опасных углеводородов смешивается с водой и негативно влияет на обитателей гидросферы. Несмотря на проводимую в последнее время государством политику в области предупреждения и ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, данная проблема остается актуальной и в целях

© Русских Т. Ю., Кропотова Н. А., 2023

снижения возможных негативных последствий требует особого внимания к изучению способов локализации, ликвидации и к разработке комплекса необходимых мероприятий.

Цель работы: снизить антропогенное воздействие нефтепродуктов на природные водоемы на основе разработки биосинтетического сорбента для удаления нефтепродуктов с поверхности воды.

Анализ данных по авариям, которые произошли за последние 24 месяца В Пермском крае на основных стадиях перевозки горючих жидкостей (ГЖ) и легковоспламеняющихся (ЛВЖ), указывает, что подавляющее большинство аварий (68 %) – это перевозка нефти и ее продуктов, с ДТП – 15 %, с ремонтными работами – 10 %, техническое обслуживание трубопроводов – 10 % (рис. 1).

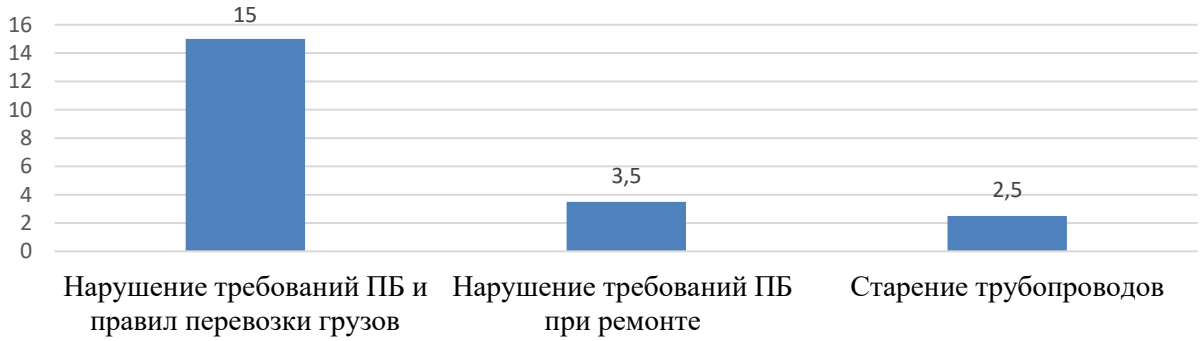


Рис. 1. Причины аварий, связанных с разливом нефтепродуктов

Из классификации аварий по характеру развития следует, что аварии чаще всего происходят из-за проливов горючих жидкостей без возгорания – 60 %; пожары пролива – 24 %; пожары автоцистерны – 16 %. Всего свыше 80 % всех аварий составляют проливы, из которых четверть переходит в пожар.

Данные по водным объектам акватории пресных рек и водоемов, находящихся на территории Пермского края, выделяют некоторые обстоятельства происхождения аварийных ситуаций: природный фактор –происшествия происходят из-за стихии (штормы, бури, туман, лед); человеческий фактор – ошибочные действия техников и обслуживающего персонала, ошибки при эксплуатации, устаревшее оборудование, невнимательность при проведении ремонтов и технических обслуживаний, перегруз больше разрешенного объема.

Актуальность существующей проблемы показывает, что при многообразии современных методов сбора нефти и нефтепродуктов нужны инновационные технологии, которые позволят людям продуктивно очищать нефтяные загрязнения и при этом будут обладать низкой стоимостью.

Оказалось, что сбор нефтепродуктов вручную – основная технология, а использование сорбентов (абсорбенты и адсорбенты) – основной способ борьбы за окружающую среду, что подтверждается статистическими данными, представленными на рис. 2, при сравнении данных по России в целом и Пермскому краю [1].

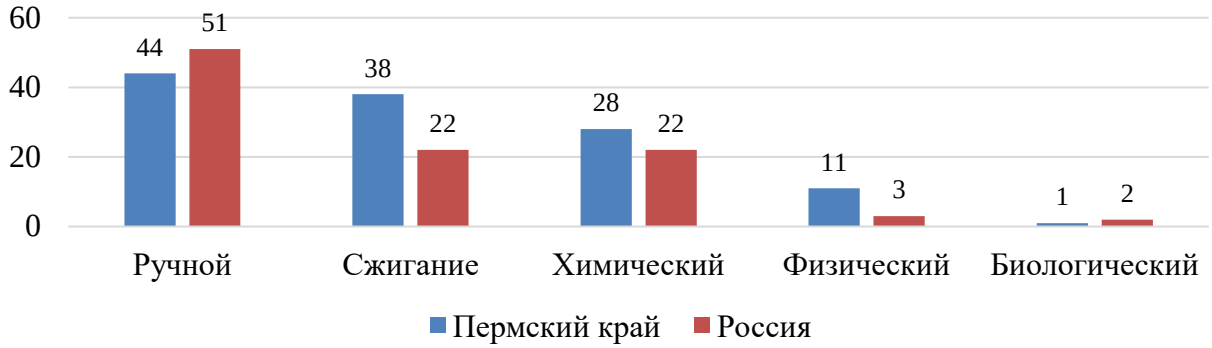


Рис. 2. Основные применяемые методы сбора нефтепродуктов

Нефтяные сорбенты используются для сбора нефти и нефтепродуктов с плоскости водных объектов. Качество нефтяных сорбентов определяется тремя основными характеристиками: плавучесть, нефтепоглощение, водопоглощение. Продуктивный сбор нефтепродуктов как правило определяется по значению нефтеемкости. На практике есть возможность исключить высокую всасываемость воды для всех материалов использовав для этого гидрофобизацию. Сырье с плохой плавучестью рентабельно использовать в конструкциях, в которых применяется армирующий каркас – губках, бонах, салфетках, матах.

Для увеличения объема сорбента и поглотительной способности по отношению к нефти и нефтепродуктам можно применить методику измельчения сорбирующего материала. Исходя из проведенного теоретического обзора применяемых технологий сбора и методов предлагаем использовать сразу две эффективные методики – синтетический сорбент – поскольку активен при больших загрязнениях нефтепродуктами и биологический материал – способный разлагать пленки нефтепродуктов на поверхности воды. Таким образом, предлагается получить биосинтетический сорбент и исследовать его эффективность на различных углеводородах.

В основе предлагаемой технологии получения лежит биохимическая очистка водной массы, где предлагается использовать микроорганизмы иловой основы, заключенные в синтетическую сетку сорбента. На рис. 3 представлен основной технологический процесс получения биосинтетического сорбента.

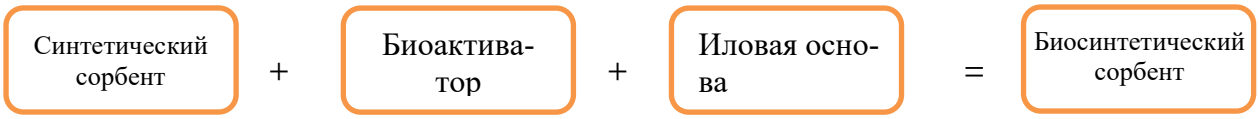


Рис. 3. Получение биосинтетического сорбента

За биологическую основу взят ил, в котором содержатся активные ассоциации микроорганизмов, способные перерабатывать ароматические углеводороды, а продукты жизнедеятельности которых являются экологически безопасными. Таким образом, микроорганизмы ила – деструкторы нефтепродуктов. Для того, чтобы их активировать применяется активатор «Восток ЭМ-1» [2]. Для проведения данного исследования набиралась холодная вода из близлежащих водоемов г. Перми в стеклянную тару, предварительно подготовленную (простерилизованная), плотно упаковывалась, предохраняя от разлива. Затем в лаборатории искусственным методом производили ее за-

грязнение нефтью и нефтепродуктами из расчета 1 мл пробы углеводородов на 1 л воды. Затем, погружали приготовленные биосинтетические сорбционные материалы.

В дальнейшем наблюдали за нефтепоглощением сорбентов во времени в течение суток. Из семи рассматриваемых сорбентов самый лучший показатель нефтепоглощения 58 % от веса сорбента за первый час загрязнения отмечался у щепы ольхи, а вот по истечении суток (24 часа) у пенополиуретана (рис. 4).

Исследование кинетики сорбции нефтепродуктов с поверхности воды приготовленными сорбентами свидетельствует о том, что наибольшая интенсивность поглощения происходит за первые полчаса, а максимальная - достигается за 24 часа. Оказалось, что лучшие показатели имеют пенополиуретан и щепа ольхи на основе исследования поглощения загрязнителя с поверхности воды. На поверхности этих двух сорбентов возникала самая высокая иммобилизация микроорганизмов – биодеструкторов нефти.

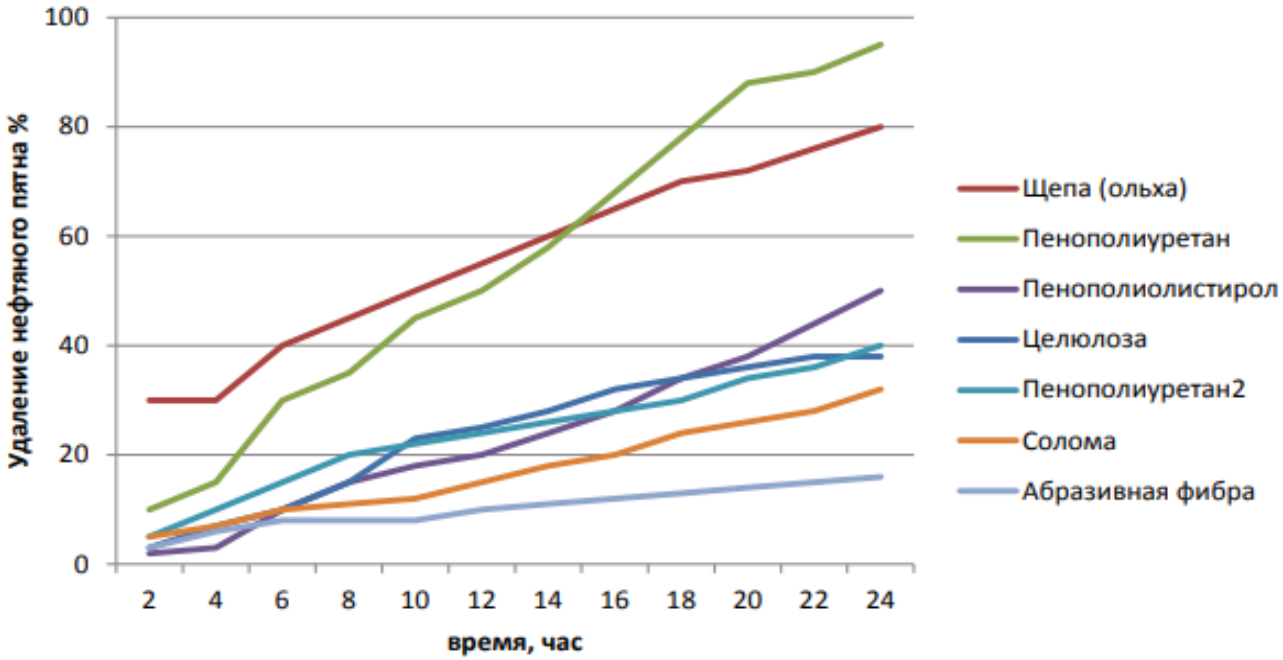


Рис. 4. Кинетика сорбции нефтепродуктов
приготовленными биосинтетическими материалами в течение суток

Способом биотестирования с помощью применения ветвистоусых рачков *Daphnia magna (Straus)* было выявлено, что токсичность воды имела изменения от используемого состава применяемого сорбента, а также сорбционных характеристик материалов, на которые наносили биопленку. Оказалось, что наилучшими сорбционными свойствами обладает ольховая щепа с нанесенными биосорбентами, а наихудшими свойствами - абразивная фибра.

Использование гидробионтов достаточно широко, но, к сожалению, имеют ограничения по температуре их применения. Данная технология применима только для очистки поверхности воды не ниже 4^0C.

Предлагаем использовать данную технологию для бонового заграждения (рис. 5).

Рис. 5. Структура нефтесорбирующего бона: 1 – сорбционное боновое заграждение; 2 – растительный сорбент на основе ольховой щепы с биологическими деструкторами; 3 – синтетический материал; 4 – рукавная сетка из полимерных нитей

Нефтесорбирующий бон сделан в форме трубчатого элемента (1), в центре расположен сердечник (3), который обеспечивает непотопляемость бона. Вокруг сердечника находится сорбент (2), состоящий из растительного сырья, имеющего отличные сорбирующие свойства, и износостойкую сетку в форме чулка / рукава изготовленную из полимерных нитей, окружающую трубчатую оболочку (4).

Нефтесорбирующий бон сделан из растительного сырья – ольховых опилок и синтетического сырья – пенополиуретана, которые являются носителями микроорганизмов-биодеструкторов. Рассматриваемый пенополиуретановый сорбент имеет хорошую гидрофобную способность, вследствие чего он не набухает, соприкасаясь водой, и почти полностью отсутствует вода после наполнения углеводородными загрязнениями. Количество выловленных углеводородных загрязнений и быстрота их впитывания характеризуется сорбционными способностями полиуретанового сорбента, превышающие сорбционные показатели популярных пористых полимерных сорбентов. Наружная оболочка изготовлена из нетканого полипропиленового сырья.

Основные достоинства предложенного биосинтетического сорбента: эффективное очищение поверхности воды от нефтепродуктов; многократное использование сорбирующего элемента в составе бонового заграждения; экологичность биосинтетического сорбента; внедрение робототехнического комплекса позволит снизить нагрузку на личный состав подразделений ФПС и служб [3, 4].

Введение инноваций в сбор нефтепродуктов на водных объектах способствует повышению эффективности подразделений пожарной охраны при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ, а также кардинально увеличивает спектр использования робототехнических средств с новыми образцами техники и оборудования, облегчая работу спасателей и пожарных. В свою очередь, это уменьшает время на локализацию и ликвидацию разлива нефтяного загрязнения, соблюдая при этом экологическую и пожарную безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русских Т.Ю., Кропотова Н.А. Безопасность водной акватории за счет применения роботизированной техники // Студент-Наука: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции / отв. ред. А.В. Сергеев [Электронный ресурс].

Электрон.текстовые и граф. Данные (13,5 Мб). Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет, 2022. С. 229 – 231.

2. Русских Т.Ю., Кропотова Н.А. Инженерные решения вопросов безопасности на водных объектах // Электромеханотроника и управление // шестнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2022. С. 65.

3. Леушин Е.Н., Кропотова Н.А. Разработка робототехнического комплекса и системы для противопожарной защиты и ликвидации последствий пожаров и взрывов на водных объектах // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов II Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 355 – 357.

4. Леушин Е.Н., Кропотова Н.А. Моделирование робототехнического комплекса для мониторинга и ликвидации последствий аварийного пролива нефтепродуктов с поверхности воды // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции. Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧ России, 2018. С. 125 – 128.

УДК 004.896

А. А. Сидоров
Ивановский государственный энергетический университет,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР

Аннотация: в статье рассматривается актуальность внедрения современной технологии искусственного интеллекта в САПР, описываются некоторые важные процессы взаимодействия разработчиков искусственного интеллекта и инженеров-проектировщиков и с какими трудностями приходится сталкиваться.

Ключевые слова: искусственный интеллект, САПР, конструкторская документация, чертеж, машинное обучение.

A. A. Sidorov

PROBLEMS OF IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CAD

Abstracts: the article discusses the relevance of the introduction of modern artificial intelligence technology in CAD, describes some important processes of interaction between artificial intelligence developers and design engineers and what difficulties one has to face.

Keywords: artificial intelligence, CAD, design documentation, drawing, machine learning.

© Сидоров А. А., 2023

Искусственный интеллект становится все более важным для многих областей человеческой деятельности, так как существуют преимущества применения машинного обучения и глубокого обучения. Искусственный интеллект (ИИ) часто воспринимается как самая важная компьютерная технология общего назначения на сегодняшний день. ИИ уже вызвал существенные изменения в здравоохранении, производстве, транспорте, торговле, средствах массовой информации, финансах, нефти и газе и изменил их правила конкуренции. Различные отрасли в настоящее время рассматривают возможности применения машинного обучения и глубокого обучения в своих областях, применяя распознавание изображений, обработку естественного языка и интеллектуальный анализ данных для оптимизации операций.

Технологии искусственного интеллекта стали привлекательными технологиями для организаций, стремящихся автоматизировать повторяющиеся задачи, чтобы сократить ручной труд и высвободить ресурсы для инноваций. В отличие от автоматизации на основе правил, обычно используемой для стандартизированных и предсказуемых процессов, машинное обучение, особенно глубокое обучение, может решать более сложные задачи и обучаться с течением времени, что приводит к повышению точности и эффективности, улучшению всех процессов. Это также может побудить практиков и исследователей создавать аналогичные продукты для различных областей машиностроения.

Одной из областей, в которых ИИ может оказать заметное влияние, является сокращение ручного труда инженеров, работающих со сложными чертежами, улучшение качества инженерных чертежей в САПР. Используя возможности ИИ, можно автоматизировать некоторые повторяющиеся действия, сохраняя производительность на высоком уровне. Это может принести большую пользу из-за снижения времени разработки а, так же стоимости, не говоря уже о положительном влиянии на качество. ИИ имеет обширное применение в проверке качества конструкторской документации. До недавнего времени существующие решения ограничивались ручными проверками под наблюдением опытных инженеров. Проверка качества большого количества конструкторской документации требует огромного количества человеческого труда, что может привести к задержкам во времени и, например, перерасходу средств.

Стоит отметить, что разрабатываемые модели ИИ не зависит от предметной области. Его можно переобучить на различных схематических схемах в инженерных областях. Таким образом, принцип работы может также помочь другим исследователям понять, можно ли создавать аналогичные решения для разных отраслей промышленности.

В наши дни инженеры и разработчики конструкторской документации получают чертежи в виде файлов САПР и сгенерированных PDF файлов, или отсканированных бумажных документов. Обмен инженерными проектами между различными организациями осуществляется в формате САПР на основе предварительно согласованных договоренностей. Иногда может потребоваться и оцифровка инженерных чертежей на бумажных носителях.

Хотя оцифровка инженерных чертежей с помощью ИИ по-прежнему требует большего внимания в исследовательском сообществе, было опубликовано несколько работ на эту тему, чтобы помочь практикам. С 2010 года некоторые исследователи начали использовать нейронные сети и алгоритмы машинного обучения для распознавания образов, распознавания текста, символов из отсканированных изображений

или файлов, а также автоматическое создание оцифрованных чертежей. Процесс включал в себя идентификацию различных текстовых кодов и символов и локализацию их в очень сложной структуре.

Основной задачей для современных исследователей на названную тему, это нахождение решения, которое позволило бы сократить ручной труд инженеров и разработчиков. Продолжаются исследования в том, как ИИ может помочь в автоматизации некоторых повторяющихся действий при создании конструкторской документации. Не маловажным обстоятельством является привлечение будущих пользователей ИИ в САПР, то есть самих инженеров, проектировщиков, разработчиков. Так же разработчикам ИИ необходимо определить уникальные проблемы в предметной области, которые все еще требуют вмешательства экспертов. После анализа типичного рабочего процесса над проектом инженеры определяют этапы, на которых в значительной степени задействована ручная работа. Одним из таких шагов является ручная проверка качества технического проекта. Несмотря на то, что многие используют 3D-моделирование в САПР, не все ошибки проектирования могут быть выявлены там. При создании 2D-чертежей на основе модели по-прежнему требуется проверка вручную. Это также применимо, когда конструкторская документация получена или передается от одной организации к другой в формате 2D и нуждается в проверке. Эти действия обычно занимают несколько часов и требуют опыта, чтобы своевременно выявлять ошибки проектирования, которые могут поставить под угрозу этап реализации какого-либо проекта. ИИ может обнаружить ошибки, которые сразу могут быть не видны человеку, а проявятся позже.

Подготовка набора данных является наиболее важным шагом для любого приложения машинного обучения. Количество, а также качество данных сильно влияют на точность модели машинного обучения. Прямое применение ИИ для оцифровки и контекстуализации сложных инженерных чертежей по-прежнему является сложной задачей из-за отсутствия достаточного количества подготовленных примеров в промышленной практике. В то время как в технической литературе по машиностроению можно найти некоторые символы общего назначения, для различных чертежей, но нет наборов данных предметной области, в которых собраны символы разных стандартов. В дополнение к типичным проблемам компьютерного распознавания, таким как изменения освещения, масштаба и положения, символы и элементы могут соответствовать различным стандартам, то есть внутренним стандартам, конкретным странам или международным стандартам.

Необходимо объединить опыт обнаружения символов на сложных инженерных чертежах с практическим опытом инженеров-проектировщиков, чтобы найти ошибки проектирования, которые могут привести к значительным задержкам в реализации проекта и потенциально поставить под угрозу общий график проектирования.

Разработанное программное обеспечение на основе искусственного интеллекта можно постоянно переучивать для выявления новых типичных ошибок. Таким образом, ИИ имеет возможность расширения применяемой области в долгосрочной перспективе.

Поэтому многие организации рассматривают возможность внедрения ИИ для высвобождения высококвалифицированного и дорогостоящего персонала для более сложных задач при одновременном повышении эффективности и экономии времени.

Следует отметить важность и будущее машинного обучения в технологиях 3D-печати, прототипировании образцов и конечных изделий.

Сочетание таких тем, как робототехника, виртуальная реальность, дополненная реальность, блокчейн и принтеры с ИИ, станет потенциальными областями исследований в ближайшие годы.

Процесс классификации анализа конструкторской документации состоит из нескольких этапов. Сначала все узлы всех элементов в используемом наборе данных разделяются на обучающий набор данных и тестовый набор данных. Затем нейронная сеть получает информацию о других составляющих чертежа, а также атрибутах, например, класс оборудования, тип соединения. На основе этой информации сеть генерирует вложение для каждого элемента и прогнозируемого класса элементов. Это сравнивается с реальным классом узлов, и ошибка уменьшается за счет обратной связи. После завершения обучения нейронная сеть может использоваться для классификации других неотображаемых данных.

Поэтому составление четко определенного и четко обозначенного набора данных, который можно использовать для классификации символов, является важной задачей, к которой должны быть привлечены эксперты в данной предметной области. Многие разработчики использовали в прошлом, а некоторые и в настоящее время, свои собственные стандарты для представления элементов на чертежах. Это приводит к большим вариациям каждого символа, элемента. Кроме того, текстовые символы могут перекрываться символами или другими изображениями. В этом случае сбор данных требует проверки множества различных конструкторских документов, которые разрабатываются для разных целей.

Внедрение ИИ в процесс автоматизированного проектирования сталкивается и с некоторыми трудностями. Запуск приложения ИИ на локальной машине является ресурсоемким для среднего компьютера и, следовательно, занимает значительное время. Возникает необходимость в разработке простого пользовательского интерфейса на основе совместной работы, позволяющий экспертам предметной области тестировать модель для набора PDF-файлов за один раз в облаке. Из-за ограничений памяти одновременно можно обрабатывать только коллекцию из нескольких десятков файлов САПР. Иногда требуется чертежи в формате файлов САПР преобразовать в изображения с разрешением 1024 × 1024, чтобы выходные изображения были низкого качества. И в этом случае инженерам-проектировщикам приходится использовать выходные изображения только в качестве ссылки и вручную искать выявленные ошибки в исходных файлах. Эти два основных недостатка — ограничения на размер пакета файлов САПР и низкое качество выходного изображения, вынуждают разработчиков ИИ искать другое решение до этапа внедрения, то есть разработать программное обеспечение, которое может управлять исходными файлами, в зависимости от задачи и требований.

Для широкого признания и использования ИИ в технологическом процессе и разработке конструкторской документации необходимо, чтобы цифровые, машиночитаемые форматы были дополнительно внедрены и стали неотъемлемой частью программных пакетов предназначенных для САПР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абасов, Р. К. Анализ методов искусственного интеллекта САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры // Молодой ученый. — 2016. — № 24 (128). — С. 41-48.

2. Власов А. И. Применение методов визуального моделирования для формализации конструкторско-технологической информации // В сборнике: Информатизация образования. – 2012 Материалы Международной научно-практической конференции. 2012. С. 70–78.

3. Дембицкий Н. Л., Назаров А. В. Применение методов искусственного интеллекта в проектировании и производстве радиотехнических устройств. – Москва. Изд-во МАИ. 2009. Сер. Научная библиотека. 228 с.

УДК 303.01

О. В. Токарева, С. В. Фролов, Д. В. Фролов
Академия государственной противопожарной службы МЧС России

СОЗДАНИЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДИСЦИПЛИН КАФЕДРЫ МЕХАНИКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ СРЕДСТВАМИ AUTOCAD

Аннотация: в данной статье рассматриваются вопросы разработки и создания учебно-методического комплекса дисциплин инженерной графики и прикладной механики, совершенствующий целенаправленный процесс обучения и оптимизирующий графическую подготовку обучаемых.

Ключевые слова: учебно-методический комплекс, инженерно-техническое образование, компьютерные модели, самостоятельная работа, графическая подготовка.

O. V. Tokareva, S. V. Frolov, D. V. Frolov

CREATION OF EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX OF DISCIPLINES OF THE DEPARTMENT OF MECHANICS AND ENGINEERING GRAPHICS BY MEANS OF AUTOCAD

Abstracts: This article discusses the development and creation of an educational and methodological complex of disciplines of engineering graphics and applied mechanics, improving the targeted learning process and optimizing the graphic training of students.

Keywords: Educational and methodological complex, engineering and technical education, computer models, independent work, graphic training.

Учебно-методический комплекс (УМК) – система нормативной и учебно-методической документации, средств обучения и контроля для качественной организации основных профессиональных и дополнительных образовательных программ.

© Токарева О. В., Фролов С. В., Фролов Д. В., 2023

УМК учебной дисциплины разрабатывается с учетом повышения качества усвоения обучающимися учебного материала.

Важной задачей разработки УМК является систематизация содержания дисциплины с учетом достижений науки и техники. Одним их элементов УМК являются учебно-методические материалы дисциплины. Развитие новых информационных компьютерных технологий в современном образовательном пространстве предлагает участникам учебного процесса разнообразные форматы учебно-методических материалов при разработке стратегии и тактики развития инженерно-технического образования с соответствующими требованиями к критериям оценки владения знаниями. Понимание данных требований предоставляет преподавателю возможность формирования целенаправленного процесса обучения, а обучаемому приобретать четкое понимание о системе требований и задач, которые ему необходимо решить в процессе обучения.

В связи с этим, помимо учебной и научной работы профессорско-преподавательский состав кафедры механики и инженерной графики отводит значительное время на создание учебно-методического комплекса дисциплин. Сюда входит создание новых методик проведения лекционных и практических занятий средствами, позволяющими внедрять и реализовывать современные компьютерные технологии. При этом чтобы сформировать и разработать разноплановые методические средства, помимо современных средств обучения должен быть учтен многолетний практический опыт профессорско-преподавательского состава. Здесь важен и творческий потенциал преподавателей и традиционный общий методический подход в изложении основных тем дисциплин.

Ведущей дидактической целью учебных занятий является формирование практических умений – профессиональных или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности. На практических занятиях обучающиеся овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем совершенствуются в процессе курсового проектирования, учебной и производственной (профессиональной) практики.

Преподаваемые на кафедре дисциплины инженерная графика и прикладная механика относится к базовым общеинженерным дисциплинам. Последовательность изложения материала изучаемых дисциплин в УМК направлена на формирование у обучаемых необходимых, соответствующих современному уровню профессиональных компетенций.

Содержание и методика подачи материала основаны на принципе «от простого к сложному», что необходимо при системном подходе к выполнению и оформлению расчетно-графических работ [1].

Преподавателями кафедры созданы наглядные 3D-модели по основным разделам инженерной графики и прикладной механики, которые были разработаны и выполнены средствами AutoCAD.

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Инженерная графика» учебно-методический комплекс наглядных моделей включает в себя двух- и трёхмерные компьютерные модели всех разделов курса (рис. 1).

Применение компьютерных технологий на базе AutoCAD позволяет визуализировать учебный материал, оказывая тем самым огромную помощь в изучении и понимании учебного материала. Так использование трехмерных моделей в прикладной

механике обеспечивает наибольшую эффективность восприятия излагаемого материала, способствует развитию пространственного мышления, позволяет достичь повышения производительности и качества труда, как преподавателя, так и обучающегося [3]. Моделирование таких объектов в курсе прикладной механики способствует их лучшему пониманию курсантами и студентами, намного повышает их наглядность (рис. 2).

Учебный материал, входящий в состав УМК соблюдает принцип наглядности: каждый раздел дисциплин состоит из набора 3D-моделей с минимумом текста и визуализацией, облегчающей понимание и запоминание новых понятий, утверждений и методов.

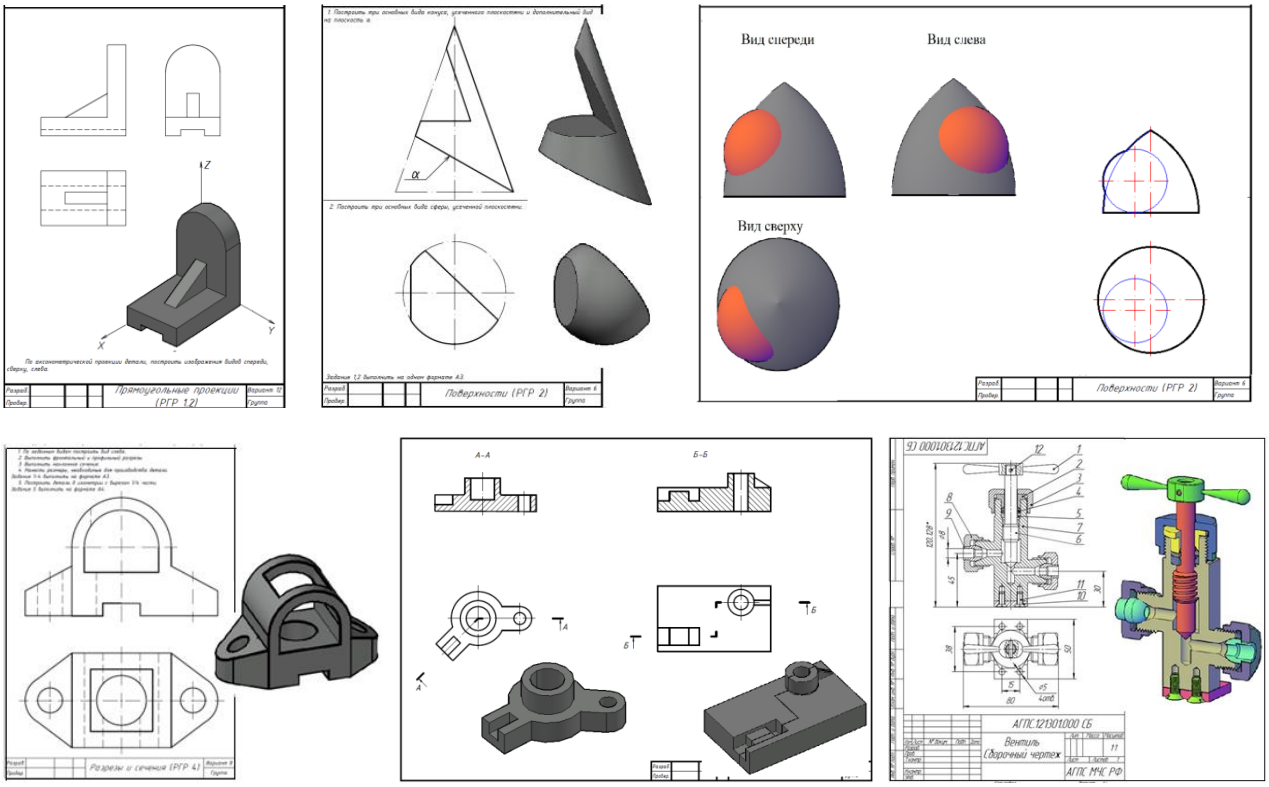


Рис. 1. Учебно-методические материалы дисциплины инженерная графика

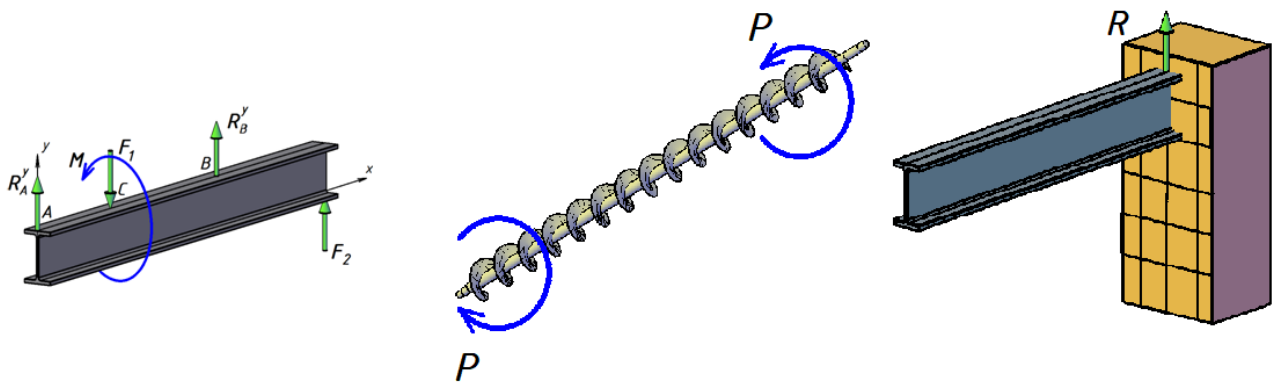


Рис. 2. Учебно-методические материалы дисциплины прикладная механика

Таким образом, разработанный учебно-методический комплекс дисциплин «Инженерная графика» и «Прикладная механика» позволит не только совершенствовать учебно-методическую базу кафедры, увеличивать информативную ёмкость учебного процесса, но и интенсифицировать и улучшать его качественные показатели. Для этих же целей, чтобы усовершенствовать восприятие теоретического материала, необходимо повысить уровень управляемой самостоятельной работы курсантов и студентов в обучении. Совершенствование восприятия теоретического материала, а также повышение уровня управляемой самостоятельной работы обучающихся способствует качественному формированию компетенций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувшинов Н.С. Инженерная и компьютерная графика: учебник / Н.С. Кувшинов, Т.Н. Скоцкая. – М.: КНОРУС, 2016. – 234 с.

2. Гиль С.В. Создание учебно-методического комплекса наглядных плакатов по выполнению рабочих чертежей деталей средствами AutoCAD / С.В. Гиль // Международная научно-практическая конференция "Инновационные технологии в инженерной графике. Проблемы и перспективы" – 2021. Минск, Беларусь.

3. Токарева О.В. Визуальный анализ трехмерных объектов в коммуникационном и учебном процессах: Сборник XII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново. 2021. с. 347 – 351.

УДК 62-237

Е. А. Топорова, И. В. Зайцев, В. Е. Романов
Ивановский государственный политехнический университет

САМОРАСКРЫВАЮЩИЙСЯ КРЮК ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы конструкции и принципа действия крюка для транспортировки химически опасных и радиоактивных грузов в специальные хранилища.

Ключевые слова: конструкция, рама, упругий элемент, стропа.

SELF-OPENING DANGEROUS GOODS HOOK

Abstracts: the article deals with the design and operation of a hook for transporting chemically hazardous and radioactive cargo to special storage facilities.

Keywords: construction, frame, elastic element, sling.

При опускании химически опасных, а также радиоактивных грузов в специальные хранилища в местах утилизации отходов, при помощи подъёмно-транспортного

© Топорова Е. А., Зайцев И. В., Романов В. Е., 2023

оборудования, используются спусковые устройства различных конструкций, основным недостатком которых является отсутствие возможности не оставлять стропы, используемые для опускания груза. Таким образом, веревки и канаты, используемые для подобных работ, остаются вместе с грузами и могут скапливаться с течением времени в больших количествах, что приводит, в свою очередь, к материальным потерям и создает различные технические сложности.

Одним из путей решения данной проблемы является создание механизма для опускания грузов, конструкция которого позволяет захватывать стропы, таким образом, используя их многократно.

Конструкция представляет собой раму 2, скреплённую при помощи шарниров 3, одним из основных рабочих органов которой служит упругий элемент 4, срабатывающий при исчезновении натяжения каната или веревки 5, в момент контакта груза с горизонтальной поверхностью.

Принцип действия данной конструкции заключается в следующем: в процессе опускания груза возникает натяжение стропы или верёвки 5. Давление, создаваемое верёвкой на раму 2, передается, в том числе, и на треугольный вырез 8, не позволяет раме раскрыться. В момент контакта конструкции с горизонтальной поверхностью, натяжение стропы исчезает. Крюк 1 при помощи лебёдки подается вертикально вверх, а упругий элемент 4, воздействует на выступы 7 и боковые планки рамы 2 расходятся вправо и влево.

Далее, всю конструкцию вместе со стропами, поднимают вверх, сохраняя при этом стропы для дальнейшего использования.

Расчёт силовых параметров данной конструкции даст возможность использовать её в различных областях техники и для различных условий.

Габариты и используемые материалы можно подобрать в зависимости от конкретных условий применения.

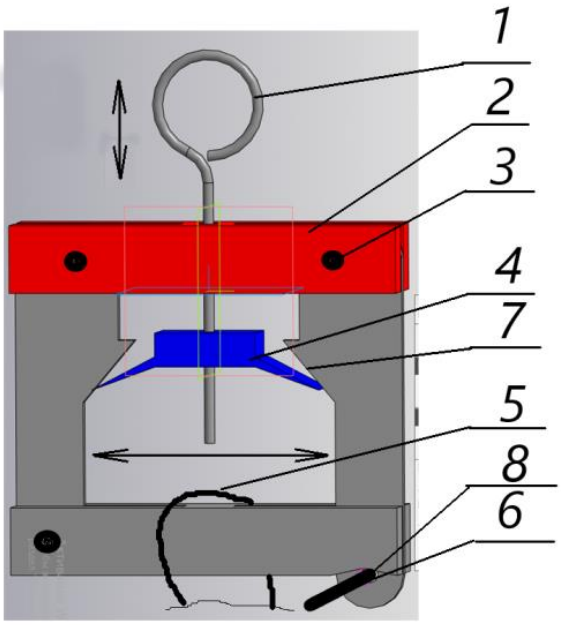


Рис. 1. Устройство:
1 - крюк, скрепляемый с лебёдкой;
2 – рама; 3 – шарниры;
4 – упругий элемент;
5 – стропа;
6- винт, 7 – упоры;
8 – треугольный вырез

Основными входными для расчёта характеристиками будут являться масса груза и модуль Юнга материла упругого элемента.

Таким образом, применение данного устройства позволяет решить проблему сохранения строк и веревок и даёт возможность многократного их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.С. Есенин. Такелажные работы в строительстве. - М.: Стройиздат, 1990.
2. Г.К. Соколов Выбор кранов и технических средств для монтажа строительных конструкций: Учеб. пособие /Моск. гос. строит, ун-т. М.: МГСУ, 2002.

УДК 677.05

Е. А. Топорова, Д. В. Муратов
Ивановский государственный политехнический университет

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННЫХ КРАЕОБМЕТОЧНЫХ ШВЕЙНЫХ МАШИН С ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДВИЖЕНИЯ

Аннотация: в статье акцентировано внимание на надёжности и долговечности узлов и механизмов швейных машин, выпускавшихся в СССР. Однако, во многих из них использовался привод с фрикционной передачей движения от электродвигателя, имеющий ряд существенных недостатков. Предлагается замена данного привода на привод с преобразователем частоты вращения и использованием зубчатого ремня.

Ключевые слова: преобразователь частоты вращения, зубчато-ремённая передача, клиноремённая передача, краеобмёточная машина.

MODERNIZATION OF THE DRIVE OF INDUSTRIAL EDGING SEWING MACHINES WITH FRICTIONAL MOVEMENT TRANSMISSION

Abstracts: the article focuses on the reliability and durability of units and mechanisms of sewing machines produced in the USSR. However, many of them used a drive with frictional transmission of motion from an electric motor, which has a number of significant drawbacks. It is proposed to replace this drive with a drive with a speed converter and the use of a toothed belt.

Keywords: frequency converter, toothed belt drive, V-belt drive, overcasting machine.

Промышленные и бытовые швейные машины, выпускавшиеся в СССР, в том числе и краеобмёточная машина 51 класса, обладали рядом положительных качеств. Одним из таких качеств являлась надёжность и долговечность узлов и механизмов машин, что обеспечивалось высоким качеством используемых конструкционных материалов. Относительная простота конструкции, позволяла легко обслуживать данное оборудование.

Однако стоить отметить, что отсутствие электронных устройств привода и управления оборудованием, не позволяло точно устанавливать и регулировать частоту вращения главного вала. Фрикционный привод, используемый для большинства швейных машин, не мог обеспечить ни точные значения, ни возможность регулировки

© Топорова Е. А., Муратов Д. В., 2023

частоты вращения главного вала, и как следствие, невозможность установки датчиков положения рабочих органов. Кроме того, фрикционный привод не мог обеспечить отсутствие свободного вращения ротора электродвигателя (холостой ход). Клиноременная передача, как правило, используемая вместе с фрикционным приводом, обладала рядом существенных недостатков:

- невозможность (из-за неизбежного проскальзывания ремня по шкивам) получения точных, неизменных значений передаточных чисел;
- невысокие износостойкость и выносливость ремней (невысокая долговечность 1000…5000 часов);
- повышенное потребление электроэнергии при работе на холостых оборотах, а так же при проскальзывании ремня;
- шум и вибрации во время работы.

Модернизация привода краеобмёточной машины 51 класса, предполагает замену клиноременной передачи за зубчатоременную, а так же подключение электронного преобразователя частоты к уже имеющемуся трехфазному асинхронному электродвигателю.

Преимущества зубчаторемённой передачи по сравнению с клиноремённой, состоят в следующем:

- отсутствие проскальзывание ремня. Постоянное передаточное отношение позволит сохранить точные кинематические и силовые характеристики при передаче движения от электродвигателя к главному валу машины;
- снижение нагрузок на валы и опоры (по сравнению с клиноременной передачей за счёт более низкого натяжения ремня);
- увеличение КПД, что, в свою очередь, ведет к экономии электроэнергии;
- уменьшение шума и вибраций в процессе работы.

Для установки и управления частотой вращения главного вала, предлагается установить электронный преобразователь частоты вращения, который подключается непосредственно через электроавтомат к электродвигателю краеобмёточной швейной машины. Преимущества подключения преобразователя частоты состоят в следующем:

- плавная регулировка частоты вращения главного вала машины при условии установки электронной педали. В отсутствие электронной педали, регулировка может осуществляться при помощи функциональных кнопок на самом частотном преобразователе;
- практически полное исключение вибрации и шума в процессе работы машины;
- исключение холостого хода машины, что в свою очередь существенно снижает энергопотребление;

При помощи специального программного обеспечения возможно запрограммировать преобразователь частоты таким образом, что частота вращения главного вала машины изменялась в зависимости от вида материла, его толщины и т.д.

Современные преобразователи частоты выпускаются различными отечественными и зарубежными производителями. Среди российских производителей известны такие как «Веспер», «Лидер», «Спутник».

На рис.1 изображена схема подключения преобразователя частоты «Веспер Е-5 -8200SP5L» к швейной машине с использованием электронной педали.

На данной схеме обозначено:

L1, L3- входной автоматический выключатель. Производит защиту от короткого замыкания.

S1-S5 – дискретные режимы управления. Работают в режиме ручного регулирования.

E – общее заземление;

AGND – заземление аналогового входа;

10 V, AV1, AC1 – аналоговые входы. К ним подключается электронная педаль. Регулирование частоты происходит за счёт потенциометра (активного сопротивления). При наклоне педали на определённый угол, изменяется сопротивление цепи. Сигнал обрабатывается ПЧ, затем поступает на электродвигатель.

AO – дисплей вывода выходной частоты;

M – электродвигатель.

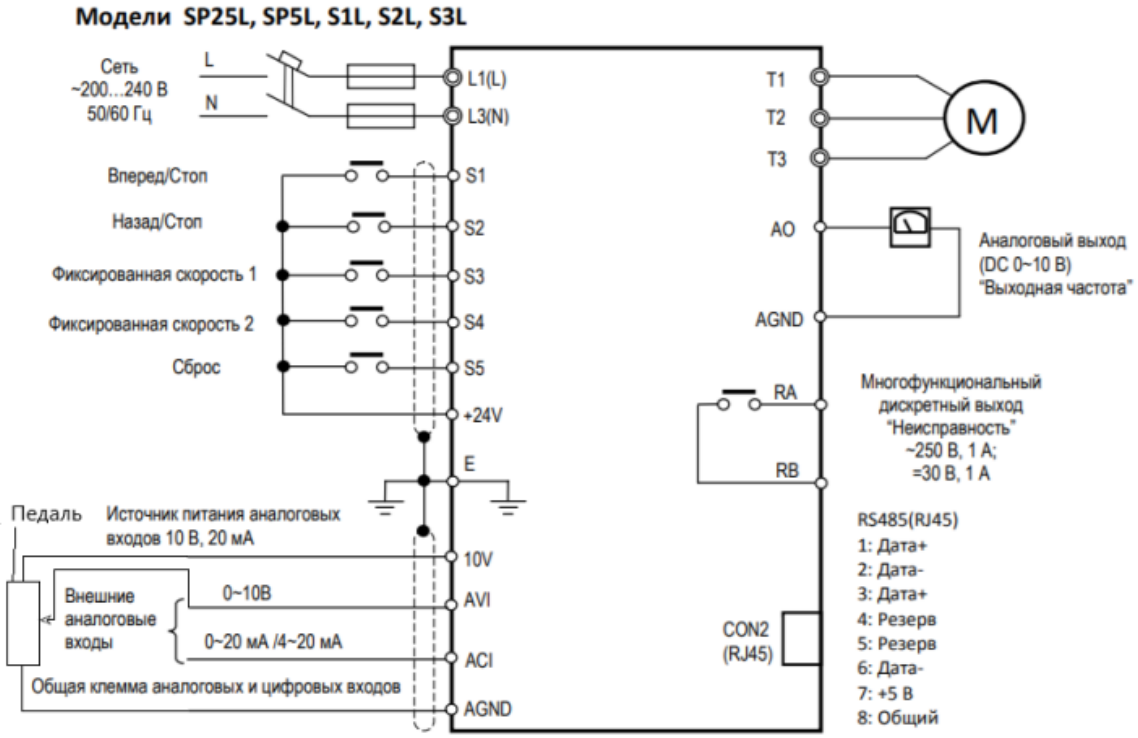


Рис. 1. Схема подключения преобразователя частоты «Веспер E-5-8200SP5L к швейной машине с использованием электронной педали

На рис. 2 изображен преобразователь частоты «SPUTNIK VEMAX VFC300»

Рис. 2. Преобразователь частоты «SPUTNIK-VEMAXVFC300»

Производитель «SPUTNIK» заявляет следующие плюсы модели «SPUTNIK VEMAX VFC300»:

- сочетание компактности и высокой мощности;
- высокий пусковой момент, адаптивность к различным нагрузкам;
- поддержка программируемого управления для сложных задач;
- высокая перегрузочная способность, минимальное время ускорения;
- встроенный ПИД-регулятор для управления по обратной связи;
- комплексные функции защиты, более надежная работа.

Необходимо отметить, что компания «SPUTNIK» - Российская, что, в свою очередь, обеспечивает техническую поддержку и гарантию на продукцию, а также относительно невысокие цены. Например, цена на преобразователь частоты «SPUTNIK VEMAX VFC300» начинается от 7500 рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Частотный преобразователь "Лидер". ООО «ЛИДЕР» - преобразователи частоты, устройства плавного пуска электродвигателя (xn--b1adbcncr3agjb.xn--p1ai)

2. Серия VFC300 Многофункциональные преобразователичастоты // SPUTNIK URL: https://privod-sputnik.ru/wp-content/uploads/2022/10/SPUTNIK-Vemax-VFC300-obshhaya-informatsiya.pdf.

УДК 539.42

П. В. Умакова, А. В. Топоров
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ТУШЕНИЯ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ

Аннотация: В данной работе приводятся общие сведения о возможности применения устройства, использующего эффект Дудышева для тушения степных пожаров. Приведены некоторые параметры электрических полей в устройстве, рассчитанные с использованием метода конечноэлементного моделирования.

Ключевые слова: электрическое поле, тушение пожара, эффект Дудышева, электрическое дутье, степные пожары, республика Калмыкия

P. V. Umakova, A. V. Toporov

INVESTIGATION OF ELECTRIC FIELD PARAMETERS IN A DEVICE FOR EXTINGUISHING STEPPE FIRES

Abstracts: This paper provides general information about the possibility of using a device using the Dudyshev effect to extinguish steppe fires. Some parameters of electric fields in the device calculated using the finite element modeling method are given.

Keywords: electric field, fire extinguishing, dudyshev effect, electric blast, steppe fires, republic of Kalmykia

Степной пожар – стихийное, неконтролируемое распространение огня по растительному покрову степей, представляют собой возникновение одного или нескольких очагов, которые достаточно быстро распространяются на значительные территории. Такие природные катастрофы обладают высокой скоростью распространения, достигающей в определенные моменты 30 км/ч. Этот фактор обусловлен большим количеством сухой растительности, созревших злаков и прочих легковоспламеняющихся материалов.

Сегодня для защиты от пожаров применяют множество способов, основным является метод прокладки минерализованных полос, этот метод хорошо зарекомендовал себя, но, на мой взгляд, является медленным и энергозатратным. Поэтому разработка новых способов и устройств для борьбы со степными пожарами является актуальной задачей.

Гашения пламени возможно осуществлять не только при помощи воздействия на него специальных составов, но и за счет физических эффектов, например создания электрических полей [1]. В электрическом поле в плазме огня образуется поток частиц - ионов, которые сдувают пламя, приводя к его гашению. Как установлено ранее [2], для достижения этого эффекта необходимо создать электрическое поле с напряженностью 1–5 кВ/см и выше. Физическая сущность предложенного способа состоит

© Умакова П. В., Топоров А. В., 2023

в том, что любое пламя ионизировано, а значит с помощью подвержено влиянию электрического, за счет чего возможно управлять горением, в частности тушить пламя. Анализ литературных источников показал, что исследования в данном направлении проводятся, и тема остается актуальной по настоящее время.

Принципиальная схема устройства для тушения степных пожаров представлена на рис. 1

Устройство состоит из силового блока 1, в котором находятся аккумуляторные батареи и преобразователь напряжения, соединенного силовым кабелем 2 с блоком электродов 3 [3].

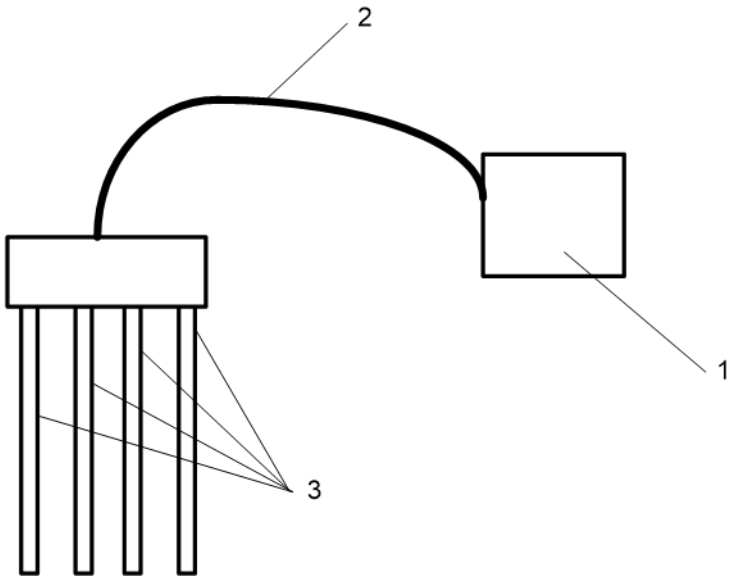


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для тушения огня методом электрического дутья

Одним из основных элементов данного устройства являются электроды, их длина и величина рабочего зазора. Изготовление экспериментальной установки для исследования данного эффекта сопряжено с рядом трудностей, поэтому на начальном этапе наиболее предпочтительным является моделирование физических полей при помощи метода конечных элементов.

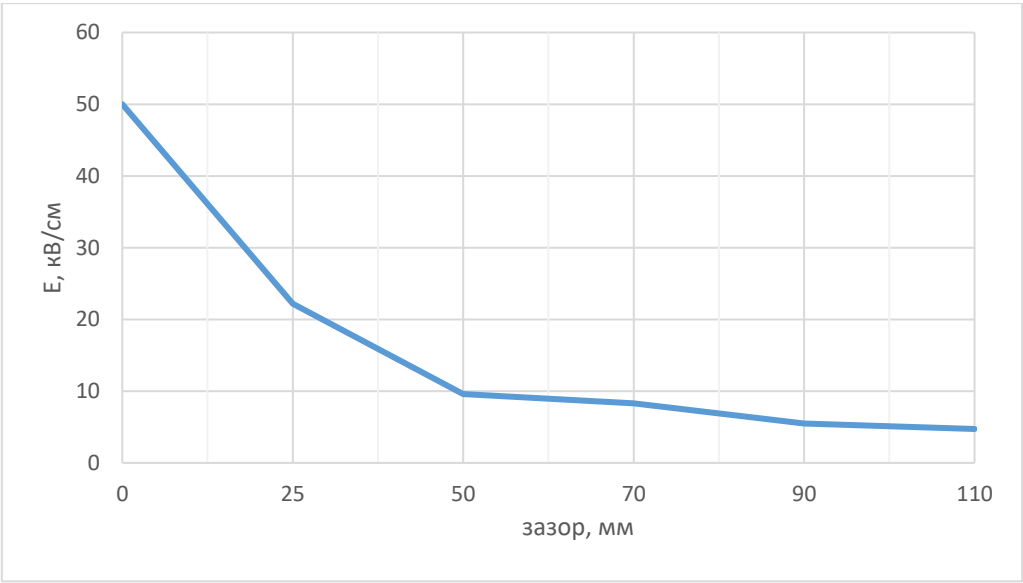


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля в средней части рабочего зазора

от величины рабочего ззора при длине электродов 200 мм и напряжении на электродах 50 кВ

Ширина рабочего зазора является одной из основных параметров рабочей части устройства. При относительно малых величинах рабочего зазора возможно добиться больших величин напряженности электрического поля, и как следствие, сделать установку более компактной и эффективной. С другой стороны, слишком малые величины рабочих зазоров не позволят эффективно перемещать электроды в траве, что создаст определенные сложности при эксплуатации. Чтобы определить максимально возможную величину рабочего зазора необходимо построить зависимость напряженности эклектического поля от ширины рабочего зазора.

В данной работе использовался программный продукт femm 4.2. Для расчетов была выбрана величина напряжения на электродах 50 кВ [4]. Ширина рабочего зазора на начальном этапе изменялась в пределах от 0 до 110 мм, длина электродов принималась равной 200 мм. Электроды такой величины позволит перемещать их в горящей траве.

На рис. 2 представлена зависимость напряженности электрического поля в средней части между электродами от ширины рабочего зазора.

График имеет нелинейный характер. Наибольшее снижение наблюдается до величин зазора порядка 50–70 мм. При величине рабочего зазора 110 мм величина напряженности электрического поля имеет минимальное значения 4,5 кВ/см. Для эффективного тушения пламени этого явно недостаточно [1]. Чтобы электроды устройства не застревали в траве, расстояние между ними должно находиться в пределах 40–60 мм [5]. При величине расстояния между электродами 40 мм величина напряженности электрического поля составить порядка 15 кВ/см, что достаточно для эффективного осуществления электрического дутья и тушения пламени.

Таким образом установлено, что при напряжении на электродах 50 кВ расстояние между электродами возможно выбрать равным 40 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пермяков Арсений Владимирович Разработка электрического способа тушения пожара на газопроводах низкого давления Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Уфа – 2019.

2. Пермяков А.В., Султанов Р.М., Хафизов Ф.Ш., Хафизов И.Ф., Сакеян Л.А. Электрический пробой диэлектрика и его влияние на тушение пламени электромагнитным полем Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2018. № 2. С. 117-128.

3. Умакова П.В., Топоров А.В. Разработка устройства для тушения степных пожаров с использованием электрического поля В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2022. С. 424-426.

4 Умакова П.В., Топоров А.В. Расчет электрических полей в устройстве для тушения степных пожаров. / В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90- й годовщине образования гражданской обороны. Иваново, 2022. С. 522-525.

5. ГОСТ 19597-94. Грабли садово-огородные. Технические условия Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 6-94 от 21 октября 1994 г.)

УДК 658.52.011.56

К. А. Чернов, А. М. Филатов, И. И. Ведерникова, С. А. Егоров
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ

Аннотация: В работе рассмотрено проектирование специального приспособления для сборки, позволяющего увеличить производительность изготовления сборочных единиц, уменьшить количество брака выпускаемой продукции, а также улучшить условия работы рабочего.

Ключевые слова: приспособление, закрепление, проектирование, сборка

K. A. Chernov, A. M. Filatov, I. I. Vedernikova, S. A. Egorov

DESIGNING A SPECIAL DEVICE FOR ASSEMBLY

Abstracts: The paper considers the design of a special device for assembly, which allows to increase the production capacity of assembly units, reduce the number of defective products, as well as improve the working conditions of the worker.

Keywords: adaptation, fixing, design, assembly.

В данной работе производились прикладные научные исследования для сравнения методов сборки моторедуктора: ручная сборка и сборка при помощи приспособления для сборки.

В ходе исследований было доказано, что использование приспособления ускоряет процесс сборки, предотвращает появление брака в процессе сборки и исключает возможность травмы рабочего при использовании приспособления.

Описываемое изделие является приспособлением для закрепления клипс в корпусе моторедуктора. Используется в пневматических прессах.

Изделие представляет с собой ложемент с плитой, установленные на столе пресса и хвостовик с пуансонами и переходной втулкой, крепящиеся к пневмоцилиндру.

Главной деталью описываемого изделия является «Ложемент». «Ложемент» спроектирован таким образом, чтобы моторедуктор можно было установить только в одном положении. После установки моторедуктора пневматический пресс опускает хвостовик и давит пуансонами на клипсы моторедуктора, защелкивая их в пазы на корпусе, тем самым закрепляя крышку моторедуктора. После закрепления клипс происходит прекращение подачи воздуха в пневмоцилиндр, возвратная пружина выталкивает поршень в изначальное положение, освобождая моторедуктор.

© Чернов К. А., Филатов А. М., Ведерникова И. И., Егоров С. А., 2023

Моторедуктор устанавливается на изделие свободно с зазором в круглом пазе на детали «Ложемент», закрепление не требуется. 3D модель приспособления с моторедуктором изображена на рис. 1.

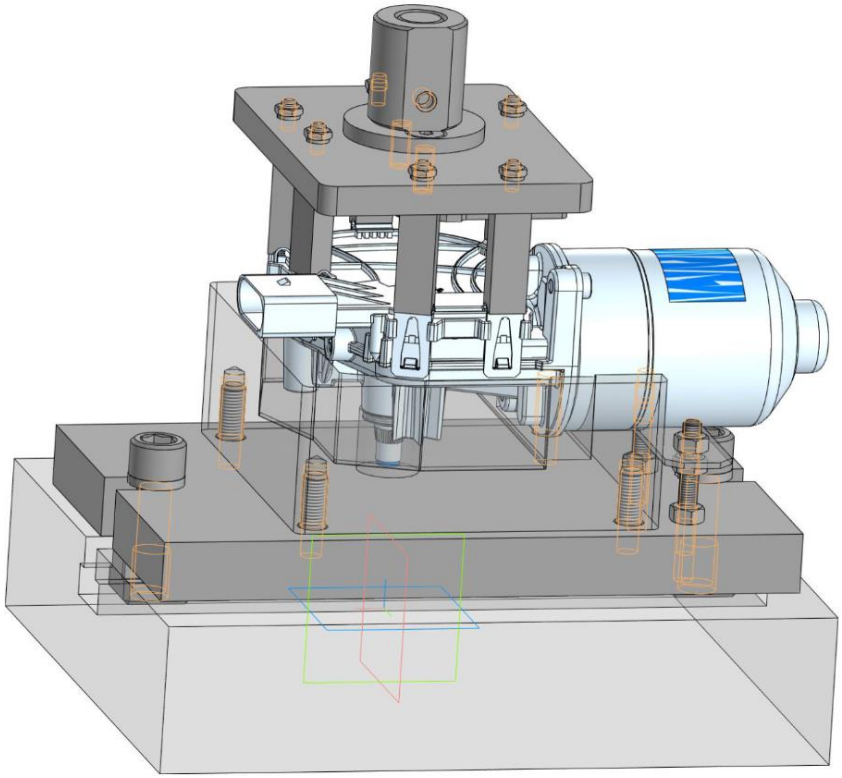


Рис. 1. Приспособление для закрепления клипс в корпусе моторедуктора

Сборочная единица «Хвостовик» является самой нагруженной частью конструкции. «Хвостовик» состоит из детали «Основание», «Хвостовик», «Пуансон». В процессе работы при закреплении клипс деталь «Пуансон» давит на деталь «Основание», место соприкосновения деталей является самой нагруженной частью конструкции и используется для проведения расчетов на прочность.

Расчеты на прочность производятся при помощи САПР Компас-3D. Закрепление детали «Основание» происходит за верхнюю часть детали, нагрузки прилагаются к нижней части детали (рис. 2).

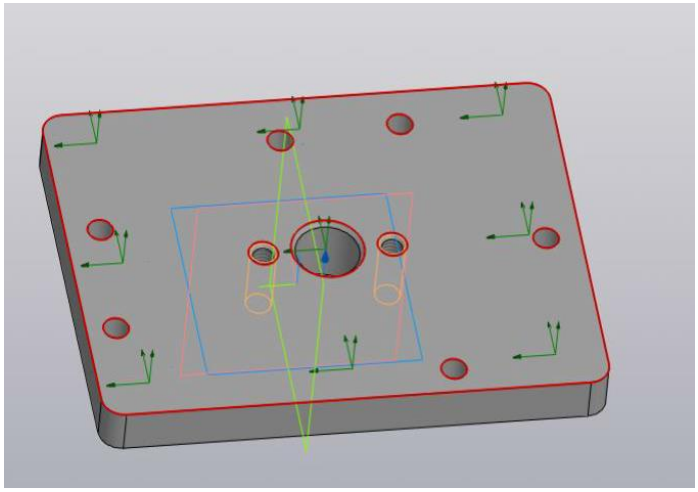


Рис. 2. Приложение нагрузки и закрепление детали «Основание»

После распределения приложений нагрузки и закрепления детали «Основание» необходимо сгенерировать сетку измерений (рис. 3).

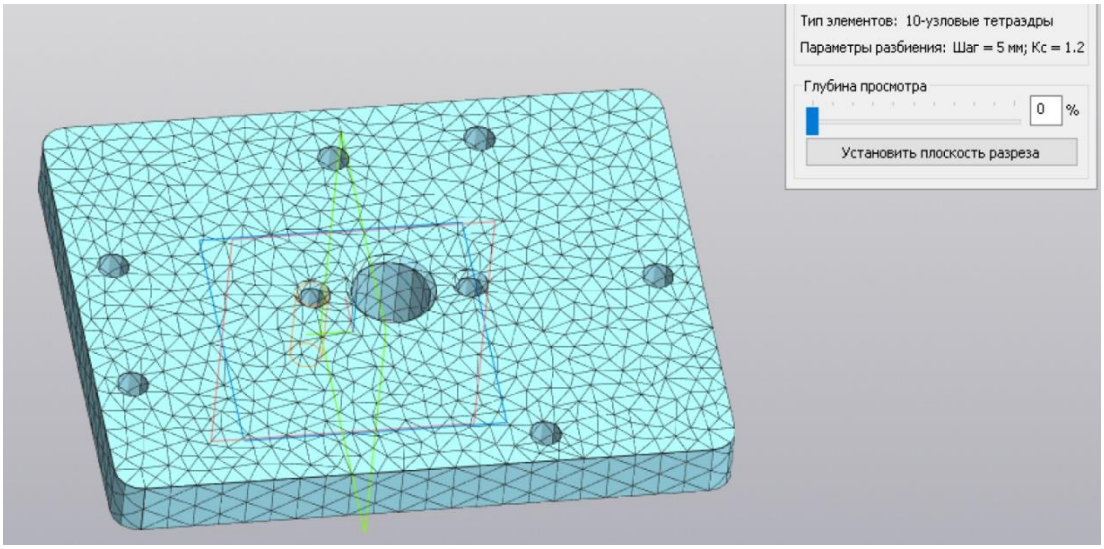


Рис.3. Генерация сетки измерений

После генерирования сетки измерений производятся расчеты нагрузок и усталости детали «Основание» (рис. 4, рис. 5).

Исходя из результатов расчета, можно утверждать, что отвечает приведенным техническим требованиям.

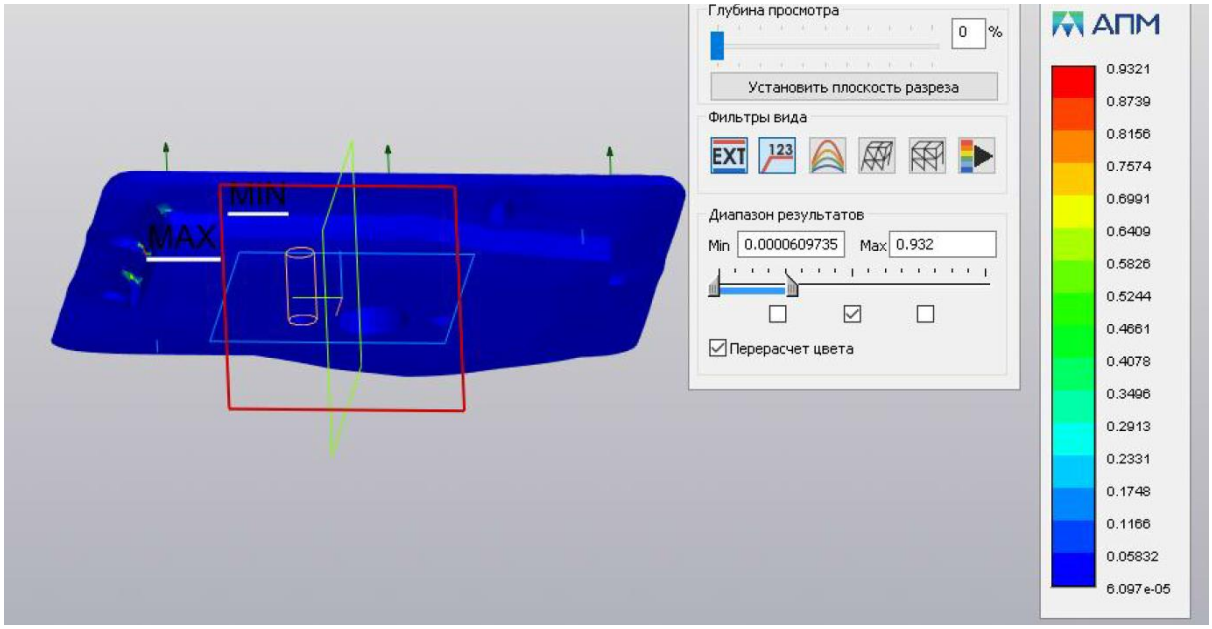


Рис. 4. Расчет нагрузок детали «Основание»

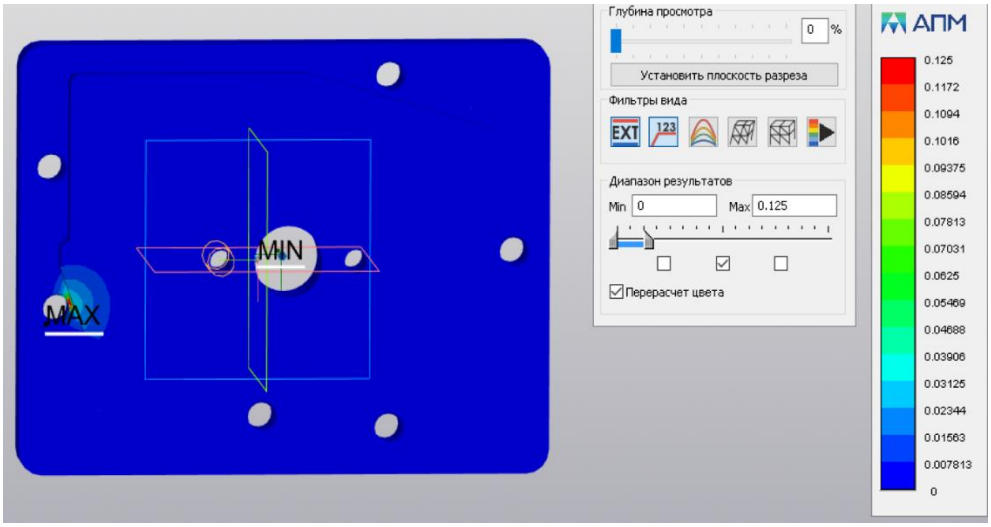


Рис. 5. Расчет усталости детали «Основание»

В ходе анализа данных, полученных при разработанной оснастке и сравнения их с ручным вариантом, применяемым в производстве ранее, выявлены следующие показатели:

1. Приспособление работоспособно, уменьшено количество бракованных изделий.
2. Скорость сборки моторедуктора значительно увеличилась
3. Стойкость приспособления соответствует заявленной
4. Безопасность рабочих повысилась

Безопасность рабочих при работе на спроектированном приспособлении повысилась благодаря конструкции пресса, в котором предусмотрено только двурукое включение. Такой принцип работы исключает возможность травмы рабочего при

сборке моторедуктора, в отличии от ручной сборки, при которой запрессовка клипс осуществляется при помощи ручного пуансона и молотка.

УДК 621.866.1

М. А. Шмырова, А. А. Покровский
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: приводится обзор существующих простейших грузоподъемных устройств – домкратов, предназначенных для выполнения ремонта ходовой части пожарных автомобилей. Показаны сравнительный анализ конструктивных особенностей основных типов домкратов, достоинства и недостатки, определяющие область их применения. Представлена разработанная трехмерная модель винтового домкрата.

Ключевые слова: домкрат, ходовая часть, пожарный автомобиль, грузоподъемность.

M. A. Shmyrova, A. A. Pokrovsky

ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF LIFTING DEVICES FOR REPAIR CHASSIS OF FIRE CARS

Abstracts: An overview of the existing simplest lifting devices - jacks, designed to repair the running gear of fire trucks is given. A comparative analysis of the design features of the main types of jacks, advantages and disadvantages that determine the scope of their application are shown. The developed three-dimensional model of a screw jack is presented.

Keywords: jack, chassis, fire truck, carrying capacity.

Ходовая часть современного пожарного автомобиля – это совокупность узлов, которые отвечают за его безопасную эксплуатацию как при движении по дорогам с качественным покрытием, так и в условиях бездорожья. В этой связи элементы ходовой части пожарного автомобиля зачастую испытывают наиболее существенные нагрузки и требуют своевременного качественного технического обслуживания и ремонта. К ходовой части автомобиля относятся: рама, передняя ось, задняя ось, подвески, амортизаторы, колеса и шины.

В процессе эксплуатации пожарных автомобилей надежность элементов ходовой части, которая была заложена в них при конструировании и производстве, снижается вследствие изнашивания деталей, коррозии, усталости и старения материала и других вредных процессов. Поэтому возникает объективная потребность в техническом обслуживании и ремонте автомобиля.

Своевременный и качественный ремонт техники и оборудования в установленном объеме является важным условием поддержания технической готовности территориальных органов к выполнению задач по предназначению. Ремонт, связанный с разборкой или заменой основных агрегатов, как правило, должен выполняться по ре-

© Шмырова М. А., Покровский А. А., 2023

зультатам предварительного диагностирования. Основным методом ремонта техники является агрегатный метод, при котором неисправные агрегаты, узлы и детали на ремонтируемом образце заменяются новыми или заранее отремонтированными.

Неисправность узлов ходовой части частично выявляют при проведении технических обслуживаний. Проверяют состояния и крепления передних и задних подвесок и амортизаторов, измеряют люфты в подшипниках ступиц колёс и шкворней поворотных цапф, проводят оценку состояния рамы и балки передней оси. Также в соответствии с картой смазки смазывают шарнирные опоры и подшипники шкворней поворотных цапф.

Для выявления неисправностей и проведения ремонтных операций ходовой части автомобиля необходимо наличие специального грузоподъемного оборудования. При выполнении ремонтов ходовой части пожарных автомобилей возникает необходимость подъема и фиксации груза с использованием простейших грузоподъемных устройств, к которым относятся домкраты. Данные устройства применяют в качестве ремонтных приспособлений для поднятия грузов на высоту до одного метра. Домкраты бывают малой, средней и большой грузоподъемности и классифицируются по способу передачи движения к исполнительному органу на механические, гидравлические и пневматические.

В настоящее время по принципу действия и конструктивным особенностям основное наибольшее распространение получили винтовые, реечные и гидравлические домкраты.

В винтовых домкратах (рис. 1) подъём груза происходит благодаря преобразованию вращательного перемещения штока винта в поступательное передвижение подъёмной площадки.

Передаточное отношение передачи винт-гайка может достигать 80, а грузоподъемность – 30 кН. Винтовые домкраты имеют малые вес и начальную высоту подъема, большой рабочий ход. К недостаткам относятся плохая устойчивость, недостаточная жесткость конструкции, повышенное усилие на рукоятке в начале подъема и низкий коэффициент полезного действия порядка 30–40 %.

Реечный домкрат, представленный на рис (рис. 2) выполнен из основной вертикальной рамки с зубцами зацепления, по которым передвигается подъёмная рейка при помощи зубчатой или рычажной передачи. Реечные домкраты используются не только для ремонта автомобилей, но и для подъёма различных грузов, поэтому они бывают различной грузоподъёмности и размеров.

Главными преимуществами этих домкратов являются высокий коэффициент полезного действия 0,85, возможность поднятия грузов на высоту до одного метра и низко расположенных грузов. Недостатками реечных домкратов являются: большие габариты и масса; необходимость использования специальных выемок в днище автомобиля для установки лапки подъёмной рейки или наконечника подхвата; малая площадь опоры, что создаёт некоторую неустойчивость поднятого автомобиля и требует использования дополнительных приспособлений, для фиксации её положения.

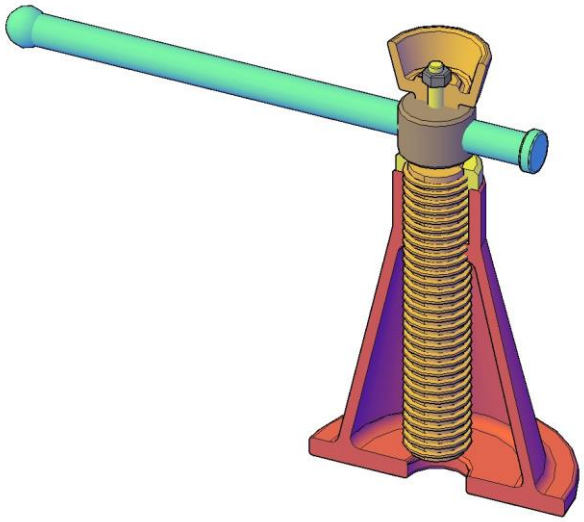


Рис. 1. Винтовой домкрат

Рис. 2. Реечный домкрат

Гидравлический домкрат (рис. 3) представляет собой рабочий цилиндр с поршнем для подъема груза.

Рис. 3. Гидравлический домкрат:
1 – вал-червяк,
2 – вал червячного колеса,
3 – выходной вал привода

Преимуществами данных домкратов являются плавность движения, широкий диапазон грузоподъемности, высокий коэффициент полезного действия до 80 %, компактность и удобство использования, хорошая устойчивость автомобиля в поднятом состоянии, быстрый и лёгкий подъём. К недостаткам относятся ограниченное время службы, дорогостоящий ремонт изделия, потребность в частом обслуживании, низкая

высота подъёма. На эксплуатацию гидравлических домкратов накладываются температурные условия окружающей среды.

Таким образом при выборе домкрата для ремонта ходовой части пожарных автомобилей основными критериями можно считать грузоподъёмность, тип привода и высоту подъема [3].

Грузоподъемность - это главный показатель, который обозначает назначение домкрата. Выбирая подъёмное устройство для пожарных автомобилей, необходимо учитывать собственный вес транспортного средства, массу загруженного оборудования и огнетушащих веществ, так как возможна ситуация, когда проведение работ необходимо выполнить на снаряженном автомобиле.

По типу привода наиболее хорошо зарекомендовали себя гидравлические домкраты, как вертикальные, так и подкатного типа. Но следует отметить, что они мало применимы в условиях низких температур и имеют ограничения по высоте подъема.

Высота подъёма – это ещё один немаловажный показатель. Устройство обязано поднимать автомобиль на такую высоту, чтобы было возможно беспрепятственно производить необходимые работы по ремонту. Для этого лучше всего также выбирать оборудование с определённым запасом по высоте, чтобы учесть удобство проведения работ и свободный ход системы амортизации. Поэтому для выполнения работ, связанных с подъемом автомобиля на высоту более 600 мм рекомендуется использовать домкраты реечного типа.

В нашем случае на основе принципиальной схемы и проведенных расчетов была разработана трехмерная модель винтового домкрата (рис. 4).

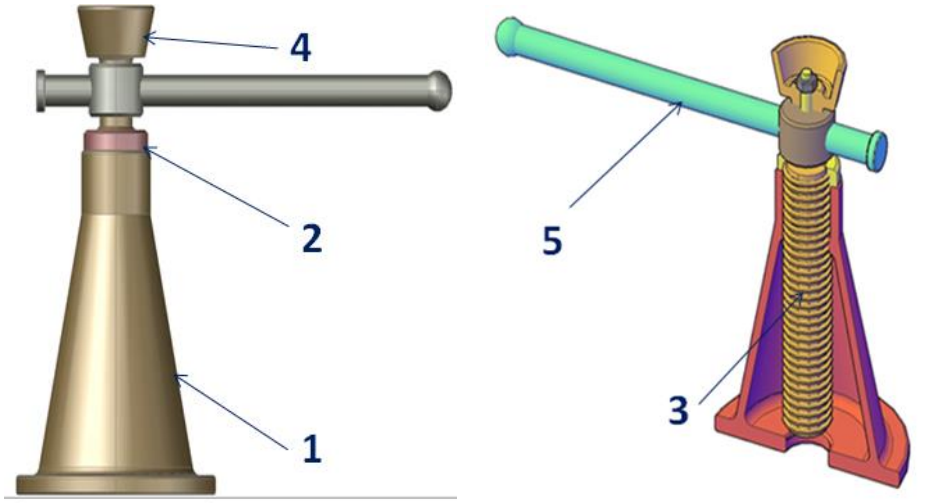


Рис. 4. Трехмерная модель винтового домкрата:
1 – корпус, 2 – гайка,
3 – винт, 4 – пята,
5 – рукоятка

Домкрат состоит из корпуса 1, гайки 2, винта 3, пяты 4 и рукоятки 5. Подъем и опускание груза осуществляется механизмом телескопического типа при помощи двух грузовых винтов – наружного и внутреннего. Поступательное перемещение наружного и внутреннего винтов достигается вращением наружного винта вручную. В чугунной литой опоре (корпусе) домкрата запрессована бронзовая втулка с ленточной резьбой, в которой перемещается полый стальной винт. Внутрь полого винта

входит на ленточной резьбе винт опорной пяты для груза. Поворачивая винт рукояткой, можно изменить действующую высоту домкрата.

При повороте рукоятки винт вращается вокруг вертикальной оси, вывинчивается при подъеме и завинчивается при его опускании. Винт снабжен свободно сидящим на нем оголовком, который остается неподвижным при вращении винта. Угол подъема винтовой линии ленточной резьбы винта делается меньше, чем угол трения, благодаря чему обеспечивается самоторможение домкрата без дополнительных устройств.

В качестве разрабатываемого устройства, предназначенного для ремонта ходовой части пожарных автомобилей нами выбран винтовой домкрат, потому что в условиях проведения ремонта в пожарно-спасательных подразделениях он в наибольшей степени отвечает всему комплексу технических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский А.А., Зарубин В.П., Пучков П.В. Разработка конструкции устройства для проведения технического обслуживания шасси пожарных автомобилей среднего класса // Современные проблемы гражданской защиты. - 2021. - № 4 (41). - с. 103-110.

2. Покровский А.А., Зарубин В.П., Пучков П.В. Прочностной расчет устройства для проведения технического обслуживания и ремонта шасси пожарных автомобилей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. - № 4. – с. 188-192.

УДК 621.86

Н. А. Шмырова, А. А. Покровский
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

КОМПОНОВКА И РАСЧЕТ ПРИВОДА ПОДЪЕМА ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ В БАШЕННУЮ СУШИЛКУ

Аннотация: Предложена компоновка привода для подъема пожарных рукавов в башенную сушилку. Представлена кинематическая схема привода, которая включает в себя червячную и цепную передачи. На основе проведенных расчетов по определению кинематических характеристик привода дается обоснование выбора электродвигателя с определенной частотной характеристикой. Показана применимость проведенных расчетов для альтернативной кинематической схемы, где в качестве открытой используется ременная передача.

Ключевые слова: башенная сушилка, пожарный рукав, электрический двигатель, привод, цепная передача, червячная передача.

N. A. Shmyrova, A. A. Pokrovsky

LAYOUT AND CALCULATION OF THE DRIVE FOR LIFTING FIRE HOSES IN THE TOWER DRYER

Abstracts: The layout of the drive for lifting fire hoses into the tower dryer is proposed. A kinematic diagram of the drive is presented, which includes a worm and chain gear. On the basis of

© Шмырова Н. А., Покровский А. А., 2023

the calculations carried out to determine the kinematic characteristics of the drive, a rationale is given for choosing an electric motor with a certain frequency response. The applicability of the performed calculations for an alternative kinematic scheme, where a belt drive is used as an open one, is shown.

Keywords: tower dryer, fire hose, electric motor, drive, chain drive, worm gear.

Напорные пожарные рукава предназначены для транспортирования огнетушащих веществ под избыточным давлением и могут быть использованы для комплектации пожарных кранов, переносных мотопомп и передвижной пожарной техники.

Эксплуатация рукавного хозяйства в целом, и пожарных рукавов в частности, включает в себя несколько действий: постановку на вооружение в пожарно-спасательных частях, применение в работе при тушении пожаров, техническое обслуживание, ремонт и хранение.

Из особенностей технического обслуживания пожарных рукавов можно выделить: отмачивание, мойку, внешний осмотр, испытания, сушку, скатку и перекатку, ремонт, хранение.

Одним из видов технического обслуживания рукавов является сушка, которую можно проводить в башенных, камерных и других сушилках. Башенная сушилка (рис. 1) представляет собой вертикальный канал с квадратным сечением площадью около 10 м^2 и высотой до 20 м. Вместимость сушильной башни составляет от 20 до 45 рукавов. Сушка может проводиться как естественным, так и принудительным способом. Принудительный способ сушки осуществляется путем подачи нагретого воздуха, подача которого может производится при помощи калорифера или других нагревательных приборов.

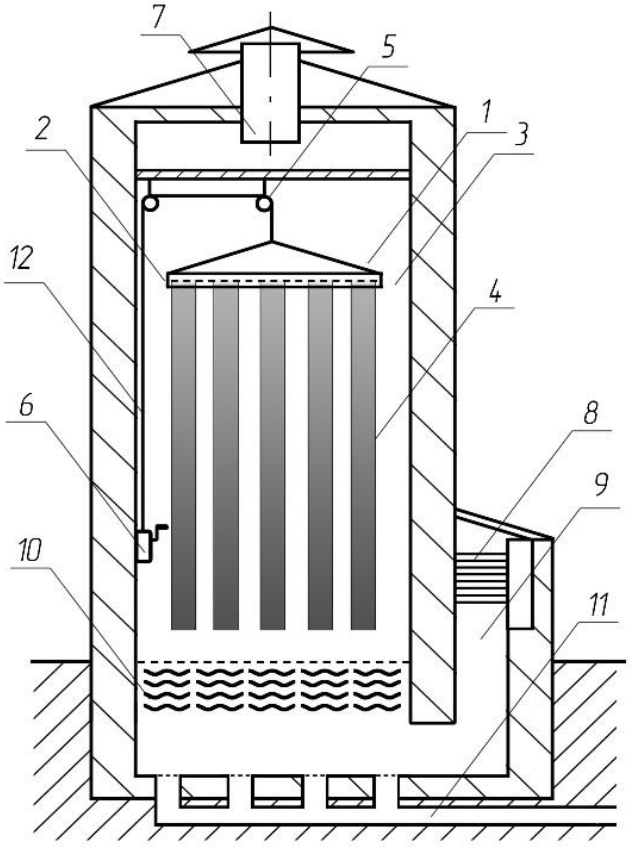


Рис. 1. Схема башенной сушилки:
1 - стропы подъемной платформы;
2 - стальной стержень;
3 - сушильная камера;
4 - пожарный напорный рукав;
5 - ролик; 6 - ручная лебедка,
7 - короб для отвода воздуха;
8 - жалюзи; 9 - короб для подвода воздуха; 10 - калорифер;
11 - водосток, 12- трос

В настоящее время сушка пожарных рукавов производится в башенных сушилках, в которых подъем пожарных рукавов осуществляется ручным или механизированным способом. Ручной подъем подвесной системы с закрепленными на ней рукавами в сушильную камеру требует значительных затрат времени и сил. При подъеме пожарных рукавов механизированным способом применяются электромеханические приводы различного конструктивного исполнения. В состав привода входит источник энергии – электрический двигатель и передаточные механизмы.

В нашем случае башенная сушилка не оснащена автоматизированным подъемом рукавов, поэтому целью нашей работы является проектирование механического привода, в состав которого будет входить электродвигатель, одна закрытая (зубчатая или червячная передача) и одна открытая (клиноременная или цепная передача). По результатам проектирования необходимо составить кинематическую схему привода с расчетом его кинематических характеристик.

Башенная сушилка, подлежащая модернизации, обслуживает двадцать пожарных рукавов единовременно. Масса одного сухого рукава составляет десять килограмм. Рукава загружаются в сушилку сырыми, поэтому необходимо увеличить их массу в среднем на 15 %. Масса подвесной системы составляет двадцать килограмм. Подвесная система с рукавами поднимается на высоту 20 *м* со скоростью $V = 0,5 м/с$.

В качестве исходных данных необходимо иметь мощность на выходном валу и частоту вращения выходного вала привода. Для того, чтобы получить исходные данные необходимо провести дополнительные расчеты.

Начальная масса сухих пожарных рукавов:

$$m_1 = 20 \cdot 10 = 200 кг$$

Масса пожарных рукавов с учетом влаги:

$$m_2 = 1,15 \cdot m = 1,15 \cdot 200 = 230 кг$$

Общая масса влажных рукавов и подвесной системы:

$$M = m_2 + 20 = 230 + 20 = 250 кг$$

Необходимое тяговое усилие:

$$F = M \cdot g = 250 \cdot 9,81 = 2452,5 H$$

Требуемая мощность на выходном валу:

$$P_3 = F \cdot V = 2452,5 \cdot 0,5 = 1226,3 Вт \approx 1,2 кВт$$

Угловая скорость выходного вала привода находится из условия, что диаметр барабана равен 800 мм:

$$\omega_3 = V / R = 0,5 / 0,4 = 1,25 с^{-1}$$

Частота вращения выходного вала привода:

$$n_3 = 30\omega_3 / \pi = 30 \cdot 1,25 / 3,14 = 12 об / мин$$

Для подъема пожарных рукавов в башенную сушилку можно предложить структурные схемы приводов, показанные на рис. 2.

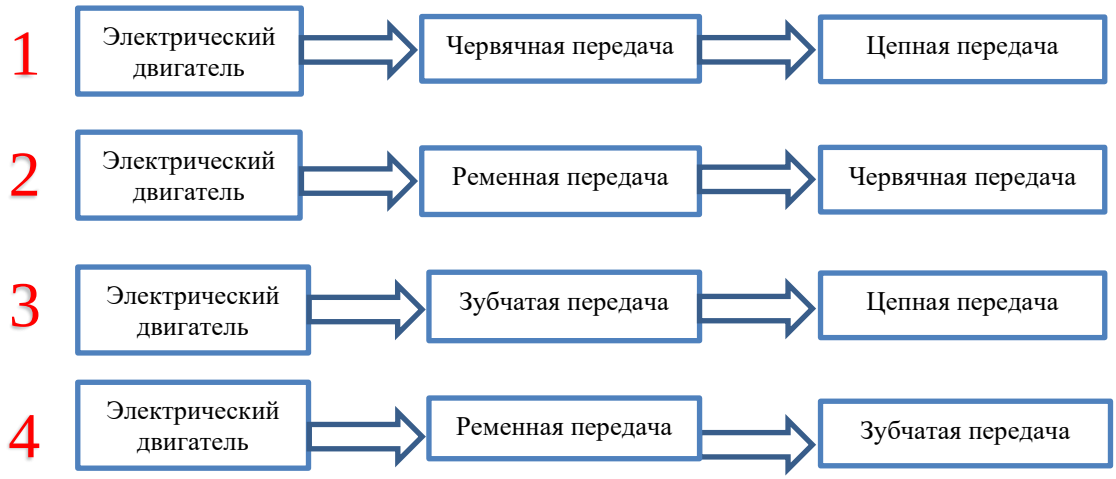


Рис. 2. Структурные схемы приводов

Структурные схемы №№ 3, 4 не удовлетворяют условиям нашей задачи по двум причинам. Во-первых, при асинхронном электродвигателе с частотой вращения 750 *об/мин* общее передаточное число привода составит более шестидесяти. Данное передаточное число нельзя разбить по ступеням в приводах, в которых присутствует зубчатая передача, так как передаточное число зубчатой передачи не превышает 10. При использовании более скоростных двигателей общее передаточное число составит еще большее значение. Во-вторых, зубчатая передача в отличие от червячной не обладает эффектом самоторможения, поэтому при проектировании приводов по схемам №№ 3, 4 необходимо дополнительно предусмотреть тормозные устройства.

Представим один из возможных вариантов проектирования привода по схеме № 1. Кинематическая схема данного привода представлена на рис. 3.

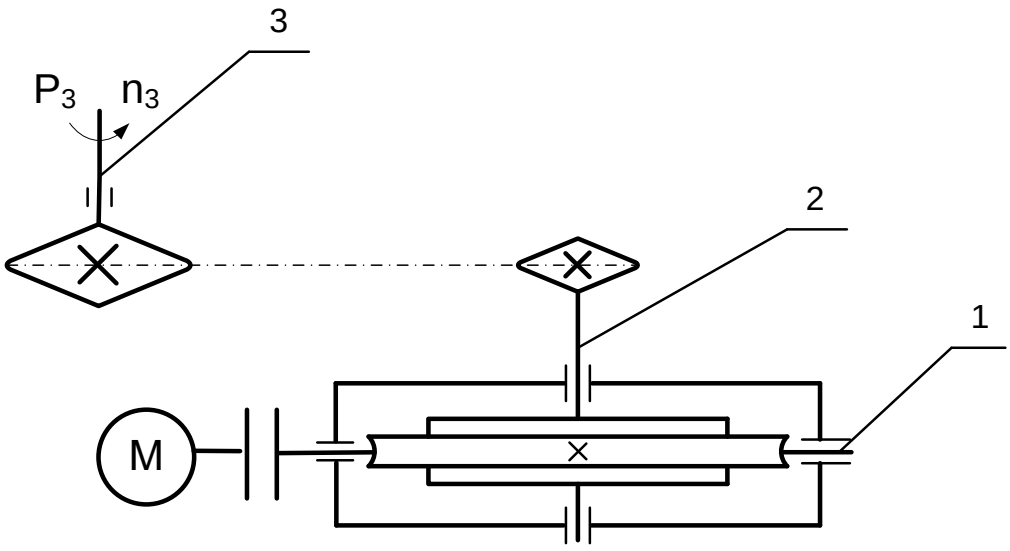


Рис. 3. Привод подъема пожарных рукавов в башенную сушилку:
1 – вал-червяк, 2 – вал червячного колеса, 3 – выходной вал привода

Привод состоит из электродвигателя, закрытой червячной передачи и открытой цепной передачи. Основными достоинствами червячной передачи являются: возможность получения большого передаточного числа в одной паре зацепления и эффект самоторможения. Цепная передача в отличие от ременной, представленной в структурной схеме № 2, имеет меньшие габариты, обладает постоянством передаточного числа, оказывает малые силы на валы и позволяет обеспечить легкую замену цепи.

1. Общий КПД привода:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{2-3} \cdot \eta_{подш}^{2} \cdot \eta_{м}$$

η_{1-2} - КПД червячной передачи (0,85);

η_{2-3} - КПД цепной передачи (0,92);

$\eta_{подш}$ - КПД пары подшипников качения (0,99);

$\eta_{м}$ - КПД муфты (0,99).

$$\eta_{\Sigma} = 0,85 \cdot 0,92 \cdot 0,99^{2} \cdot 0,99 = 0,76$$

1.2. Требуемая мощность электродвигателя:

$$P_1 = \frac{P_3}{\eta_{\Sigma}} = \frac{1,2}{0,76} = 1,6 \quad кВт$$

1.3. Выбор электродвигателя:

Электродвигатель АИР 80 В4; $P_1 = 1,5 \quad кВт;\ n_1 = 1410 \quad об/мин.$

1.4. Общее передаточное число привода:

$$U_{1-3} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{1410}{12} = 117,5$$

1.5. Разбивка общего передаточного числа привода:

Примем передаточное число закрытой червячной передачи $U_{1-2} = 63,$ тогда

$$U_{2-3} = \frac{117,5}{63} = 1,9$$

1.6. Кинематические характеристики валов привода.

Вал № 1.

Угловая скорость:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 1410}{30} = 147{,}6 \;\; c^{-1}$$

Крутящий момент:

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot 10^3}{\omega_1} = \frac{1{,}5 \cdot 10^3}{147{,}6} = 10{,}2 \;\; Н \cdot м$$

Вал № 2.
Частота вращения:

$$n_2 = \frac{n_1}{U_{1-2}} = \frac{1410}{63} = 22{,}4 \;\; об/мин$$

Угловая скорость:

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 22{,}4}{30} = 2{,}3 \;\; c^{-1}$$

Мощность на валу:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{1-2} \cdot \eta_{подш} \cdot \eta_м = 1{,}5 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}99 = 1{,}2 \;\; кВт$$

Крутящий момент:

$$T_2 = U_{1-2} \cdot T_1 \cdot \eta_{1-2} \cdot \eta_{подш} \cdot \eta_м = 63 \cdot 10{,}2 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}99 = 535{,}3 \;\; Н \cdot м$$

Вал № 3.
Частота вращения вала:

$$n_3 = \frac{n_2}{U_{2-3}} = \frac{22{,}4}{1{,}9} = 11{,}8 \;\; об/мин$$

Угловая скорость:

$$\omega_3 = \frac{\pi \cdot n_3}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 11{,}8}{30} = 1{,}2 \;\; c^{-1}$$

Мощность на валу:

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{2-3} \cdot \eta_{подш} = 1{,}2 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}99 = 1{,}1 \;\; кВт$$

Крутящий момент:

$$T_3 = U_{2-3} \cdot T_2 \cdot \eta_{2-3} \cdot \eta_{подш} = 1,9 \cdot 535,3 \cdot 0,92 \cdot 0,99 = 926,3 \ \ Н \cdot м$$

В проектном решении одним из основных параметров привода подъема пожарных рукавов в башенную сушилку является крутящий момент на выходном валу, который составляет порядка 930 *Н·м*. Проектирование привода подъема пожарных рукавов в башенную сушилку не имеет однозначного решения. В нашем случае мы исходили из того, что в качестве источника энергии был предложен асинхронный двигатель АИР 80 В4 с частотой вращения вала 1500 *об/мин*, имеющий коэффициент полезного действия 78,5 % и массу 13,8 *кг*. Установка двигателя с частотой вращения 3000 *об/мин* при такой же мощности позволит получить коэффициент полезного действия источника энергии 83 % и массу 12,4 *кг*. Но установка более высокоскоростного двигателя повлечет за собой использование в приводе закрытой червячной передачи с максимальным передаточным числом 80 при условии сохранения передаточного числа открытой цепной передачи на уровне двух. Использование более низкоскоростных двигателей, наоборот, приведет к значительному увеличению их массы и снижению коэффициента полезного действия, но одновременно позволит применять в приводе более компактную закрытую червячную передачу.

Представленные расчеты и компоновка привода подъема пожарных рукавов в башенную сушилку были основаны на всех перечисленных выше факторах. По данным расчетам можно предложить компоновку привода с ременной и червячной передачей, в которой будет использоваться аналогичный двигатель. Реализация данной компоновки позволит получить незначительно больший крутящий момент на выходном валу привода — 950 *Н·м*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов Н.А., Покровский А.А. Основные способы сушки напорных пожарных рукавов // Сборник IX Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов», Иваново, 2018. - с. 574-577.

2. Покровский А.А., Киселев В.В., Колобов М.Ю. Разработка мобильного комплекса для сушки напорных пожарных рукавов // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. - 2021. - № 3 (67). - с. 77-83.

ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

УДК 621.1

Х. Я. Аманов, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация: Целью данной статьи является рассмотрение применения инновационных технологий СОЖ при производстве, а также оценка их преимуществ и недостатков с экономических и экологических точек зрения. Кроме того, в статье будут представлены примеры применения новых технологий СОЖ в различных отраслях производства.

Ключевые слова: СОТС (Смазочно-охлаждающее технологическое средство), СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость), инновационные технологии.

H. Y. Amanov, I. I. Vedernikova

THE USE OF INNOVATIVE LUBRICATING AND COOLING TECHNOLOGICAL MEANS IN THE PROCESSING OF PARTS

Abstracts: The purpose of this article is to consider the use of innovative coolant technologies in production, as well as to evaluate their advantages and disadvantages from an economic and environmental point of view. In addition, the article will present examples of the application of new coolant technologies in various industries.

Keywords: COTS (Lubricating and Cooling Technological Agent), SOZH (Lubricating and Cooling Liquid), innovative technologies.

Одним из ключевых элементов производственных процессов является металлообработка, которая является основой для производства различных изделий в различных отраслях промышленности. В процессе металлообработки нередко используются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), которые не только обеспечивают охлаждение и смазку механизмов, но и удаляют металлические частицы и другие загрязнения, которые образуются в процессе обработки.

Однако использование СОЖ может быть связано с некоторыми проблемами, такими как высокая стоимость и негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, в последнее время, разрабатываются инновационные технологии СОЖ, которые позволяют улучшить качество и производительность процесса металлообработки, а также сократить расходы на производство и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются важным элементом производственного процесса металлообработки. Они используются для охлаждения и смазки режущих инструментов, а также для удаления металлических частиц и других за-

© Аманов Х. Я., Ведерникова И. И., 2023

грязнений, которые образуются в процессе обработки. СОЖ могут быть использованы в различных производственных отраслях, включая автомобильную, авиационную, машиностроительную, энергетическую и другие.

Основными функциями СОЖ являются:

- охлаждение режущих инструментов и деталей;
- снижение трения между режущим инструментом и деталью, что повышает производительность и уменьшает износ;
- удаление металлических частиц и других загрязнений из зоны обработки.

Однако, использование СОЖ может быть связано с некоторыми проблемами, такими как:

- высокие затраты на приобретение и эксплуатацию СОЖ;
- негативное воздействие на окружающую среду из-за выделения вредных веществ в процессе эксплуатации и утилизации СОЖ;
- возможность развития бактерий и других микроорганизмов в СОЖ, что может привести к загрязнению и ухудшению качества продукции.

В связи с этим, в последнее время, разрабатываются инновационные технологии СОЖ, которые позволяют улучшить качество и производительность процесса металлообработки, а также сократить расходы на производство и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Существует несколько инновационных технологий СОЖ, которые позволяют решить проблемы, связанные с использованием традиционных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Нано-СОЖ представляют собой новую технологию, основанную на использовании наночастиц в составе смазочно-охлаждающей жидкости. Эта технология позволяет улучшить охлаждающие свойства жидкости и уменьшить ее вязкость, что улучшает производительность процесса металлообработки.

Наночастицы, используемые в нано-СОЖ, могут быть различного типа, например, металлические, оксидные, углеродные и т.д. Они добавляются в СОЖ в небольших количествах (обычно менее 1 % по объему) и улучшают ее свойства.

Нано-СОЖ применяется в обработке тяжелых металлов, таких как сталь, а также в производстве медицинских изделий, автомобилей и других изделий. Применение может снизить подверженность цеха химическим веществам, поскольку наноматериал заменяет многие химические вещества, входящие в состав охлаждающей жидкости, и увеличивает общую эффективность металлообработки. Соответствующие результаты задокументированы в специальных отчетах исследователей, подготовленных для государственных и коммерческих организаций, и доступны для ознакомления. Жидкость для металлообработки отличается от обычной смазочно-охлаждающей жидкости, потому что это наножидкость военного класса, взвешенная в смазочно-охлаждающей жидкости специального состава. Эта смазочно-охлаждающая жидкость предназначалась только для использования в качестве носителя для наноматериала.

В жидкости для металлообработки наночастицы заменяют химические компоненты обычных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Эти наночастицы безвредны для человека и не создают каких-либо проблемных побочных эффектов, которые возникают, когда операции механической обработки осуществляются с использованием большого количества химикатов.

В новом составе некоторые из этих безопасных наночастиц используются для отвода тепла от зоны обработки, от точки резания в резервуар охлаждающей жидкости. Обычно охлаждающая жидкость просто отводит тепло в окружающее пространство без адресной передачи. Тогда контроль теплоотвода представляет серьезное отличие от такового в процессах резания, в которых применяется.

Что касается стойкости инструмента, то мастерские, работающие с нано СОЖ, документально подтвердили значительное повышение стойкости инструмента – от 100 до 400 %, в зависимости от используемых материала и оборудования.

Также можно ожидать увеличения скорости обработки и подачи в среднем от 10 до 20 %. Это означает, что работы могут выполняться быстрее, когда цех использует нано СОЖ. Кроме того, операторы неизменно обнаруживают, что при использовании нано СОЖ не появляется никакого вредного запаха.

Следующим примечательным преимуществом является то, что нано СОЖ практически не образует пены, потому что в растворе нет химикатов, которые бы вспенивали его. Наконец, в цехах, которые применяют жидкость для металлообработки нано СОЖ, заметно уменьшается объем производимой стружки, а также меняется цвет этой стружки. Стружка, образующаяся при обработке с помощью нано СОЖ, не пригорает.

Использование нано-СОЖ может увеличить производительность процесса металлообработки за счет улучшения охлаждающих свойств жидкости и уменьшения ее вязкости. Это может привести к сокращению времени обработки и улучшению качества продукции.

Эмульсионные СОЖ являются новой технологией, которая позволяет сократить затраты на производство и утилизацию СОЖ, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Основным принципом эмульсионных СОЖ является создание эмульсии, состоящей из воды и масла или жидкого парафина. Вода является основным охлаждающим средством, а масло или парафин улучшают смазочные свойства жидкости. Эмульсия может быть стабилизирована с помощью специальных добавок, которые предотвращают ее разделение на водную и масляную фазы.

СОЖ на основе растительных масел являются экологически более безопасными, чем традиционные нефтяные СОЖ, и не содержат вредных веществ, которые могут негативно воздействовать на здоровье работников и окружающую среду. Одним из примеров таких СОЖ является био-масло, которое производится из растительных. Они применяются в обработке металлов, автомобильной и других промышленностях.

Экологически безопасные СОЖ являются более безопасными для окружающей среды, поскольку они содержат меньше опасных веществ. Эти СОЖ могут использоваться в различных областях, включая металлообработку, авиационную и автомобильную промышленность.

Нефтяные СОЖ содержат минеральные масла, которые улучшают свойства СОЖ, такие как вязкость и стабильность. Эти СОЖ используются в производстве металлов, автомобилей и других изделий.

Многоцелевые СОЖ содержат комплексные добавки, которые позволяют использовать их в различных областях, например, металлообработке, автомобильной и других промышленностях.

Применение инновационных СОЖ при производстве имеет ряд преимуществ, которые мы рассмотрим ниже.

Использование инновационных СОЖ, таких как эмульсионные СОЖ или СОЖ на основе растительных масел, позволяет сократить негативное воздействие на окружающую среду. Эти жидкости более безопасны для здоровья людей и экологически чисты.

Применение инновационных СОЖ может снизить затраты на производство и утилизацию жидкостей. Например, использование эмульсионных СОЖ позволяет сократить расход воды и снизить количество отходов, что в свою очередь приводит к сокращению затрат на утилизацию.

Традиционные СОЖ содержат вредные вещества, которые могут негативно воздействовать на здоровье работников, что в свою очередь может приводить к увеличению затрат на здравоохранение. Использование более безопасных и экологически чистых инновационных СОЖ позволяет снизить риск возникновения заболеваний у работников и снизить затраты на медицинское обслуживание.

Использование инновационных СОЖ может улучшить условия работы на производстве. Например, применение нано-СОЖ и эмульсионных СОЖ может сократить количество пыли, которая образуется во время металлообработки, что улучшит качество воздуха на производстве и создаст более комфортные условия работы для работников.

Одним из главных преимуществ применения инновационных СОЖ является экономическая выгода. В частности, использование инновационных СОЖ позволяет увеличить производительность и качество продукции, что способствует увеличению прибыли предприятия. Кроме того, применение инновационных СОЖ может снизить затраты на производство за счет сокращения расходов на материалы и энергию.

Еще одним важным аспектом является экологическая сторона вопроса. Применение инновационных СОЖ позволяет снизить негативное влияние производства на окружающую среду. Это связано с тем, что использование таких СОЖ позволяет сократить выбросы вредных веществ и обеспечить более эффективное использование ресурсов. Также, применение инновационных СОЖ может снизить количество отходов и уменьшить их влияние на окружающую среду.

Таким образом, применение инновационных СОЖ имеет как экономические, так и экологические выгоды. Однако при этом стоит учитывать также возможные риски и проблемы, связанные с их использованием. В целом использование инновационных СОЖ должно рассматриваться как один из инструментов для достижения устойчивого развития производства и экономики в общем.

Инновационные СОЖ могут быть использованы в различных отраслях, таких как автомобильная, авиационная, машиностроительная, энергетическая и другие. Рассмотрим примеры применения инновационных СОЖ в некоторых отраслях.

Применение инновационных СОЖ имеет ряд преимуществ, которые стоит упомянуть:

- увеличение производительности и качества продукции,
- снижение затрат на производство,
- улучшение условий работы для персонала,
- снижение негативного влияния на окружающую среду,
- повышение эффективности обработки и сокращение времени производственных циклов.

Вместе с тем, применение инновационных СОЖ также может вызвать некоторые проблемы:

- высокая стоимость,
- необходимость специального оборудования для работы с ними,
- необходимость профессиональных знаний и квалификации для работы с ними,
- некоторые инновационные СОЖ могут не соответствовать стандартам и нормам безопасности,
- возможность негативного влияния на здоровье персонала.

Применение инновационных СОЖ является одним из способов повышения производительности, улучшения качества продукции и сокращения негативного влияния на окружающую среду. В то же время, следует учитывать проблемы, связанные с их использованием, и соблюдать необходимые стандарты и нормы безопасности. В целом, инновационные СОЖ могут стать важным инструментом для развития промышленности и улучшения жизни людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://suprotec.ru/suprotek-stati-sozh.
2. https://techlube.ru/production/techcool-techsynth.
3. https://cyberleninka.ru/article/n/produktovye-innovatsii-v-neftepererabatyvayusc.
4. https://mash-xxl.info/info/659377.
5. https://oilcool.ru/article/sozh_kharakteristiki_sostav_primenenie.
6. https://zolteh.ru/technology_equipment/ispolzovanie_nano_prisadok_novogo_pokoleniya_k_smazyvayushchim_materialam.

УДК 621.1

А. И. Белостокова, П. И. Синодеева, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ИНСТРУМЕНТА

Аннотация: В статье рассматриваются методы упрочнения режущей части сверла. Это необходимо для продления его срока службы, так как оно работает с высокой нагрузкой, в результате чего возникает износ рабочей части.

Ключевые слова: сверло, обработка, упрочнение.

A. I. Belostokova, P. I. Sinodeeva, I. I. Vedernikova

APPLICATION OF LUBRICANT-COOLING PRODUCTS IN THE PROCESSING OF PARTS

Abstracts: The article discusses methods of hardening the cutting part of the drill. This is necessary to extend its service life, since it works with a high load, as a result of which it experiences wear of the working part.

Keywords: drill, processing, hardening.

© Белостокова А. И., Синодеева П. И., Ведерникова И. И., 2023

Сверление является одним из самых распространенных способов получения отверстия. Режущим инструментом здесь служит сверло.

На сегодняшний день в машиностроительном производстве одной из задач является упрочнение режущей части инструмента. Это необходимо для продления срока службы сверла, так как оно работает с высокой нагрузкой, из-за чего происходит изнашивание рабочей части.

Для решения этой задачи есть эксплуатационные требования, предъявляемые к износостойким покрытиям:

- покрытие должно иметь твердость, в 1,5–2 раза превышающую твердость материала инструмента;
- низкую склонность к адгезии с обрабатываемым материалом и минимальную склонность к диффузионному растворению в обрабатываемом материале;
- быть устойчивым против коррозии и окисления;
- сохранять свои свойства при высоких температурах.

Однако отсутствуют научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных для конкретных пар трения технологических процессов из всех существующих методов упрочнения. Большинство упрочняющих методов позволяют управлять только частью параметров, требуемых для повышения износостойкости.

Нанесение износостойкого покрытия позволяет снизить силу трения стружки о кромку сверла. Следствием является снижение температуры в зоне работы режущих частей инструмента. Инструмент с покрытием обладает высокой износостойкостью за счет повышения твердости поверхностных слоев. Однако, это достигается только в том случае, если связь покрытия и материала инструмента сильная. При слабой связи возможно отслаивание покрытия, его частицы, попав в зону резания, вызовут ускоренный износ инструмента.

Следует также учитывать, что покрытия являются концентраторами напряжений и повышают вероятность поломок инструмента [1]. Покрытия следует наносить на быстрорежущие стали. Для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент применяются методы химического и физического осаждения покрытий.

В основе методов CVD лежат гетерофазные реакции в парогазовой среде, окружающей инструмент, в результате которых образуются покрытия. Свойства покрытий сильно зависят от параметров процесса газофазового осаждения. От температуры зависят структура покрытия, прочность его адгезии с твердым сплавом. Взаимная диффузия повышает прочность сцепления покрытия и твердого сплава. За счёт метода химического осаждения можно создавать по-настоящему уникальные покрытия с особыми свойствами. Технология CVD позволяет наносить покрытия в несколько слоёв. К недостаткам данного метода относится риск образования хрупких фаз вследствие значительного нагрева инструмента во время нанесения покрытия и присутствия активных реагентов типа O_2, H_2O, N_2.

Методы физического осаждения покрытии (PVD) основаны на физическом испарении вещества в вакуумное пространство камеры с последующей подачей реакционного газа (N_2, O_2, CH_4 и др.). Широкие возможности варьирования температурой в зонах нанесения покрытий позволяет использовать методы PVD в качестве универсальных для нанесения покрытий на режущий инструмент из быстрорежущей стали и твердого сплава. Методом физического осаждения покрытий, покрытие наносится при относительно низкой температуре.

Покрытие наносится очень тонким слоем – толщина не превышает 5 мкм. Это даёт возможность сохранить режущую кромку максимально острой, что особенно важно во время финишной обработки и обработки с повышенными требованиями к точности и жёсткими допусками на размеры. Но метод PVD требует дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала.

Применение некоторых покрытий позволяет отказаться от использования охлаждающей жидкости при резании. Появляется возможность работать на более высоких оборотах с большими подачами и повышается производительность. Исследованиями установлено, что износ инструментов с никель-фосфорным покрытием проходил равномерно, без сколов и вырывов, которые вызываются действиями адгезионного износа. Стойкость сверл с таким покрытием увеличивалась в 2,7–3,3 раза в зависимости от обрабатываемого материала [2].

Из анализа мировых достижений в области нанесения покрытий известно, что понизить температуру нагрева изделий в CVD-процессах можно при использовании в качестве реагентов образования газовой фазы элементоорганических соединений и при помощи плазменной активации [3]. При этом уменьшение температуры процесса будет способствовать исключению негативных явлений от термического воздействия и возможности более широкого использования различных материалов основы.

Лазерная обработка основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Лазерное излучение фокусируется в зоне режущей части сверла, что способствует улучшению эксплуатационных свойств. Лазерное облучение позволяет в широких пределах изменять напряженно-деформированное состояние инструмента. Изменяя условия облучения, можно получать остаточные напряжения разной величины. Основным результатом такой обработки является тонкий поверхностный слой, который нагревается и охлаждается за счет быстрого отвода тепла в основную массу металла. Этот способ позволяет повысить микротвердость и износостойкость от 2 до 5 раз без термического деформирования [4].

Лазерная обработка режущего инструмента с покрытием приводит к повышению прочности сцепления покрытия с инструментальной основой, в то время как комбинированная упрочняющая обработка, включающая лазерную обработку и последующее нанесение покрытия, не изменяет величины адгезионной связи матрицы и покрытия. Анализ изнашивания инструмента, подвергнутого комбинированной упрочняющей обработке, показал, что покрытие разрушается в результате пластического течения материала инструмента и последующего вырыва отдельных частиц покрытия.

Применение комбинированной упрочняющей обработки позволяет, снизить интенсивность образования очагов износа на передней и задних поверхностях и в результате повысить стойкость режущего инструмента на операциях точения стали.

Магнитную обработку используют в машиностроении для обработки лезвийного режущего инструмента для увеличения стойкости и надежности работы. При магнитном воздействии вещество изменяет свои физические и механические свойства. Улучшение свойств у ферромагнитных деталей, прошедших МИО, достигается за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, вследствие чего увеличивается тепло- и электропроводимость материала. Использование магнитной обработки позволило повысить стойкость сверл в 1,5–2 раза. Незначительная стоимость и высокая производительность устройств и современных уста-

новок, применяемых в промышленности, а также простота технологии магнитной обработки позволяют рекомендовать ее для применения [5].

Лазерное легирование является комбинацией двух методов - электроискрового легирования и лазерной обработки.

К методам данной подгруппы можно отнести методы, направленные на улучшение свойств быстрорежущей стали путем устранения недостатков термообработки и вредных последствий заточки инструмента. Это охлаждение режущего инструмента в жидком азоте (удар холодом) и магнитно-импульсная обработка. Наличие остаточного аустенита в закаленной стали уменьшает твердость, прочность и теплостойкость инструментального материала, что приводит к снижению периода стойкости режущего инструмента. При охлаждении быстрорежущего инструмента в жидком азоте и при магнитно-импульсной обработке происходит снижение остаточного аустенита, что повышает указанные выше свойства стали.

Электроискровое упрочнение дает возможность для инструментальных и быстрорежущей сталей повысить твердость, износостойкость, теплостойкость и т.д. При электроискровой обработке поверхностный слой металла изделия (катода) легируется материалом электрода (анода) при искровом разряде в воздушной среде. Химические реакции, происходящие при этом, образуют в поверхностных слоях закалочные структуры и сложные химические соединения высокодисперсные нитриды, карбонитриды и карбиды), и образуется диффузионный износостойкий упрочненный слой.

Методом электроискрового легирования можно упрочнять любой инструмент. При этом твердым сплавом легируется режущая часть сверла.

Применение электроискрового упрочнения твердым сплавом и электродами из других материалов позволяет не только увеличить производительность обработки, снизить расход на эксплуатацию инструмента, но и значительно сократить расход быстрорежущей стали [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://studfile.net/preview/1752606/page:22.
2. https://mash-xxl.info/info/587637.
3. https://studfile.net/preview/7768160/page:17.
4. https://лазер.рф/2020/08/27/17642.
5. https://novainfo.ru/article/14112.
6. https://natural-sciences.ru.

УДК 621.923.7

Д. А. Городжий, П. В. Пучков
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Аннотация: детали интенсивно эксплуатируемой насосной пожарной техники подвержены воздействиям целого ряда негативных факторов: кавитация, коррозия, абразивный износ, неустановившийся режим работы, вибрации и др. Одним из таких факторов, влияющего на работоспособность колеса центробежного насоса является кавитация. В данной статье рассматривается способ упрочнения рабочего колеса центробежного насоса с помощью технологии магнитно-импульсной обработки.

Ключевые слова: центробежный насос, кавитация, износ, упрочнение, магнитно-импульсная обработка.

D. A. Gorodzhi, P. V. Puchkov

TO THE QUESTION OF THE USE OF MAGNETIC PULSE TREATMENT FOR HARDENING THE IMPELLER OF A CENTRIFUGAL PUMP

Abstracts: details of intensively operated pumping fire equipment are exposed to a number of negative factors: cavitation, corrosion, abrasive wear, unsteady operation, vibration, etc. One of these factors affecting the performance of the centrifugal pump wheel is cavitation. This article discusses a method of hardening the impeller of a centrifugal pump using magnetic pulse processing technology.

Keywords: centrifugal pump, cavitation, wear, hardening, magnetic pulse treatment.

Развитие машиностроения характеризуется непрерывным повышением мощности, быстроходности и надежности машин. Качество поверхности деталей характеризуется шероховатостью и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя материала детали: наличием дефектов кристаллического строения, фазовым составом, напряженным состоянием, твердостью и др. Дефекты поверхности и поверхностного слоя деталей возникают при эксплуатации машин. Интенсивные силовые, температурные, абразивные воздействия на поверхностный слой деталей машин вызывают изменения его физико-механических характеристик.

Например, детали интенсивно эксплуатируемой насосной пожарной техники подвержены воздействиям целого ряда негативных факторов, таких как: кавитация, коррозия, абразивный износ, неустановившийся режим работы, вибрации и др. Все перечисленные факторы приводят к существенному повышению интенсивности изнашивания деталей насосов. Особенно интенсивно изнашивается при перекачке воды рабочее колесо центробежного насоса. Достаточно часто происходят следующие виды поломок рабочего колеса насоса: деформация крыльчатки рабочего колеса, усталостное разрушение, эрозия поверхности рабочего колеса насоса в следствии кавитации (рисунок). Кавитация опасное гидродинамическое явление в насосах, приводящее

© Городжий Д. А., Пучков П. В., 2023

к разрушению как движущихся, так и неподвижных его частей. Она очень сильно влияет на безотказность работы насосного устройства в целом. Явление кавитации недопустимо даже в небольших масштабах в силу своего разрушительного влияния.

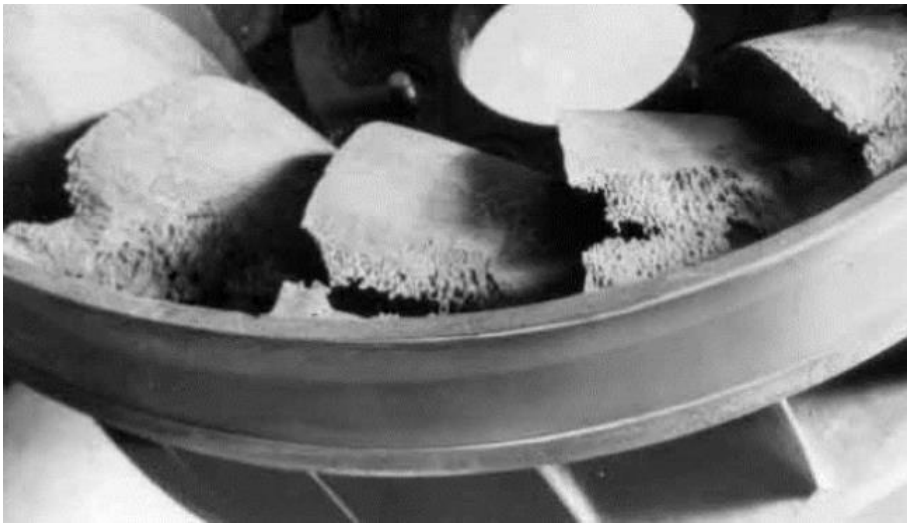


Рисунок. Кавитационный износ рабочего колеса центробежного насоса [8]

Кавитация возникает в результате местного снижения давления в жидкости. Процесс кавитации представляет собой парообразование с последующим схлопыванием пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости. В результате этих многочисленных схлопываний – микроскопических взрывов, возникают скачки давления, которые могут повредить поверхность рабочего колеса насоса и даже привести в поломке всей гидравлической системы.

Так, при схлопывании кавитационных пустот возникает шум, а также вибрация, причем чем больше габариты насоса, тем эти показатели будут больше. При продолжительной работе насоса в условиях кавитации разрушаются материалы, из которых он изготовлен, что называется кавитационным износом. Местное разрушение поверхности рабочего колеса (питтинг) случается даже на начальном этапе кавитации. Кроме того, эффект кавитации увеличивает потери напора на всасывающей линии. Поэтому, чтобы минимизировать явление кавитации, нужно обеспечивать «сплошной поток». Известно, что на сегодняшний день не существует материалов, абсолютно стойких к кавитационному эффекту. Углеродистая сталь, чугун достаточно сильно подвержены кавитационному разрушению (у чугуна это происходит за счет быстрого разрушения включений графита в его структуре).

Как же бороться с этим вредным и опасным явлением? Подводя итог выше сказанному, можно сделать вывод, что разработка или подбор методов упрочняющей обработки деталей пожарных насосов является актуальной задачей на сегодняшний день. Применение современных методов упрочняющей обработки деталей пожарных насосов позволит увеличить срок безотказной работы пожарной техники, используемой в МЧС России [1, 2].

Определяющим фактором при выборе метода упрочняющей обработки является простота его практической реализации, эффективность и относительно низкая требовательность к оснащению специальным оборудованием. Одним из прогрессивных методов упрочнения поверхности деталей и инструментов является магнитно-импульсная обработка (МИО).

Магнитно-импульсная обработка (МИО) представляет собой комплексное воздействие на материал магнитострикционных процессов и механических деформаций, тепловых и электромагнитных вихревых потоков, локализованных в местах концентраций магнитного потока, а также систему процессов, направленно ориентирующих «спин-характеристики» внешних электронов атомов металлов пограничной зоны контакта зерен (перегруженного участка кристаллита). Суть этой теории заключается в следующем: при перемещении детали в полости соленоида вследствие неоднородной кристаллической структуры в ней возникают вихревые токи, которые обуславливают магнитное поле и локальные микровихри. Они, в свою очередь, нагревают участки вокруг кристаллитов напряженных блоков и неоднородностей структуры металла. Градиент теплового потока при магнитно-импульсной обработке тем выше, чем менее однороднее микроструктура металла. В местах концентрации остаточных или усталостных напряжений, связанных с технологией производства, обработки или эксплуатации детали, теплота, наведенная при магнитно-импульсной обработке вихревыми токами, частично уменьшает избыточную энергию составляющих кристаллитов и зерен структуры образца особенно в зоне контакта напряженных участков. Кроме того, вихревое магнитное поле обуславливает более равномерное ее охлаждение. Одновременно с тепловыми процессами за счет импульсного магнитного поля в металле происходит полярная ориентация спинов электронов атомов, расположенных в области контакта кристаллитов и зерен сплавов, вследствие чего улучшаются механические свойства материала. При этом деталь в магнитном поле подвергается «винтовому сжатию». Возникающие электродинамические силы частично уплотняют кристаллиты металла, вследствие чего снижаются концентрации напряжений. В стали уменьшается избыточная энергия, снижается концентрация напряжений, вследствие чего улучшаются механические свойства [3-5].

В настоящее время магнитно-импульсную обработку активно используют в машиностроении для обработки лезвийного режущего инструмента и динамически нагруженных деталей машин для увеличения их стойкости, и надежности работы. Например, магнитно-импульсную обработку применяют для упрочнения различных деталей, конструкций и сборочных единиц: заклепочных, сварных, резьбовых соединений, зубчатых и червячных передач, опорных устройств и муфт, рессор и пружин, стальных канатов и тросов грузоподъемных машин, режущего инструмента и т.д. Опыты показывают, что благодаря магнитно-импульсной обработке улучшаются свойства материалов детали, работающей в узле трения, а именно снижается износ.

Незначительная стоимость и высокая производительность устройств и современных установок, применяемых в промышленности, а также простота технологии магнитной обработки позволяют рекомендовать ее для различных областей народного хозяйства.

Главными преимуществами установок магнитно-импульсной обработки являются: отсутствие движущихся и трущихся частей; простота управления и регулирования мощности; компактность, простота обслуживания; высокая производительность; возможность механизации и автоматизации операций обработки. К недостаткам маг-

нитно-импульсной обработки следует отнести: невысокий КПД процесса; сложность обработки деталей с отверстиями или пазами, мешающими прохождению тока; недостаточную долговечность индукторов при работе в электрических полях высокой напряженности; сложность обработки деталей большой толщины [6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин Б.В. Повышение надежности инструмента, приспособлений и деталей с помощью магнитно-импульсной обработки. // Лесное хозяйство. 1987. №7. С. 63.

2. Малыгин Б.В. Эффективность внедрения магнитной обработки инструмента и деталей машин. // Технология и организация производства. 1988. №1. С. 7 – 9.

3. А.С. 1544815 СССР. Способ магнитной обработки деталей. / МКИ С 21 Д 1/04. Опубл. В Б.И. № 7, 1990.

4. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 150 с.

5. Полетаев В.А., Пучков П.В. Повышение качества поверхностей трения деталей электронасосов / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 9. С. 74 – 76.

6. Полетаев В.А. Исследование поверхностного слоя деталей пожарных насосов / В.А. Полетаев, С.А. Никитина, П.В. Пучков, В.В. Киселев // В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. материалы IX Международной научно-практической конференции. 2014. С. 154 – 159.

7. Зарубин В.П., Киселев В.В. Применение алмазного выглаживания для повышения износостойкости поверхностей валов пожарных насосов. / Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18. № 10 (214). С. 451-453.

УДК 628.147.22

С. А. Гузенков, Н. М. Твердынин., Л. Р. Шарифуллина
Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ, ПРИВОДЯЩИХ К КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОМУ РАЗРУШЕНИЮ

Аннотация: Рассмотрены различные методы определения поверхностных дефектов, соответствующих границе возникающих при обработке высокопрочных стальных деталей структурных неоднородностей типа мартенсит закалки – мартенсит отпуска. Подобные неоднородности имеют значительный градиент механических напряжений, что может инициировать процесс коррозионно-механического разрушения на ответственных стальных деталях, что способно вызвать аварии с последующим развитием ЧС техногенного характера. Данные методы могут быть применены как в научных исследованиях, так и в учебном процессе.

Ключевые слова: высокопрочные стали, дефекты структуры, неполный отпуск, коррозия, коррозионное растрескивание, учебно-лабораторный эксперимент.

© Гузенков С. А., Твердынин Н. М., Шарифуллина Л. Р., 2023

S.A. Guzenkov, N.M. Tverdynin, L.R. Sharifullina

DEVELOPMENT OF CREATIVE SKILLS IN CADETS AND STUDENTS IN THE STUDY OF CORROSION PROCESSES

Abstracts: Various methods for determining surface defects corresponding to the boundary of structural inhomogeneities of the type of martensite quenching – martensite tempering occurring during the processing of high-strength steel parts are considered. Such inhomogeneities have a significant gradient of mechanical stresses, which can initiate the process of corrosion-mechanical destruction on critical steel parts, which can cause accidents with the subsequent development of man-made emergencies. These methods can be applied both in scientific research and in the educational process.

Keywords: high-strength steels, structural defects, incomplete tempering, corrosion, corrosion cracking, educational and laboratory experiment.

Для деталей и узлов из высокопрочных металлических материалов значительную опасность представляют коррозионные процессы, которые, локализуясь на относительно небольших участках, приводят в дальнейшем к развитию процесса разрушения, имеющего преимущественно хрупкий характер. В результате относительно небольшое коррозионное поражение способно не только вывести из строя отдельную деталь, но и привести к разрушению конструкции в целом, что чревато возникновением ЧС техногенного характера.

К таким процессам относятся коррозионное растрескивание, коррозионная усталость [1, с. 33–39], фреттинг-коррозия, водородное охрупчивание и ряд других. Практически для всех перечисленных видов коррозии значительную трудность представляет процесс обнаружения структурных неоднородностей на поверхности стальных деталей. Граница таких неоднородностей, как правило, и является концентратором растягивающих механических напряжений, которые и инициируют процесс коррозионного разрушения. Природа зарождения коррозионной трещины связана с возникновением значительного градиента растягивающих напряжений в случае структурных неоднородностей типа мартенсит – отпущенных мартенсит (троостит, сорбит) [2, с. 54–62]. При этом при наличии на поверхности металла коррозионно-активной среды приводит к скачку потенциала, поскольку все карбидная фаза в мартенсите отпуска количественно различается для мартенсита, троостита, сорбита и промежуточных структур. Следовательно, коррозионный процесс может развиваться одновременно и по электрохимическому, и по механохимическому механизму, что резко усиливает вероятность разрушения деталей из высокопрочных сталей и аналогичных им материалов.

В качестве основного материала для исследования использовались шлифованные образы высокопрочной стали 30 ХГСН2А, которые изначально подвергались закалке в масле от 900 °С с последующим отпуском до температур 200, 400 и 600 °С. Это позволяло получить структуры аналогичные тем, которые возникают на поверхности различных высокопрочных стальных деталей [3, с. 143–148], при шлифовочных прижогах, лазерных прижогах [4, с. 25–32], и других процессах, которые могут вызвать локальный перегрев поверхности и возникновение вторичного отпуска мартенсита, то есть появления структур с высокими механическими напряжении на границе друг с другом.

Обычно при исследовании подобных структур в лабораторной практике используют метод химического травления в кислых средах – растворы азотной кислоты, пероксодисульфата аммония – $(NH_4)_2S_2O_8$ и других сильных окисляющих агентов, способных быстро растворить основной металл выделить в поверхностном слое карбидную фазу, которая создаёт на поверхности стали тёмное окрашивание различной интенсивности. Для имитации реальных структурных дефектов на поверхности стали образцы с различной температурой отпуска соединяли в специальном приспособлении таким образом, чтобы между всеми отпускными структурами обеспечивался электрический контакт. Для сравнения имитирующих прижоги и аналогичные им структурные неоднородности с высоким градиентом растягивающих напряжений с деталями, имеющими реальные прижоги применяли оптико-цифровую технику, показанную на рис. 1.

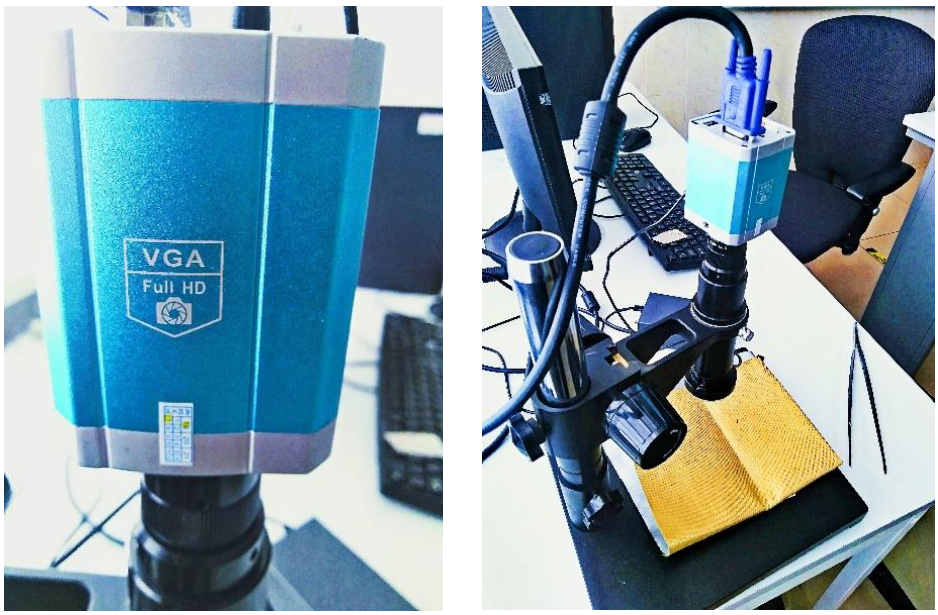


Рис. 1. Внешний вид оптико-цифрового микроскопа и рабочего места

Поскольку подобные оптико-цифровые приборы легко сопрягаются с компьютером, то достаточно просто создать банк данных всех изучаемых дефектов на поверхности высокопрочных сталей и других материалов. подвергающихся коррозионно-механическому разрушению. Данное оборудование хорошо зарекомендовало себя не только при различных исследованиях самых разнообразных материалов, но и в учебном процессе (возможность демонстрации поверхности материала и структурных изменений на ней на большом экран) и при проведении курсантами и студентами научно-исследовательских и дипломных работ.

Для визуальной оценки шлифовочных прижогов был применён метод, основанный на сравнении поверхности исследуемых образцов с поверхностью эталонных образцов. Эталоны представляют собой образцы из стали 30ХГСН2А, отпущение при 400 °С и протравленные в растворе с содержанием 150 г/л пероксодисульфата аммония. Эталонные и исследуемые образцы зачищали бумагой, тщательно обезжиривали окисью магния и промывали. Данные образцы имели максимальное наличие карбидной фазы и, соответственно, наиболее тёмный цвет.

Изучение состояния поверхности образцов после травления и осветления проводили путем сравнения полученных участков травления с зонами эталонных образцов. Зоны травления отличались между собой интенсивностью окраски (потемнением). Образцы, не подвергшиеся травлению, окраски не изменили, а образцы, подвергшиеся травлению, темнели тем сильнее, чем продолжительнее было травление.

Для более полного и точного обнаружения структурных неоднородностей на деталях из высокопрочных сталей, приводящих к коррозионно-механическому разрушению и снижающему прочностные характеристики химические и оптические методы необходимо сочетать с другими. В частности, хорошие результаты дают метод профилографирования. Данные этих исследований приведены на рис. 2.

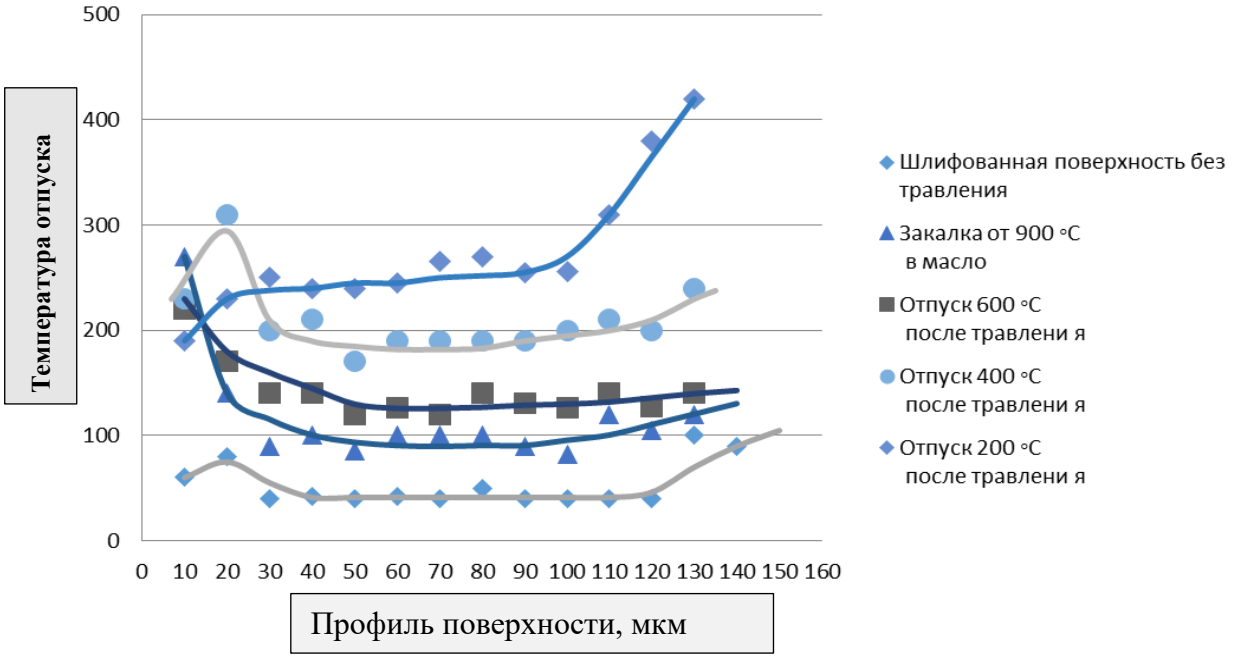


Рис. 2. Изменение структурной функции поверхности высокопрочной стали, имеющей структурные неоднородности

Анализ изменение структурной функции для различных по содержанию карбидной фазы поверхностных структур, позволяет «поймать» границу между ними там, где и сосредоточены максимальные напряжения, приводящие к снижению прочностных характеристик и процессу коррозионно-механического разрушения.

Для того, чтобы получить развитый профиль поверхности для снятия профиллограмм и, в то же время не вывести деталь в ходе травления за пределы технических допусков в раствор пероксодисульфата аммония был дополнительно оксалат аммония – $(NH_4)_2C_2O_4$. Оба эти вещества не вызывают наводороживания и, как следствие, коррозионно-механического разрушения по механизму водородного охрупчивания, как большинство кислотных реагентов. Из данных представленных на рис. 3 следует, что скорость коррозии высокопрочной стали, соотносимая с логарифмом силы тока при добавлении в раствор пероксодисульфата оксалата аммония значительно снижается.

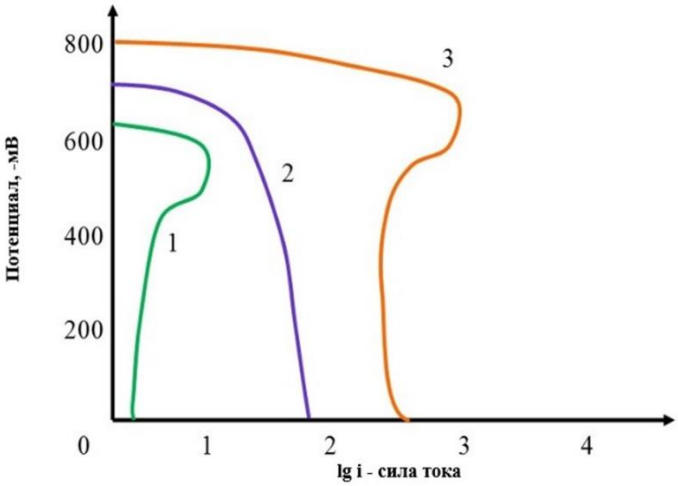


Рис. 3. Изменение потенциала металлической поверхности в зависимости от логарифма силы коррозионного тока, характеризующей скорость процесса коррозии:
1 – оксалат аммония $(NH_4)_2C_2O_4$, 20 г/л;
2 – пероксодисульфат аммония $(NH_4)_2S_2O_8$, 25 г/л;
3 – серная кислота H_2SO_4; 10 г/л

Из графических данных, представленных на рис. 3 можно сделать вывод том, что оксалат аммония значительно снижает скорость коррозии при добавлении к раствору пероксодисульфата аммония, и, как подтвердили данные гравиметрических измерений до и после травления, исследуемые детали не выходят за пределы технических допусков.

Из проведённого исследования можно сделать вывод о целесообразности дальнейшего изучения высокопрочных сталей в коррозионно-активной среде с целью выявления структурных неоднородностей, приводящих к коррозионно-механическому разрушению.

Представляется целесообразным применение комплексных методов исследования, сочетающих в себе применение современной оптико-цифровой техники, классических методик металлографического исследования и различных современных приборов (профилографы-профилометры и др.), позволяющих оценить опасные в плане потенциального разрушения участки ответственных стальных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев Н.Н., Кутепов С.Н., Сергеев А.Н., Колмаков А.Г., Извольский В.В. Гвоздев А.Е. Длительная прочность арматурной стали 22Х2Г2АЮ при испытаниях на коррозионное растрескивание в кипящем растворе нитратов / Н.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов, А.Н. Сергеев и др.// Деформация и разрушение материалов. 2019. № 8. С. 33 – 39.

2. Сергеев Н.Н., Ушаков М.В., Кутепов С.Н., Сергеев А.Н., Колмаков А.Г., Малий Д.В., Шатульский А.А. Гвоздев А.Е Влияние уровня растягивающих напряжений и толщины защитных покрытий на коррозионную стойкость / Н.Н. Сергеев, М.В. Ушаков, А.Н. Сергеев, и др. // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. 2019. № 1 (48). С. 54 – 62.

3. Петров П.Ю., Юе Ц., Чепизубов И.Г. Моделирование тепловых процессов при восстановлении цилиндрических деталей. Наукосфера. 2022. № 3 – 1. С. 143 – 148.

4. Сергеев Н.Н., Минаев И.В., Тихонова И.В., Кутепов С.Н., Сергеев А.Н., Колмаков А.Г., Малий Д.В., А.А. Гвоздев А.Е Методология выбора режимов лазерной резки листов из конструкционных сталей для обеспечения требуемого комплекса по-

казателей качества поверхности / Н.Н. Сергеев, И.В. Минаев, И.В. Тихонова, А.Е. и др. // Материаловедение. 2019. № 10. С. 25 – 32.

УДК 621

В. В. Киселев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ПРИСАДОК В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ТРАНСМИССИЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: В статье приведены результаты статистического анализа основных причин выхода из строя пожарных автомобилей. Одной из частых причин постановки автомобилей на ремонт является неисправность элементов трансмиссий, вызванных, в том числе, износом трущихся деталей. Для снижения износа трущихся деталей предложено применение в качестве добавки к трансмиссионным маслам и смазкам противоизносной присадки. Показаны результаты испытаний экспериментальных образцов на износ в базовом трансмиссионном масле и трансмиссионном масле, модифицированном присадкой.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, трансмиссия, смазочный материал, противоизносная присадка, трение, износостойкость.

V. V. Kiselev

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING ANTIWEAR ADDITIVES IN FRICTION UNITS OF FIRE TRUCK TRANSMISSIONS

Abstracts: The article presents the results of a statistical analysis of the main causes of failure of fire trucks. One of the frequent reasons for putting cars in for repairs is a malfunction of transmission elements, caused, among other things, by wear of rubbing parts. To reduce the wear of rubbing parts, it is proposed to use an antiwear additive as an additive to transmission oils and lubricants. The results of tests of experimental samples for wear in base gear oil and gear oil modified with an additive are shown.

Keywords: fire truck, transmission, lubricant, antiwear additive, friction, wear resistance.

Пожарный автомобиль, как и любой другой специальный автомобиль создаются на базе существующих шасси. Основными элементами автомобиля являются двигатель, шасси и кузов. Шасси автомобиля в свою очередь включает в себя следующие три основных элемента – это ходовая часть, механизм управления и трансмиссия. Назначение двигателя заключается в преобразовании тепловой энергии сгорающего топлива в механическую работу движения. Шасси автомобиля объединяет в единое целое механизмы, передающие крутящий момент от двигателя к ведущим колесам. Шасси служит основанием для установки на нем двигателя, кузова, мостов с колесами, элементов подвески автомобиля подвесок, а также управляющих систем. В струк-

© Киселев В. В., 2023

туре шасси автомобиля можем выделить три группы устройств, а именно: трансмиссия, ходовая часть и механизмы управления.

Трансмиссия необходима для передачи вращательного момента от двигателя к ведущим колесам автомобиля. Кроме этого, созданный двигателем автомобиля крутящий момент при помощи элементов трансмиссии может быть изменен по величине и распределен между осями автомобиля в нужной пропорции. Передаваемый на ведущие колеса крутящий момент напрямую зависит от действующего передаточного числа элемента трансмиссии. Из определения известно, что значение передаточного числа определяется как отношение угловой скорости ведущего звена к угловой скорости ведомого. В автомобиле передаточное отношение определяется отношением угловой скорости коленчатого вала ДВС к угловой скорости ведущих колес. Передаточное число трансмиссии зависит прежде всего от типа автомобиля, его массы, назначения и других параметров и может изменять при необходимости.

В состав трансмиссии автомобиля входят следующие компоненты – это сцепление, коробка переключения передач, карданная передача, главная передача, дифференциалы и полуоси.

Пожарный автомобиль в большинстве случаев теряет работоспособность вследствие отказа одной или нескольких деталей. Около трети всех отказов за период эксплуатации автомобилей до капитального ремонта приходится на силовой агрегат и его системы (питания, сцепления, коробки передач).

По проведенным исследованиям отказов узлов и систем пожарно-спасательной техники на примере Ивановского местного пожарно-спасательного гарнизона, статистика за последние пять лет выглядит следующим образом:

- система электрооборудования – 34 (12 %) отказа;
- двигатель – 64 (23 %);
- сцепление – 22 (8 %);
- коробка передач – 49 (17 %);
- мосты – 26 (9 %);
- тормозная система – 16 (6 %);
- топливная система – 17 (6 %);
- коробка отбора мощности – 4 (1 %);
- система охлаждения – 22 (8 %);
- раздаточная коробка - 8 (3 %).

Изучив статистику отказов, приходим к выводу, что наибольшее их число приходится на элементы трансмиссии, куда входят КПП (17 %), мосты (9 %), КОМ (1 %), раздаточная коробка (3 %). Общая доля отказов, приходящихся на элементы трансмиссии автомобилей, составляет около 30 %. Основной причиной выходя из строя, на наш взгляд, является износ трущихся поверхностей.

Снижение износа трущихся поверхностей может быть достигнуто за счет регулярного технического обслуживания узлов. В регламентные работы по техническому обслуживанию трансмиссий автомобилей входит инспекция и замена масел, от противоизносных свойств которых зависят многие эксплуатационные характеристики, в том числе и износостойкость.

Для снижения износа и повышения долговечности узлов трения трансмиссий пожарных автомобилей была разработана и испытана противоизносная присадка на основе солей меди. Присадка вводилась в базовое трансмиссионное масло с целью повышения его противоизносных показателей. Применение разработанной противо-

износной присадки не приведет к существенному повышению стоимости базового трансмиссионного масла, поскольку ее концентрация составляет 3 масс.%. Данная концентрация является оптимальной на основании ранее поведенных исследований.

Испытания проводились на триботехническом стенде, трехмерная модель которого показана на рис. 1. Установка предназначена для исследования процесса износа в различных парах трения в присутствии или отсутствие смазочного материала в зоне трения, при точечном или плоскостном контакте тел трения в условиях различных контактных усилий.

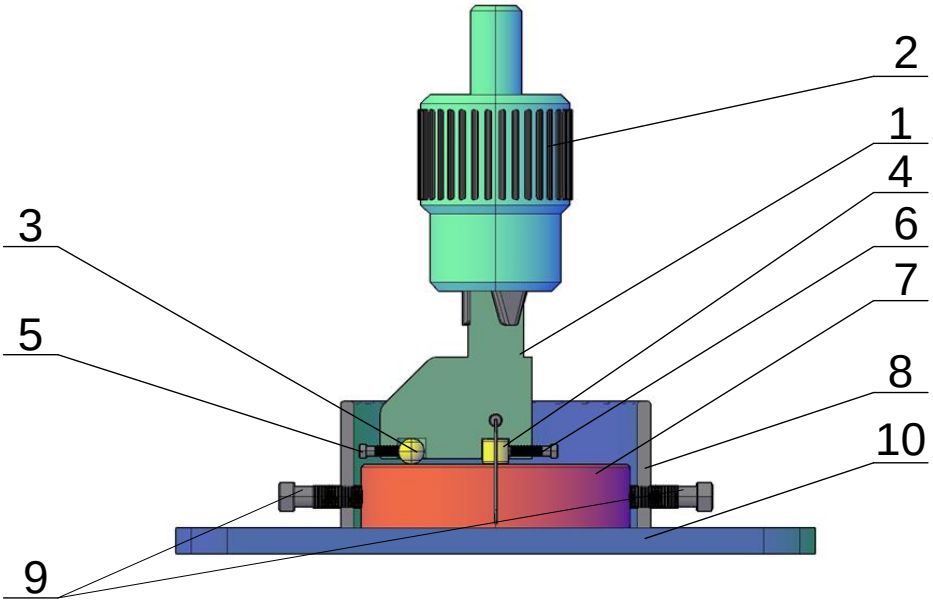


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки
1 – держатель, 2 – патрон, 3 – стальной шарик, 4 – цилиндр, 5, 6 – винты,
7 – основание, 8 – корпус, 9 – винты, 10 – рабочий стол

В качестве оценочного критерия был выбран показатель интенсивности износа трущейся поверхности. Нормальное давление в контактирующей паре равнялось 6 МПа, что значительно превышает рабочее давление трущихся деталей карданной передачи. Величина износа поверхности зависит и от значения пробега, в данном исследовании пробег был задан 50 км. Данный пробег не является значительным, но вполне приемлем для лабораторного исследования с учетом выбранного повышенного рабочего давления.

На рис. 2 приведены сравнительные показатели величины износа поверхности в базовом трансмиссионном масле и том же масле, модифицированным разработанной противоизносной присадкой.

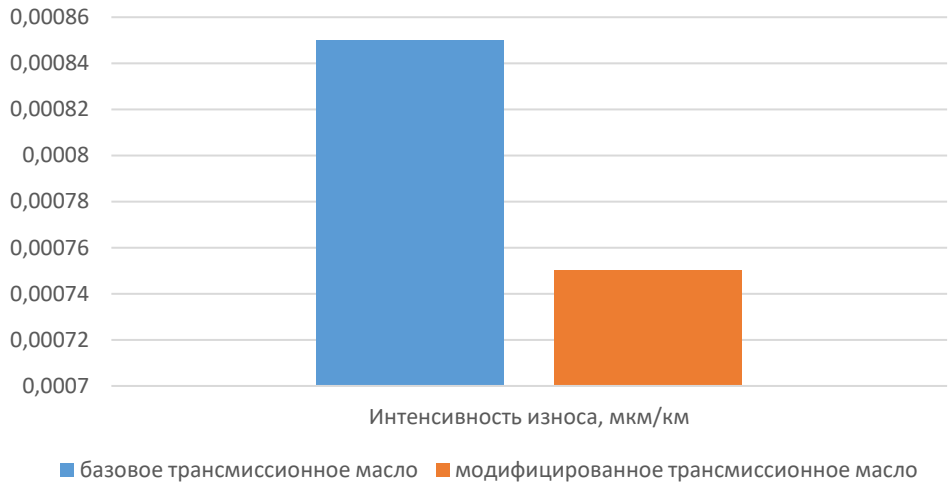


Рис. 2. Значение степеней износа трущихся поверхностей в базовой и модифицированной смазке

Анализ представленных сравнительных триботехнических показателей базового трансмиссионного масла и того же масла с добавлением противоизносной присадки дает возможность считать, что за счет введения противоизносной добавки интенсивность износа трущихся поверхностей снизилась с 0,00085 мкм/км до 0,00075 мкм/км, что составляет 13 %. Таким образом, применение в качестве добавки к трансмиссионным маслам противоизносной присадки в концентрации 3 масс. % позволит улучшить основные триботехнические показатели, в частности, интенсивность износа трущихся поверхностей.

Также, на наш взгляд, применение в узлах трения трансмиссий пожарной автомобильной техники модифицированных масел позволит улучшить ряд технико-эксплуатационных показателей, а именно:

- продлить ресурс работы трансмиссий пожарной техники;
- снизить аварийные разрушения узлов;
- сократить затраты на внеплановые ремонты;
- экономить горюче-смазочные материалы;
- снизить потребление запасных частей и комплектующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1999. 336 с.

2. Акопова О.Б., Лапшин В.Б., Терентьев В.В., Богданов В.С. Карбоксилаты меди. моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. № 2 (40). С. 20 – 28.

3. Полетаев В.А., Пучков П.В. Исследование механических свойств деталей с гальванопокрытием. В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. Материалы международной научно-технической конференции: (XVIII Бенардосовские чтения). 2015. С. 315-319.

4. Киселев В.В. Исследования по выявлению оптимальной концентрации разработанного медно-оловянного комплекса в масле // Депонированная рукопись № 836-В2003 29.04.2003.

5. Мельников В.Г., Киселев В.В., Гунина В.В. Влияние металлоплакирующей присадки на основные триботехнические характеристики пары трения сталь-сталь // Физика, химия и механика трибосистем. 2003. С. 49.

УДК 620.178.16

М. Ю. Колобов[1], Е. В. Миронов[1], А. Е. Травин[1], В. В. Колобова[2]
[1] Ивановский государственный химико-технологический университет
[2] Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева

ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: Разработана лабораторная установка для испытания на изнашивание при движении образца в абразивной массе. Использование материала образцов, изготовленных из стали 40Х, повышает их ресурс в 1,5–2,0 раза, стали 45 — 2,0–3,0 раза, стали 65Г — 3,5–13,5 раза в зависимости от частоты вращения ротора установки.

Ключевые слова: лабораторная установка, износостойкость, абразивный износ.

M. Yu. Kolobov, E. V. Mironov, A. E. Travin, V. V. Kolobova

WEAR INTENSITY OF STRUCTURAL MATERIALS

Abstract: A laboratory setup has been developed for testing wear when a sample moves in an abrasive mass. The use of the material of samples made of steel 40Kh increases their resource by 1,5–2,0 times, steel 45 — 2,0–3,0 times, steel 65G — 3,5–13,5 times, depending on the speed installation rotor.

Key words: laboratory setting, wear resistance, abrasive wear.

Абразивный износ материала можно рассматривать как действие твердых частиц на поверхность детали, с которой она контактирует (процесс трения частицы по поверхности детали). В некоторых случаях частицы могут скользить по поверхности контакта, вызывая ее пластическую деформацию, или проникать в поверхность материала и перемещаться вместе с ней, срезая при этом микрообъемы материала.

Многообразие условий работы деталей машин, а также материалов, используемых в технике, обусловливает различные виды взаимодействия поверхностей и, следовательно, различные виды изнашивания [1–4].

В последние годы в мировой практике наметилась тенденция повышения значимости и роли стендовых испытаний на износ. Наибольший интерес стендовые испытания представляют при ускоренных режимах, так как по сравнению с натурными они значительно сокращают продолжительность испытания и расширяют шкалу уровней факторов нагружения. Современный подход к разработке методов ускоренных испытаний позволит существенно сократить сроки создания надежной техники.

С учетом этих соображений была разработана лабораторная установка для испытания на изнашивание при движении образца в абразивной массе [5].

© Колобов М. Ю., Миронов Е. В., Травин А. Е., Колобова В. В., 2023

Износ определялся по потере веса, поскольку с помощью измерения веса можно более точно характеризовать изменения образца после трения, чем посредством определения изменения линейных размеров. Метод использовался для оценки износостойкости различных материалов (сталь Ст. 3, сталь 40Х, сталь 45, сталь 65Г) одновременно в одних и тех же условиях изнашивания.

После испытаний, учитывая заданные условия эксперимента и полученные данные, были построены графики зависимости величины износа от времени.

Массовый износ образцов определяли взвешиванием на лабораторных весах марки ВЛКТ – 500 г – М с точностью до 0,01грамма.

Относительная износостойкость материала $k_{отн.}$:

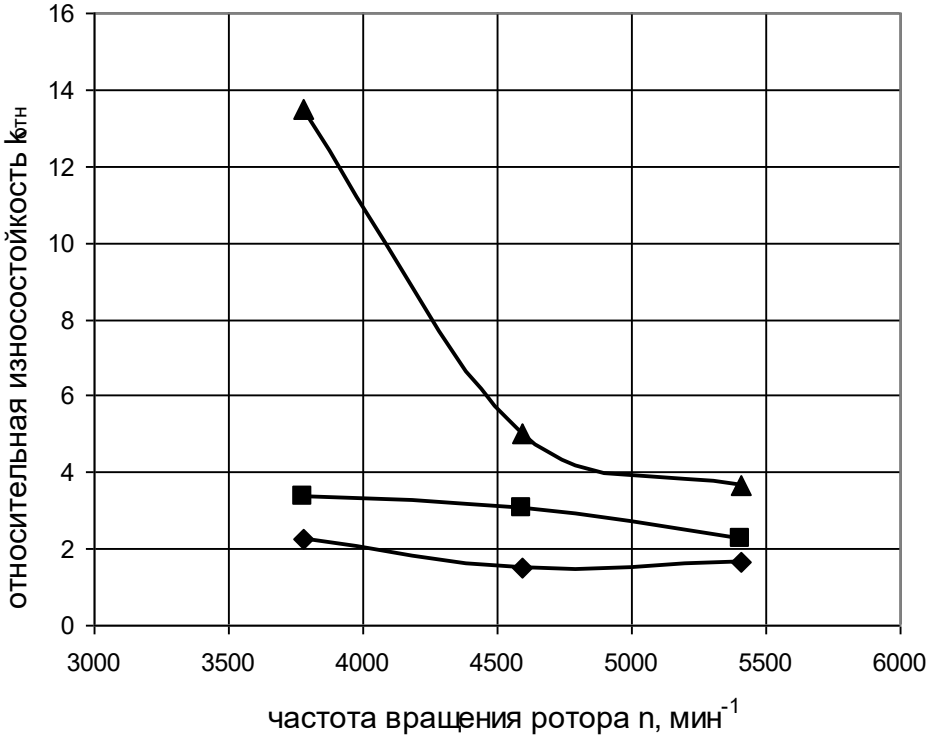
$$k_{отн.} = \frac{k_{gэ}}{k_{gм}}, \quad (1)$$

где $k_{gэ}$ – интенсивность изнашивания эталонного материала, г/кг;

$k_{gм}$ – интенсивность изнашивания исследуемого материала, г/кг.

В экспериментальных исследованиях по износу плоских образцов применяли кварцевый песок, который многие исследователи используют как модельный материал [6–8].

С практической точки зрения интерес представляет относительная износостойкость материала образцов (рисунок). В качестве эталонного материала принята сталь Ст. 3.



♦ – сталь 40Х, ■ – сталь 45, ▲ – сталь 65Г

Рисунок. Зависимость относительной износостойкости образцов от частоты вращения ротора установки

Использование материала образцов, изготовленных из стали 40Х, повышает их ресурс в 1,5–2,0 раза, стали 45 — 2,0–3,0 раза, стали 65Г — 3,5–13,5 раза в зависимости от частоты вращения ротора установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. М.: КНОРУС, 2015. 408 с.

2. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. Повышение надежности трибосопряжений. – С-Пб.: Академия транспорта РФ, 2001. 304 с.

3. Колобов М.Ю. Износ рабочих органов центробежно-ударных мельниц // Ремонт, восстановление, модернизация. Москва, 2009. № 8. С. 27 – 28.

4. Колобов М.Ю., Сахарова С.Г., Сахаров С.Е. Измельчитель сыпучих материалов // Ремонт, восстановление, модернизация. Москва, 2017. № 1. С. 9 – 12.

5. Патент на полезную модель RU № 196770 U1. Установка для испытания материалов деталей на абразивный износ / Колобов М.Ю., Баранов Н.М., Пасовистый Д.Я. // Бюл. № 8, 2020.

6. Клейс И.Р., Уэмыйс Х.Х. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия. М.: Машиностроение, 1986. 160 с.

7. Осокин Б.И. Молотковые мельницы. М.: Энергия, 1980. 176 с.

8. Лапшин В.Б., Колобова В.В., Боброва Н.В. Соотношение между износом ударных элементов в дезинтеграторе и степенью измельчения абразивного материала в нем // Проблемы и перспективы развития сельскохозяйственной науки и АПК в современных условиях. Сб. науч. трудов ИГСХА. Иваново, 2004. С. 189 – 190.

УДК 539.92

П. В. Королёв, М. А. Шилов
Ивановский государственный энергетический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ЭЛАСТОМЕРОВ ПРИ КАЧЕНИИ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ

Аннотация: В работе представлена модель износа эластомерного материала при трении качения с проскальзыванием по абразивному диску. Получена зависимость изменения высоты эластомерного диска от скорости скольжения и нормальной нагрузки. На языке Matlab разработана программа расчета износа эластомерного цилиндра по абразивному диску.

Ключевые слова: износ, эластомер, модель, метод конечных элементов.

P. V. Korolev, M. A. Shilov

SIMULATION OF ELASTOMER WEAR DURING ROLLING WITH SLIPPING

© Королёв П. В., Шилов М. А., 2023

Abstracts: The article presents a model of wear of an elastomeric material during rolling friction with slipping on an abrasive disk. The dependence of the change in the height of the elastomeric disk on the sliding speed and normal load is obtained. A program for calculating the wear of an elastomeric cylinder on an abrasive disk has been developed in the Matlab language.

Keywords: wear, elastomer, model, finite element method.

Вопросам трения и изнашивания эластомерных материалов посвящено много работ. В ряде из них представлены разработанные авторами модели, позволяющие оценить величину изнашивания. Общим недостатком моделей является отсутствие возможности учета физико-механических характеристик эластомерного материала. В связи с этим, целью работы стало создание математического описания изнашивания эластомерных материалов при качении с проскальзыванием, учитывающее скорость скольжения, нормальную нагрузку, свойства эластомерного материала. Для реализации поставленной цели нами использован Эйлеро-Лагранжевый подход [1, 2], заключающийся в разделении движения деформируемого твердого тела на движение жесткого тела и наложенной на него деформации. Примем, что координаты Лагранжа обозначаются заглавными буквами, а координаты Эйлера прописными. На рис. 1. представлена геометрическая модель деформируемого тела, вращающегося с постоянной угловой скоростью качения ω_1 вокруг жесткой оси $\vec{m}$ с центром в точке X_0. Сама ось вращается с постоянной угловой скоростью ω_2 вокруг фиксированной нормали $\vec{n}$ с центром в точке X_c. Движение частицы X в момент времени t состоит из жесткого качения к положению Y, описанного следующим выражением:

$$Y = R_s \cdot (X - X_0) + X_0 \quad (1)$$

где R_s матрица вращательного движения определяемая следующим уравнением:

$$R_s = e^{\widehat{\omega_A} \cdot t} \quad (2)$$

где, $\widehat{\omega_A}$ кососимметричная матрица, связанная с вектором вращения $\widehat{\omega_A} = \omega \cdot m$.

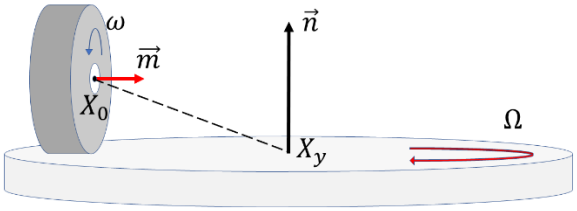


Рис. 1. Модель эластомерного диска с устойчивым качением

За этим жестким вращением при качении следует деформация до точки x и последующее вращение вокруг n, чтобы расположить y так, чтобы

$$y = R_c \cdot (x - X_c) + X_c \quad (3)$$

где R_c матрица вращательного движения определяемая следующим уравнением.

$$R_c = \exp(\widehat{\Omega_A} \cdot t) \quad (4)$$

где, $\widehat{\Omega_A}$ кососимметричная матрица, связанная с вектором вращения $\widehat{\Omega_A} = \Omega \cdot n$. Затем скорость частицы становится равной

$$\upsilon = \dot{y} = \dot{R}_c \cdot (x - X_c) + R_c \cdot x \tag{5}$$

Для описания деформации диска вводили карту, с помощью которой определяли положение точки x в момент t как функцию ее местоположения Y в момент t так, что

$$x = \chi(Y, t) \tag{6}$$

Производная по времени от (6) задается как

$$\dot{x} = \frac{\partial \chi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{\partial \chi}{\partial t} \tag{7}$$

где

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \dot{R}_s \cdot (X - X_0) = \omega m \times (Y - X_0) \tag{8}$$

Отметим, что $\dot{R}_s = \hat{\omega} \cdot R_s = \omega \widehat{T} \cdot R_s$ и вводя окружное направление

$$S = m \times (Y - X_0)/R \tag{9}$$

где $R = |Y - X_0|$ является радиусом точки на теле отсчета, скорость которого теперь может быть записана как

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \omega R S \tag{10}$$

и с учетом (7) может быть записано в виде

$$\dot{x} = \omega R \frac{\partial Y}{\partial t} \cdot S + \frac{\partial \chi}{\partial t} = \omega R \frac{\partial \chi}{\partial S} + \frac{\partial \chi}{\partial t} \tag{11}$$

где S – координата расстояния вдоль контура. Производная от (4) дается

$$\dot{R}_c = \widehat{\Omega_A} \cdot R_c = \Omega \hat{n} \cdot R_c \tag{12}$$

Дальнейшее преобразование полученных выражений позволяет определить в случае прямолинейной качения ($\Omega = 0$) к следующим зависимостям скорости и ускорения:

$$\upsilon = \upsilon_0 + \upsilon_r = \upsilon_0 + \omega R \frac{\partial \chi}{\partial S} \tag{13}$$

$$a_r = \omega^2 R^2 \cdot \frac{\partial^2 \chi}{\partial S^2} \tag{14}$$

Относительную скорость двух точек, лежащих на контактирующих поверхностях, можно выразить:

$$\upsilon = \upsilon_D - \upsilon_R, \tag{15}$$

где υ_D – скорость точки на деформированном диске, а υ_R – скорость точки на жестком основании. Скорость проникновения определяется следующим уравнением

$$\dot{h} = -n \cdot \upsilon = -n \cdot \upsilon_R - \omega R n \cdot \frac{\partial \chi}{\partial S} - n \cdot \frac{\partial \chi}{\partial t}, \tag{16}$$

для любой точки соприкосновения следует, что $n \cdot \frac{\partial \chi}{\partial S} = 0$, следовательно

$$\dot{h} = -n \cdot \upsilon_R - n \cdot \frac{\partial \chi}{\partial t}. \tag{17}$$

Скорость скольжения определяется следующим уравнением:

$$\dot{\gamma_\alpha} = t_\alpha \cdot \upsilon = \Omega t_\alpha (n \times r) + \omega R t_\alpha \frac{\partial \chi}{\partial S} + t_\alpha \frac{\partial \chi}{\partial t} - t_\alpha \cdot \upsilon_R, \tag{18}$$

где t_α $(\alpha = 1,2)$ являются двумя ортогональными единичными векторами, касательными к контактной поверхности, такими, что $n = t_1 \times t_2$. Для стационарного качения $(\frac{\partial \chi}{\partial t} = 0)$ окончательное выражение для скорости скольжения имеет вид:

$$\dot{\gamma_\alpha} = t_\alpha \cdot \upsilon = \Omega t_\alpha (n \times r) + \omega R t_\alpha \frac{\partial \chi}{\partial S} - t_\alpha \cdot \upsilon_R. \tag{19}$$

При линейном качении от выражения $\Omega t_\alpha (n \times r)$ можно перейти к υ_0, тогда скорость скольжения может быть описана следующим образом:

$$\dot{\gamma_\alpha} = \upsilon_0 + \omega R t_\alpha \frac{\partial \chi}{\partial S} - t_\alpha \cdot \upsilon_R. \tag{20}$$

Для описания износа воспользуемся моделью Арчарда, согласно которой объем изношенного материала прямо пропорционален нормальной нагрузке P, пути трения L и обратно пропорционален твердости H более мягкого материала пары трения:

$$V = k \frac{P}{H} L, \tag{21}$$

где k – безразмерный коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом износа. Перейдя от нормальной нагрузки к давлению в контакте ($P = p \cdot A$,

где A – площадь контакта) и от длины контакта к скорости скольжения ($\mathrm{L} = \dot{\gamma} \cdot \mathrm{t}$), получим:

$$\mathrm{V} = \mathrm{k}\frac{p \cdot A}{\mathrm{H}}\dot{\gamma} \cdot \mathrm{t}, \tag{22}$$

Определим скорость объемного изнашивания эластомерного диска, продифференцировав обе части уравнения по времени.

$$\dot{\mathrm{V}} = \mathrm{k}\frac{p \cdot A}{\mathrm{H}}\dot{\gamma}, \tag{23}$$

Поверхность эластомерного диска рассматривали как многослойную ленту. Центральная линия каждого ребра состоит из множества узлов. Предполагая, что износ каждого ребра является средним в круговом направлении, коэффициент объемного износа для каждого слоя ленты можно определить уравнением:

$$\dot{\mathrm{V}} = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{H}}\int_{\mathrm{c}}^{0} \mathrm{p}(\mathrm{x},\mathrm{t}) \cdot \dot{\gamma}(\mathrm{x},\mathrm{t})\mathrm{dA}, \tag{24}$$

где c – ширина эластомерного диска, x – положение точки на поверхности трения диска. Интенсивность изнашивания по модели соответственно равна:

$$\mathrm{I_m} = \frac{\dot{\mathrm{V}}}{\mathrm{A}\dot{\gamma}} = \mathrm{k}\frac{\mathrm{p}}{\mathrm{H}\dot{\gamma}}\left(\upsilon_0 + \omega\mathrm{R}\mathrm{t}_\alpha\frac{\partial\chi}{\partial\mathrm{S}} - \mathrm{t}_\alpha \cdot \upsilon_\mathrm{R}\right) \tag{25}$$

Поскольку уравнение (24) аналитически не решается, нами построено численное решение с применением метода конечных элементов. Ребра одного слоя можно разбили на конечное число узлов. С учетом того, что износ каждого из них является средним в круговом направлении, коэффициент объемного износа для каждого слоя ленты можно определить следующим уравнением:

$$\dot{\mathrm{V}} = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{H}}\int_{\mathrm{c}}^{0} \mathrm{p}(\mathrm{x},\mathrm{t}) \cdot \dot{\gamma}(\mathrm{x},\mathrm{t})\mathrm{dA}, \tag{26}$$

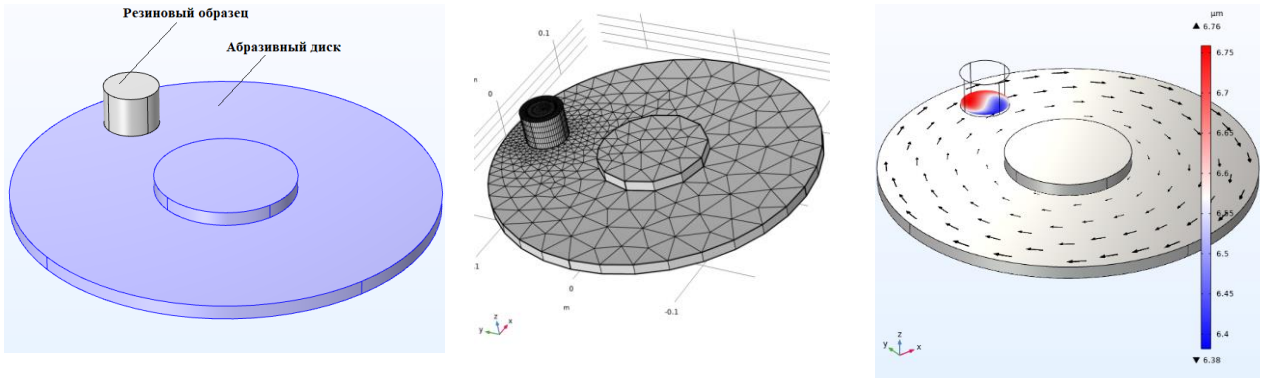
где c – ширина эластомерного диска, x – положение точки на поверхности трения диска. При стационарном скольжении износ каждого слоя диска усреднен в круговом направлении, поэтому выражение скорости линейного изнашивания $\dot{h}_i$ в $i-$м узле описывали следующим образом:

$$\dot{\mathrm{h}}_\mathrm{i} = \frac{\dot{\mathrm{V}}}{\mathrm{A_i}} = \mathrm{L}\frac{\frac{\mathrm{k}}{\mathrm{H}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\mathrm{p_i}\dot{\gamma}_\mathrm{i}\mathrm{m_i}}{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\mathrm{A_i}}, \tag{27}$$

где N количество узлов вдоль длины окружности диска, A_i – площадь контакта в окрестности узла i, мм^2, m_i – ширина полосы около узла i. Модель линейной интенсивности изнашивания примет вид:

$$I_m = \sum_{i=1}^{n} I_{mi} \cong k\frac{p}{H\dot{\gamma}}\left(\upsilon_0 + \omega R t_\alpha \frac{\partial \chi}{\partial S} - t_\alpha \cdot \upsilon_R\right) \quad (28)$$

В среде Matlab разработанная конечно-элементная модель износа представляла собой закрепленный резиновый цилиндрический образец с приложенной к нему нагрузкой, изнашиваемый абразивным диском (рис. 2). Такая постановка позволила оценить высоту износа только от нагрузки без влияния изменения геометрии.



а *б* *в*

Рис. 2. Контактная модель диск-цилиндр: *а* – геометрия контакта, *б* - конечно-элементная сетка, *в* – распределение износа по поверхности образца

Величину распределенной нагрузки, приложенной к образцу выбирали на основании реальных усилий. При средней массе легкового автомобиля 1500 кг на одну шину приходится средняя нагрузка 375 кг. Ввиду постоянства площади контакта цилиндра, аналогичная нагрузка для модели составляла 7 Н. Для упрощения расчетов был сделан переход от качения с проскальзыванием к «чистому» скольжению со скоростью $\dot{\gamma}_i = \upsilon_i - \omega_i r_i$. Для моделирования материала использовали двухпраметрическую модель Йо. Вид конечно-элементной сетки представлен на рис. 2, б. Решение задачи проводили в два этапа. На первом, статическом шаге, получали распределение контактных давлений. На втором, временном, моделировали изнашивание образца со скоростью скольжения 5 км/ч. Результаты моделирования представлены на рис. 2, в. Варьируя величины приложенной нагрузки и времени проведения испытания были получены зависимости величины износа от изменяемых параметров (рис. 3) [4]. Анализ данных моделирования показал, что увеличение скорости движения абразивного диска приводил к повышенному износу внешней части эластомерного цилиндра. Результаты моделирования не противоречили экспериментальным данным, полученным нами ранее [3].

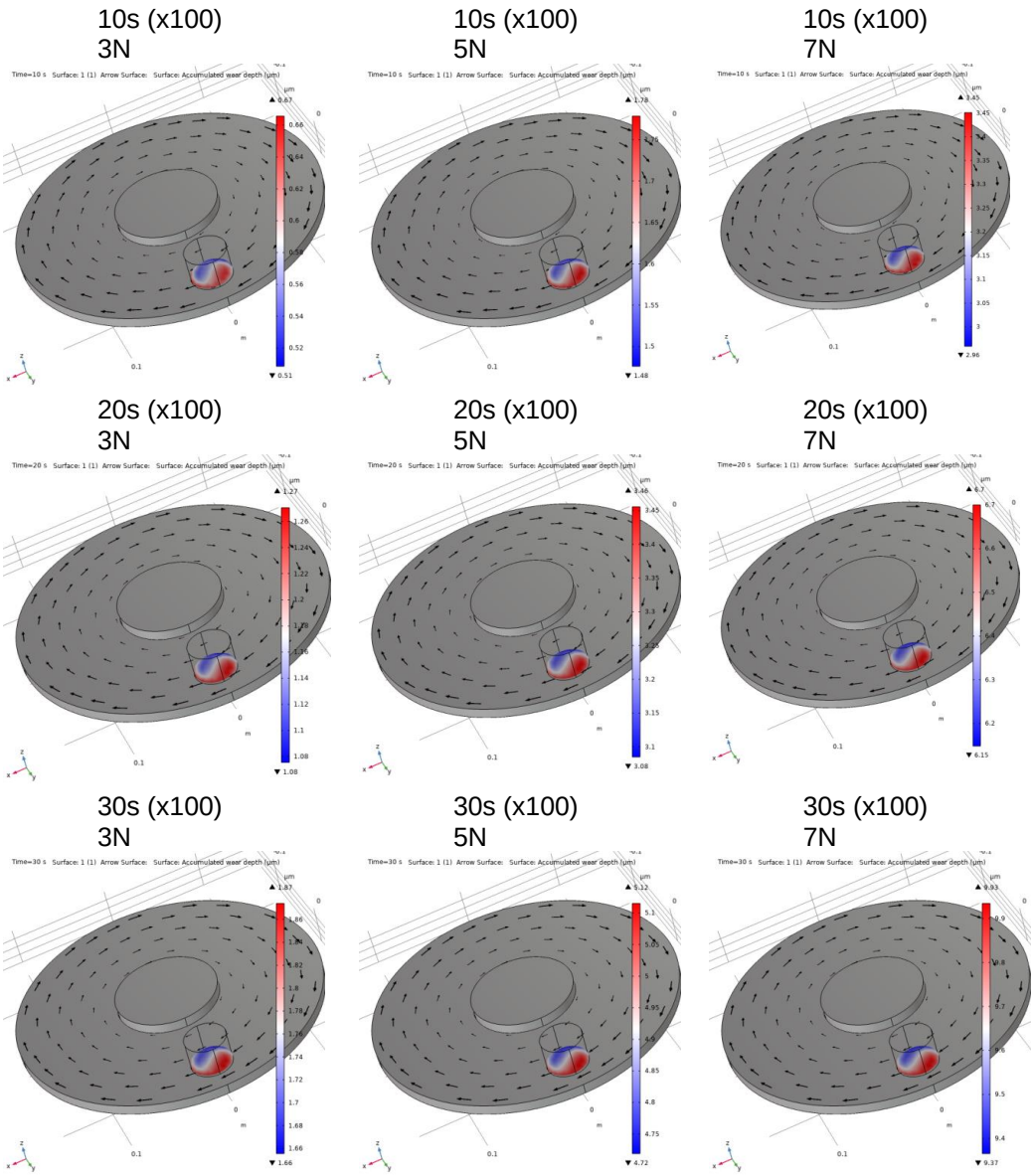


Рис. 3. Результаты зависимости величин износа эластомерного образца от нагрузки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Присс Л.С. Физика упругости резины. Теория высокоэластичности. – М.: НТЦ «НИИШП». 2010. 365 с.

2. Chateauminois A., Acito V., Ciavarella M. and Prevost A.M. Adhesive Contact of Model Randomly Rough Rubber Surfaces // Tribology Letters, 2019. 67 (54). pp. 1 – 10.

3. Шилов М.А., Маслов Л.Б., Королев П.В. Исследование износостойкости наноструктурированных эластомеров, используемых в пневматических шинах в качестве протекторов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2018. Т. 18. № 1. С. 73 – 78.

4. Королёв П.В., Королева С.В., Шилов М.А. Программный комплекс «Model of sliding rubber» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU, 2022680449, от 2022667918. Заявка № 2022667918 от 30.09.2022.

УДК 621

Р. М. Маматказин, В. В. Киселев
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИСАДОК, УЛУЧШАЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ И СМАЗОК

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос целесообразности и технико-экономической эффективности улучшения свойств смазочных материалов, применяемых при техническом обслуживании двигателей пожарной автотранспортной техники. Приводятся некоторые триботехнические показатели моторных масел, модифицированных металлсодержащими присадками. Обосновывается необходимость постоянного улучшения эксплуатационных свойств смазочных материалов.

Ключевые слова: двигатель, моторное масло, смазочный материал, металлсодержащая присадка, момент трения, интенсивность износа.

R. M. Mamatkazin, V. V. Kiselev

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE USE OF ADDITIVES THAT IMPROVE THE PERFORMANCE PROPERTIES OF OILS AND LUBRICANTS

Abstracts: The article considers the issue of expediency and technical and economic efficiency of improving the properties of lubricants used in the maintenance of engines of fire trucks. Some tribotechnical indicators of motor oils modified with metal-containing additives are given. The necessity of continuous improvement of the operational properties of lubricants is justified.

Keywords: engine, engine oil, lubricant, metal-containing additive, friction moment, wear intensity.

При организации технически правильной, длительной и безотказной эксплуатации пожарной автотранспортной техники необходимо уделять постоянное внимание вопросам грамотного применения автомобильных эксплуатационных материалов. Самый совершенный по конструкции автомобиль будет показывать низкие эксплуатационные качества и может быстро выйти из строя при использовании несоответствующих или некачественных смазочных материалов и других технических специальных жидкостей.

После создания Д.И. Менделеевым научных основ производства смазочных нефтяных масел, которые положили начало развитию отечественного масляного производства, возникла необходимость улучшения качества масел. Возможность производить качественные смазочные материалы появилась после исследования русским учёным Н.П. Петровым вопросов трения и роли смазочных материалов. Он разработал гидродинамическую теорию смазки и чётко сформулировал требования к смазочным материалам. Руководствуясь этими требованиями, химики обосновали технологии получения различных масел и смазок.

© Маматказин Р. М., Киселев В. В., 2023

Дальнейшее развитие и техническое усложнение техники потребовало улучшение свойств смазочных материалов. Эффективным методом этого стало новое направление, которое заключалось в модификации масел способом добавления в их состав органических и неорганических соединений, для улучшения определенных свойств масел. Эти соединения получили название − «присадки». Присадки призваны улучшить эксплуатационные свойства базовых масел и смазок. К таким свойствам относят:

– вязкостно-температурные;
– моющие;
– противоизносные;
– антикоррозионные;
– антифрикционные и др.;

Особое внимание в части касающейся эксплуатации пожарной автотранспортной техники следует уделять двигателю, который кроме транспортного режима работает также на привод вспомогательных агрегатов. С каждой новой моделью двигателя мы можем наблюдать повышение их эффективности и производительности. Следовательно, моторное масло также должно работать на все более и более высоком уровне. Тенденции современного двигателестроения в автопроме очевидны: большая экономичность, большая мощность с единицы объема, большая экологичность. Поэтому разработка новых высокоэффективных присадок, повышающих эффективность агрегатов, занимает сейчас большую часть времени химиков и инженеров, трудящихся в компаниях по производству смазочных материалов и присадок.

Наиболее эффективным на сегодняшний день способом снижения трения и износа деталей является использование гидродинамического режима смазки или «жидкостное трение», при котором износ деталей практически отсутствует. Однако данный режим имеет ряд ограничений в применении, зависящих от вида смазочного материала и материалов сопрягаемых деталей. Слой смазки между трущимися поверхностями будет подчиняться законам гидродинамики ламинарного движения жидкости, и в первую очередь уравнению Ньютона.

Установлено, что в процессе работы узла между деталями помимо тонкой пленки смазки может самопроизвольно образовываться и металлическая пленка толщиной ~1 мкм. Такой вид трения называют «эффектом безызносности» или «безызносным трением». Износ деталей при «безызносном трении» может полностью отсутствовать. Устойчивость к нагрузкам при этом увеличивается, причем материалы деталей не соприкасаются между собой – они разделены тонкой металлической, так называемой, сервовитной пленкой. Она обладает низким сопротивлением сдвигу и не способной накапливать при деформации дислокации. На пленке, образуя с ней химическую связь, может происходить образование координационных соединений из продуктов механической деструкции углеводородов смазки, создавая дополнительный антифрикционный слой.

В результате трение из разрушительного процесса при граничной смазке при «безызносном трении» превращается в созидательный и является самоорганизующимся процессом. При трении в режиме безызносности материал одной детали отделен от материала сопряженной детали металлическим слоем – сервовитной пленкой. На ней находится серфинг – пленка (металлоорганическая пленка). Такое строение поверхностей трения аналогично строению поверхностей трения суставов живых организмов.

В настоящее время разработаны теоретические основы создания к смазочным материалам маслорастворимых добавок с использованием металлов переменной валентности, обеспечивающих реализацию в узлах трения эффекта безызносности. Разработаны и испытаны ряд металлсодержащих присадок, реализующих избирательный перенос. Это присадки, содержащие соли мягких металлов: меди, олова, кобальта, молибдена. Испытания показали, что разработанные присадки хорошо растворимы в масле и смазке, причем металлы в смазках находятся в виде ионов и не задерживаются фильтрами. Такие материалы способны проходить любые фильтрующие системы и быть стабильными во времени. Оценивание триботехнических свойств разрабатываемых присадок проводилось на основе проводимых триботехнических испытаний – зависимости момента трения от давления в пятне контакта и зависимость интенсивности изнашивания от приложенной нагрузки при установленном пробеге трущейся пары. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения, стойкость материалов к изнашиванию в различных средах и позволяют выявить ресурс и срок службы узлов трения двигателей пожарных автомобилей.

Выполненные исследования разработанных металлсодержащих присадок, способных реализовывать избирательный перенос при трении, показали, что их введение в базовые моторные масла приводит к улучшению триботехнических свойств, в частности к уменьшению коэффициента трения до 2,5 раз, интенсивности износа трущихся поверхностей до 10 раз, увеличению нагрузочной способности контактирующей пары трения до 80 %, снижение температуры узла до 25-50 %.

Внедрение металлоплакирующих присадок в базовые смазочные материалы, применяемых в двигателях пожарных автомобилей, позволит достигать значительных экономических показателей:

– сократить энергопотребление и расходы на топливо;
– увеличить ресурс работы трущихся деталей пожарных автомобилей;
– снизить вероятность аварийных разрушений оборудования;
– сократить трудозатраты на внеплановые ремонты;
– сократить расход смазочных материалов.

Варьирование состава базовых компонентов присадок, входящих в состав смазочных композиций, может позволить достигать выполнения разнообразных требований к ним со стороны машиностроителей, сформировать широкий ассортимент смазочных материалов с дифференцированными свойствами для решения многообразных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1999. 336 с.

2. Дюмаева, И.В. Становление и развитие производства присадок к смазочным маслам: специальность 02.00.13, 07.00.10: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дюмаева Ирина Владимировна. Уфа, 1999. 131 с.

3. Терентьев В.В., Акопова О.Б., Баусов А.М., Герасимов А.И., Телегин И.А. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 53 – 56.

4. Киселев В.В., Жуков Ю.А. Повышение износостойкости деталей трансмиссий пожарных автомобилей за счет применения высокоэффективных смазочных ма-

териалов // В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охране России, 2019. С. 147 – 149.

5. Киселев В.В. К проблеме улучшения триботехнических свойств смазочных материалов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология, 2006. Т.49. № 12. С. 113 – 114.

6. Мельников В.Г., Замятина Н.И., Киселев В.В., Бельцова Е.А. Смазочная композиция // Патент на изобретение RU 2233866 C1, 10.08.2004. Заявка № 2002135854/04 от 31.12.2002.

УДК 621.1

О. М. Муравьева, А. М. Филатов, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация: В работе представлены функциональные действия СОТС и методика повышения производительности обработки.

Ключевые слова: СОТС (Смазочно-охлаждающее технологическое средство), СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость), подача.

O. M. Muravyova, A. M. Filatov, I. I. Vedernikova

APPLICATION OF LUBRICANT-COOLING PRODUCTS IN THE PROCESSING OF PARTS

Abstracts: The paper presents the functional actions of COTS and the methodology improve processing performance.

Keywords: COTS (Lubricating and Cooling Technological Agent), SOZH (Lubricating and Cooling Liquid), supply.

СОТС в процессе резания может производить смазывающее, охлаждающее, диспергирующее и моющее действия. В большинстве случаев высокие эксплуатационные характеристики охлаждающей жидкости определяются ее смазывающим и охлаждающим эффектом.

СОЖ проявляет действие смазывания в местах, где соприкасаются резцы и стружки, а также резцы и заготовки. Оно способно образовывать с поверхностями контактной области физическим, химическим и физико-химическим образом, формируя различное смазочное покрытие. В случаях при резании металлов гидродинамическими смазочными пленками, образующийся слой жидкости может быть несколько микрон и больше. В данном случае толщина физических и химических пленок может

© Муравьева О. М., Филатов А. М., Ведерникова И. И., 2023

колебаться от десятков до сотен ангстрем, а вязкость жидкости должна быть оптимальной.

При резании основная часть механической энергии преобразуется в теплоту. Охлаждающее действие СОЖ основано на законах теплообмена. При нагреве до высоких температур режущий инструмент, заготовка и стружка отдают часть тепла смазочно-охлаждающей жидкости. Кроме того, отвод тепла при резании может происходить за счет лучистого теплообмена и испарением жидкости. Наиболее сильное влияние на теплообмен оказывают вязкость, теплопроводность, теплоемкость, плотность и смачиваемость теплоносителя, а также разность температур охлаждаемой поверхности и потока жидкости.

В процессе резания инструмент подвергается наибольшему воздействию высокой температуры. В ходе исследования было установлено, что использование смазочно-охлаждающей жидкости не препятствует возникновению высоких температур в инструменте. Однако действие охлаждающей жидкости значительно уменьшает зону нагрева инструмента. В этом случае подача эмульсии под давлением на вспомогательную заднюю поверхность орудия более эффективна, чем выливание ее свободнопадающей струей на переднюю поверхность орудия. Для некоторых металлорежущих операций охлаждающий эффект СОЖ повышается за счет подачи жидкости в распыленном состоянии, под давлением или через внутренние каналы в инструменте по сравнению с подачей СОЖ струей свободного падения. Недостатком этого действия является значительное колебание температуры режущей части фрезы и снижение ее долговечности.

Интенсивное охлаждение поверхности заготовки приводит к возникновению в металле внутренних растягивающих напряжений, что ухудшает эксплуатационные свойства изделия.

Под диспергирующим действием СОЖ подразумевается его способность способствовать деформации, разрушению и дроблению металла, то есть создавать эффект, который будет способствовать формированию новой поверхности. В присутствии ПАВ облегчается образование и распространение микротрещин в металле. Это создает дополнительные разделительные давления в наиболее узких местах микротрещин, обусловленные адсорбционными слоями, которые приводят к «охрупчиванию» металла и его разрушению. Известно, что хрупкость металла может увеличиваться в результате диффузии атомов и ионов теплоносителя в пластичные слои. В результате этого процесса металл в зоне деформации быстро достигает своей конечной прочности с меньшимиэнергозатратами и разрушается.

В процессе резки металла образуется стружка и шлак, состоящий из мелкой стружки, частиц износа инструментов и трущихся деталей машин, окалины, пыли и других грязных включений. Накопление частиц шлака приводит к сокращению стойкости инструмента и ухудшению качества обрабатываемой поверхности. Поэтому СОЖ должны удалять, а также удалять крупную стружку или металлическую стружку, препятствовать образованию лакообразных отложений и нагара на поверхностях изделия и инструмента, нагретых до высоких температур.

Моющее действие СОЖ представляет собой очистку поверхностей обрабатываемой заготовки, инструмента и деталей станка от шлака. Смыв и удаление крупной стружки или продуктов шлифования, накапливающихся в зоне резания, является одной из важных функций СОЖ. Эффективность смывающего действия СОЖ повышается с введением в ее состав моющих веществ.

Есть четыре основных способа подачи СОЖ:

- режим полива (свободно падающая струя);
- напорной струёй;
- распылением;
- по каналам, находящимся в режущем инструменте.

Режим полива используется чаще всего – он самый простой и экономный. Здесь СОЖ просто стекает вниз из патрубков под действием силы тяжести. Давление в этом случае составляет 0.03–0.1 Мпа.

Подача СОЖ напорной струёй (рис. 1) применяется, когда необходимо доставить жидкость в труднодоступные места, например, при сверлении глубоких отверстий. Давление обычно устанавливается на уровне 0.1-2.5 МПа. В отдельных случаях оно может достигать 10 МПа.

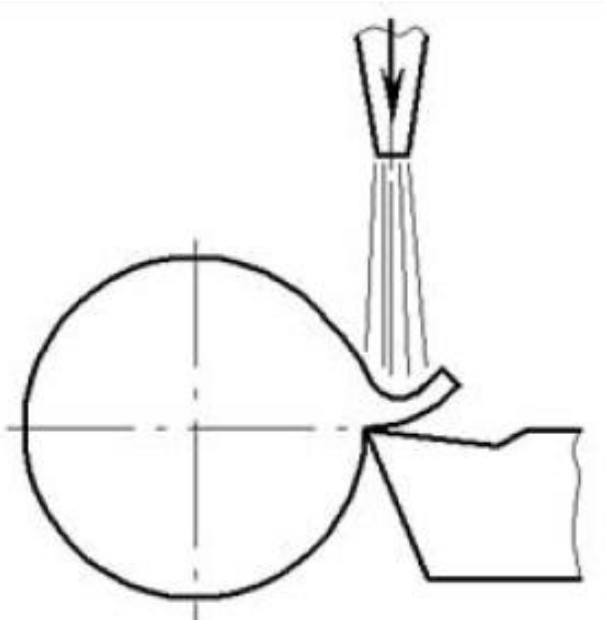


Рис. 1. Эскиз подачи СОЖ напорной струей

По возможности следует избегать чрезмерного давления. Он имеет ряд недостатков:

- сложность достижения необходимого направления струи;
- риск засорения форсунок;
- необходимость установки специальной насосной станции;
- избыток распыляемой жидкости жидкость.

Напорная струя может подаваться двумя способами: непосредственно в зону обработки или через специальные каналы, расположенные в теле устройства. Скорость струи может достигать 40–60 метров в секунду. Для экономии жидкости и уменьшения разбрызгивания, рекомендуется разветвлять поток смазочно-охлаждающей жидкости: одну часть потока направлять тонкой напорной струёй, а вторую – свободным орошением.

Преимущество подачи СОЖ способом распыления (рис. 2) в том, что химическая и физическая активность аэрозольных СОЖ выше. Кроме того, способ распыления считается экономным: при нём требуется гораздо меньшее количество жидкости.

Метод распыления подходит для работы с агрегатными машинами, автоматическими линиями и ЧПУ. Недостатком является то, что от разбрызгивания жирной смазочной жидкости рабочее помещение быстро заполняется парами масла. Необходимо частое проветривание.

Подача СОЖ по каналам в теле инструмента (рис. 3) подходит не для всех инструментов. Подача СОЖ по встроенным каналам распространена при работе с глубокими отверстиями. Нанесение жидкости происходит с помощью специальных патронов и маслоприёмников.

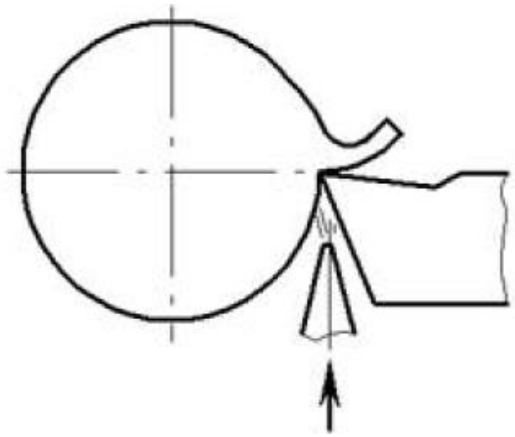


Рис. 2. Эскиз подачи СОЖ способом распыления

Рис. 3 Эскиз подачи СОЖ по каналам в теле инструмента

Перед розливом жидкость полностью очищают от металлических частиц с помощью фильтров. Этот метод эффективен при работе с твердыми сплавами, вязкими цветными смесями, пластмассами.

Импульсный способ подачи СОЖ не относится к основным, так как редко используется на практике. Однако импульсная или ударная подача теплоносителя имеет ряд существенных преимуществ. Здесь СОЖ подается не сплошным потоком, а отдельными порциями. Принцип импульсной подачи более эффективен. Кроме того, при использовании этого метода дробление и удаление стружки намного эффективнее, чем в случае обычной подачи СОЖ напорной струей.

УДК 621.1

В. А. Муратов, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ИНСТРУМЕНТА

Аннотация: Объектом исследования являются проблемы использования смазочно-охлаждающих жидкостей с подачей их минимального количества.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, смазка, твердое точение, твердый сплав.

V. A. Muratov, I. I. Vedernikova

APPLICATION OF LUBRICANT-COOLING PRODUCTS IN THE PROCESSING OF PARTS

Abstracts: The object of the study is the problems of using lubricants with the supply of their minimum amount.

Keywords: coolant, lubricant, solid turning, hard alloy.

Твердая обработка – это процесс обработки материалов с твердостью 45–50 HRC. Материалом, обычно используемым для обработки твердых материалов, является сталь, прошедшая термическую обработку. В промышленном мире твердая механическая обработка обычно применяется для производства различных изделий, включая оси, шестерни и элементы машин, требующих высокого уровня точности изготовления и небольшой шероховатости поверхности.

Применение твердого точения также сокращает время обработки. Это связано с тем, что в процессе твердой обработки скорость резания относительно выше по сравнению с обычной обработкой. При твердой обработке возникают некоторые проблемы, потому что жесткая обработка – это не только точение заготовки, но и точность, и качество, и затраты на обработку, которые зависят от срока службы инструмента.

В процессе длительной работы инструмента способность к механической обработке будет уменьшаться вместе с увеличением нагрузки на заготовку, а износ инструмента также будет увеличиваться вместе с длительностью механической обработки [1]. Большим преимуществом жесткой обработки является сухая среда, поскольку в процессе резания не используется смазочно-охлаждающая жидкость [2].

Важность твердосплавной обработки с использованием твердых сплавов с экономической точки зрения заключается в себестоимости производства твердосплавной обработки с использованием металлокерамики менее чем в два раза по сравнению с твердой обработкой твердосплавным режущим инструментом. Таким образом, ожидается, что титан на основе кермета (C, N) будет применяться при обработке твердых сплавов из-за его превосходных свойств и преимущества по стоимости [3].

Качество резания инструмента оценивали с помощью принудительного резания, стойкости инструмента и шероховатости поверхности заготовки. По исследова-

© Муратов В. А., Ведерникова И. И., 2023

ниям Кедаре и др. видно, что в результате правильного процесса обработки при относительно высокой скорости подачи твердая обработка может производить либо то же самое, что и обработка с применением смазочно-охлаждающих технологических средств, либо более качественную обработку поверхности со значительно высокой скоростью съема материала [4]. Исследования показывают, что, используя комбинацию радиуса инструмента, правильной скорости подачи и новой конструкции пластин инструмента, процесс твердого точения может обеспечить лучшее качество поверхности по сравнению со шлифованием. При проведении исследования способности металлокерамического режущего инструмента с покрытием TiN для высокоскоростных станков по нержавеющей стали получены удовлетворительные результаты использования металлокерамического режущего инструмента при обработке с низкими значениями подачи, глубины резания и скорости резания. Рекомендуется поддерживать скорость резания ниже 300 м/мин, скорость подачи ниже 0,2 мм/об и глубину резания ниже 0,3 мм, чтобы обеспечить удовлетворительную стойкость инструмента.

Использование метода минимального количества смазки (MQL) в механической обработке позволило уменьшить проблемы, связанные с сухой обработкой. MQL становится все более популярным в связи с экологической безопасностью. Кроме того, метод MQL не только обеспечивает экономическую выгоду за счет экономии затрат на смазочные материалы, но также обеспечивает лучшие возможности двигателя, а также предоставляет услуги, в первую очередь за счет снижения температуры резания, что увеличивает взаимодействие инструмента со стружкой [3].

В экспериментальном исследовании использовались различные типы смазочно-охлаждающих жидкостей, такие как минеральные масла и синтетические химикаты, в качестве смазочных материалов MQL. Многие экологически безопасные типы смазочных материалов привели к исследованию замены минеральных масел синтетическими смазочно- охлаждающими жидкостями и растительными маслами. Многие исследовательские группы также предлагают добавки в виде наночастиц, которые обладают отличной способностью поглощать тепло. В противном случае наночастицы могут легко впитаться в организм человека при контакте с кожей. Следовательно, их использование может быть опасным и может подвергнуть оператора опасности отравления и проблем с дыханием, а также экологических проблем. Помимо масла, с процессом сухого резания сравниваются воздухоохладители высокого давления, струйное распыление холодного воздуха и паровые системы смазки. При этом компоненты открытых частей двигателя ржавеют, а коррозия является серьезным недостатком этого метода. Система на основе газа также привлекла должное внимание исследователей, исследующих холодный сжатый воздух, полученный путем разделения трубок, криогенный сжатый воздух, охлаждаемый жидким азотом, комбинацию компактных воздушных струй смазочного масла. Значения шероховатости заготовки, полученные в условиях сухой обработки, очень высоки по сравнению с обработкой с помощью MQL. Также максимальное снижение шероховатости методом MQL составляет 59 % [4].

MQL для сухой обработки – это технология, разработанная с упором на функциональное применение смазки. Минимальное количество смазки (MQL) помогает получить преимущества смазочно-охлаждающей жидкости, исключающее вредное воздействие смазочно-охлаждающей жидкости. Этот метод предполагает использование минимального количества смазочно-охлаждающей жидкости с типичным расходом 50-500 мл/ч, которая подается непосредственно в зону резания, что позволяет из-

бежать необходимости сброса жидкости, как это происходит при струйном охлаждении [5].

В MQL используется гораздо меньшее количество смазочно-охлаждающей жидкости. Это явление обычно называют почти сухой машиной, «микросмазкой» или «смазкой разбрызгиванием». Эта система состоит из распылителей, резервуаров для смазочно-охлаждающей жидкости, сливных форсунок и т. д. Распылитель работает как эжектор с воздухом под высоким давлением, используемым для распыления охлаждающей жидкости. Затем распыленная охлаждающая жидкость направляется в зону обработки воздухом по системе распределения низкого давления. Благодаря эффекту Вентури в смесительной камере частичный вакуум всасывает смазочно-охлаждающую жидкость из масляного поддона, где поддерживается постоянная гидравлическая нагрузка. Воздух проходит через смешивание охлаждающего потока распылительной камеры с аэрозолями микронного размера. Так как аэрозоль распыляется в зоне резания в условиях, когда начинается высокая скорость износа инструмента, возникает распылитель, который выполняет функцию охладителя или смазки и глубоко проникает в зону контакта рабочего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Das RK, Sahoo AK, Mishra PC, Kumar R, and Panda A 2018 Procedia Manufacturing 20,377.

2. Heisel U, Lutz M, Dieter S,Wassmer RA, and Walter U 1994 Production technology II.

3. Dhar N.R., Ahmed M.T. and Islam S., 2007, International Journal of Machine Tool and Manufacturing, 47,748.

4. Bashir M.A., Mia M. and Dhar N.R. Journal of Mechanical Engineering, 2016.

5. Ali S.M., Dhar N.R. and Day S.K., 2011 Advances in the field production and management technologies.

УДК 621.941

А. Г. Наумов, С. А. Сырбу, Н. А. Таратанов, А. С. Митрофанов
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ВЛИЯНИЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТАЛИ Р6М5

Аннотация: методом коацервации были получены магниточувствительные озонсодержащие микрокапсулы с желатиновыми оболочками различного состава. Исследования влияния микрокапсул в составе смазочно-охлаждающих технологических средств на износостойкость быстрорежущего инструмента из стали Р6М5 проводились на операции точения нержавеющей стали 12Х18Н10Ти хромистой стали 40Х. Установлено, что минимальный износ инструмента происходит при применении 4%-ной водной эмульсии микрокапсул с жела-

© Наумов А. Г., Сырбу С. А., Таратанов Н. А., Митрофанов А. С., 2023

тиновыми оболочками с магнетитом и озонировнной водой в ядре в качестве смазочно-охлаждающего технологического средства.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические средства, желатиновые микрокапсулы, озон, магнетит, точение, износ резцов.

A. G. Naumov, S. A. Syrbu, N. A. Taratanov, A. S. Mitrofanov

INFLUENCE OF MICRO-CAPSULATED LUBRICANT-COOLING PRODUCTS ON THE WEAR RESISTANCE OF CUTTING TOOLS FROM STEEL R6M5

Abstracts: Magnetically sensitive ozone-containing microcapsules with gelatin shells of various compositions were obtained by the coacervation method. Studies of the effect of microcapsules in the composition of lubricating-cooling technological agents on the wear resistance of a high-speed tool made of R6M5 steel were carried out in the operation of turning stainless steel 12X18H10Ti and chromium steel 40X. It has been established that the minimum wear of the tool occurs when using a 4% aqueous emulsion of microcapsules with gelatin shells with magnetite and ozonized water in the core as a lubricating and cooling technological agent.

Keywords: lubricating and cooling technological means, gelatin microcapsules, ozone, magnetite, turning, cutter wear.

Металлические детали машин, приборов и других изделий получают отливкой металла в формы, обработкой металла давлением (прокатка, ковка, штамповка), использованием лазерных лучей, плазмы, электрохимической и электрофизической обработкой, а также обработкой резанием. В настоящее время доля обработки металлов резанием в машиностроении составляет около 35% и, следовательно, оказывает решающее значение на темпы развития машиностроения. В связи с этим заметно возрастает роль режущего инструмента, в значительной степени определяющего производительность и экономичность производства.

Быстрорежущие стали являются одними из самых распространенных инструментальных материалов. Из них в настоящее время изготавливают более половины металлорежущих инструментов. Это обусловлено их соответствием основным требованиям, предъявляемым к инструментальным материалам, а именно высокими значениями твердости, теплостойкости, ударной вязкости, прочности при минимальной затрате легирующих компонентов.

С появлением новых труднообрабатываемых материалов появилась необходимость в увеличении стойкости быстрорежущего инструмента и повышения качества обработанной поверхности. Основными способами увеличения стойкости быстрорежущего инструмента являются упрочнение его с помощью химико-термической обработки, а также применение различных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Проблеме создания новых эффективных СОТС, исследованию их влияния на эффективность обработки металлов резанием, выявлению физико-химических аспектов их влияния на процессы контактного взаимодействия посвящены работы В.Н. Латышева, Т.Н. Лоладзе, М.И Клушина, Н.Н. Зорева, М.Б. Гордона и др.

Таким образом, дальнейшее развитие металлообрабатывающей промышленности тесно связано с разработкой новых высокоэффективных СОТС, так как опыт передовых машиностроительных заводов показывает, что эффективные СОТС позволяют в 1,2–4 раза повысить стойкость инструмента, на 20–60% форсировать режимы резания, уменьшить энергозатраты при механообработке. При правильном выборе со-

става и концентрации компонентов, входящих в состав СОТС, можно увеличить стойкость режущего инструмента от 2 до 6 раз [1].

Следует отметить, что современные требования экологической безопасности, заключающиеся в защите окружающей среды и станочников от техногенных воздействий выдвигают на первое место повышение экологической безопасности СОТС, посредством применения новых способов подачи СОТС в зону контакта, исключения из состава СОТС вредных компонентов с заменой их безвредными веществами сходного действия, создания новых экологически чистых и невредных для здоровья человека СОТС.

Существующие методы подачи СОТС, а именно полив зоны резания свободно падающей струей, использование различных туманов, аэрозолей, пара требуют дальнейшего совершенствования. Физические и химические процессы, протекающие в зоне контакта при резании металлов, изучение механизмов действия СОТС показывают, что для эффективного её действия требуются микродозы смазочного материала. Высокую эффективность показал способ подачи СОТС в виде микрокапсул, что подтверждено группой российских ученых под руководством профессора В.Н. Латышева, а также американскими и японскими исследователями. Наряду с этим работами В.Н. Латышева, Ю.М. Виноградова, П.В. Тимофеева и др. показано, что одним из элементов, обладающим, с одной стороны, высокими трибологическими свойствами, а с другой стороны, полностью отвечающим требованиям экологической безопасности, является кислород.

Поэтому создание новых микрокапсулированных СОТС, основным трибологическим компонентом которых является кислород и соединения на его основе, применение которых позволяет улучшить характеристики процесса резания, является актуальной задачей.

Для получения микрокапсул использовался метод простой коацервации. Для создания оболочек СОТС использовался фотожелатин марки «А». Для насыщения микрокапсул кислородом и соединениями на его основе на первой и второй стадии процесса микрокапсулирования исходный раствор подвергался действию озонированного кислорода. Концентрация озона составляла 2 %. Для сохранения продуктов распада озона в состав микрокапсул на первой стадии вводился порошок активированного угля, являющегося сильным адсорбентом, в количестве 50 % от веса желатина. Магнитная чувствительность придавалась микрокапсулам путем введения магнетита в их оболочку.

Исследования влияния озонированных микрокапсул в составе смазочно-охлаждающих технологических средств на работоспособность быстрорежущего инструмента проводились на операции точения.

При точении в качестве обрабатываемых материалов использовались нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, хромистая сталь 40Х, а в качестве материала режущего инструмента – сталь Р6М5. Режимы резания выбирались согласно рекомендациям работ [2]. Для изучения динамики износа режущего инструмента испытания проводились до начала катастрофического износа резцов. За критерий начала катастрофического износа было принято значение ширины площадки износа на задней поверхности резца, равное 0.6 мм согласно методике работы [3]. Износ резцов контролировался с помощью микроскопа МПБ-2.

Весь применяемый быстрорежущий инструмент предварительно был подвергнут стандартной термической обработке (закалке и многократному отпуску).

В качестве режущего инструмента применялись упорно-проходные резцы из быстрорежущей стали Р6М5. Для предотвращения структурных изменений в быстрорежущей стали при заточке, согласно рекомендациям работы [4], затачивание велось с поливом инструментальным маслом И-12А. Исследования при точении проводились на токарно-винторезном станке модели 16К20.

В табл. 1 и 2 приведены результатов испытаний стойкости резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т при v=0.48 м/с, s=0.1 мм/об, t=0.5 мм и хромистой стали 40Х при v=1.00 м/с, s=0.1 мм/об, t=0.5 мм соответственно, где v – скорость резания, s – подача, t – глубина резания.

Таблица 1. **Результаты испытаний стойкости резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т (v=0.48 м/с, s=0.1 мм/об, t=0.5 мм)**

№ п/п	Период стойкости резцов, мин.					Период стойкости резцов, мин.				
	Воздух	Вода	МР-4	Аквол-6		КО	КМ	КМО	МК	ММК
1	8,2	9,5	13,5	14,3	1%	8,7	9,8	12,1	10,8	11,4
2					2%	10,5	11,5	11,5	10,1	12,3
3					4%	15,1	13,5	17,1	12,5	21,5
4					8%	14,1	12,1	15,3	11,2	18,2

Таблица 2. **Результаты испытаний стойкости резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении стали 40Х (v=1.00 м/с, s=0.1 мм/об, t=0.5 мм)**

№ п/п	Период стойкости резцов, мин.					Период стойкости резцов, мин.					
	Воздух	Вода	МР-4	Аквол-6		К	КО	КМ	КМО	МК	ММК
1	3,0	4,4	7,5	5,2	1%	4,0	5,0	4,9	5,9	6,0	6,7
2					2%	4,5	5,5	5,2	6,3	6,7	7,1
3					4%	4,4	6,3	6,3	7,7	7,8	10,1
4					8%	-	5,7	5,6	6,8	7,1	8,8

В табл. 1 и 2 представлены экспериментальные данные, полученные при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т и хромистой стали 40Х с использованием масляных и водорастворимых смазочно-охлаждающих жидкостей (МР-4 и Аквол-6 соответственно), принятых за эталонные вещества, точении всухую и с использованием дистиллированной воды, а также с использованием нескольких видов микрокапсул в воде в различных концентрациях, а именно капсул с желатиновыми оболочками без ядра (К), микрокапсул с желатиновыми оболочками с магнетитом (КМ), микрокапсул с желатиновыми оболочками и озонированной водой в ядре (МК) (озонированная вода ядра микрокапсулы адсорбировалась активированным углем), микрокапсул с желатиновыми оболочками, обработанными озоном (КО), микрокапсул с желатиновыми оболочками с магнетитом, обработанными озоном (КМО) и микрокапсул с желатиновыми оболочками с магнетитом и озонированной водой в ядре (ММК).

Как показывает анализ табл. 1 и 2, при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т и стали 40Х применение микрокапсул позволяет повысить износостойкость резца по сравнению с классическими смазочно-охлаждающими технологическими средствами. Так, в случае применение КМО при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т стойкость режущего инструмента повысилась в 1.3 раза по сравнению с 15%-ной водной эмульсией Аквола-6 и в 1.3 раза по сравнению с МР4, а при точении стали 40Х в

1.5 раза по сравнению с 15%-ной водной эмульсией Аквола-6 и в 1.1 раза по сравнению с МР4. При использовании ММК в 1.6 раза для 12Х18Н10Т и в 1.8 раза для 40Х по сравнению с 15%-ной водной эмульсией Аквола-6, в 1.4 раза при точении 12Х18Н10Т и 1.2 раза при точении 40Х по сравнению с МР4. Наилучшая стойкость при точении обоих материалов наблюдалась в случаях применения 4%-ной эмульсии микрокапсул в воде.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что использование водных эмульсий микрокапсул с желатиновыми оболочками с магнетитом и озонированной водой в ядре в качестве смазочно-охлаждающих технологических средств наиболее эффективно снижает процесс изнашивания резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т и стали 40Х по сравнению с масляной (МР-4) и водорастворимой (Аквол-6) смазочно-охлаждающими жидкостями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. Справочник / Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. М.: Машиностроение. 1995. 496 с.

2. Гуревич Я.Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. М.: Машиностроение. 1986. 180 с.

3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение. 1982. 320 с.

4. Латышев В.Н., Наумов А.Г. О смазочном и химическом действии внешней среды при резании // Трение и износ. 2001. Т. 22 (3). С. 342 – 348.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ, грант № 23-29-00288.

УДК 621.7

А. А. Пьянов
Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт- Петербургского университета ГПС МЧС России

УПРОЧНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Аннотация: Работа посвящена исследованию микротвердости изготовленных резьбовых изделий из алюминиевого деформируемого сплава методом холодного прямого прессования при помощи стальной пресс-формы.

Ключевые слова: холодное прессование, пресс-форма, резьбовое изделие, холодная деформация, деформационное упрочнение, микротвердость.

A. A. Pyanov

HARDENING OF MICROHARDNESS OF THREADED PARTS BY DIRECT COLD PRESSING

Abstracts: the work is devoted to the study of microhardness of manufactured threaded products from aluminum deformable alloy by cold direct pressing using a steel mold.

Keywords: cold pressing, mold, threaded product, cold deformation, deformation hardening, microhardness.

Многие детали работают в условиях повышенного износа поверхности. Поэтому есть необходимость эту поверхность как-то защитить. Это достигается методами поверхностного упрочнения.

Упрочнить поверхность – значит повысить свойства поверхности: твердость, износостойкость, коррозионную стойкость. Если надо изменить свойства, то это значит, что должна измениться структура поверхностного слоя. Для изменения структуры можно использовать деформацию, термическую обработку с нагревом различными способами, изменение химического состава поверхности, нанесение защитных слоев.

В основном методы упрочнения поверхностей можно разбить на две основные группы:

1) упрочнение изделия без изменения химического состава поверхности, но с изменением структуры. Упрочнение достигается поверхностной закалкой, поверхностным пластическим деформированием и другими методами.

2) упрочнение изделия с изменением химического состава поверхностного слоя и его структуры. Упрочнение осуществляется различными методами химико-термической обработки и нанесением защитных слоев.

В статье рассмотрен метод холодной деформации. Процесс холодной деформации сопровождается упрочнением поверхностного слоя, например, при холодной листовой прокатке, поверхностный слой листа имеет более мелкую структура зерна по

© Пьянов А. А., 2023

сравнению с сердцевиной листа. Следствие этого поверхностный слой имеет большую твердость и износостойкость по сравнению с сердцевиной. Поверхностный слой имеет более мелкую структура, потому что данный слой на прямую контактирует с очагом деформации, т.е. с инструментом, например, с формообразующей поверхностью штампа, валков или волоки.

Так и при изготовлении резьбовых изделий методом холодного прямого прессования сопровождается упрочнением поверхностного слоя в процессе воздействия пуансона и матрицы на изделие при прессовании. Измерение микротвердости проводилось на резьбовом изделии из алюминиевого сплава, представленном на рис. 1. Изделие имеет цилиндрическую форму, для удобства и качественно измерения микротвердости упрочненного слоя, его следует залить эпоксидным клеем. Обычно эпоксидным клеем изделия заливаются в форму и дают затвердеть, рис. 2.

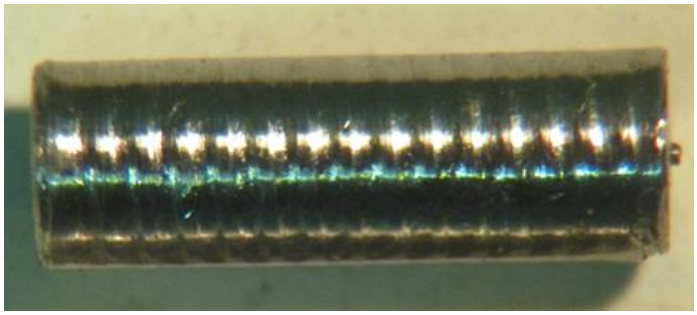


Рис. 1. Резьбовое изделие – шпилька М4

Рис. 2. Залитые эпоксидным клеем образцы из алюминиевого сплава

После того как клей затвердеет, приступают к шлифованию образца. Шлифование проводят на абразивной бумаге постепенно уменьшая размер зерна абразива. Для чистового полирования используют абразивную бумагу Р3000, Р5000 и войлочный круг с нанесённой пастой ГОИ. Образец полируются до зеркального блеска. Это требуется для качественного измерения микротвердости.

Схема по которой производится измерение микротвердости упрочненного слоя резьбового изделия, представлено на рис. 3.

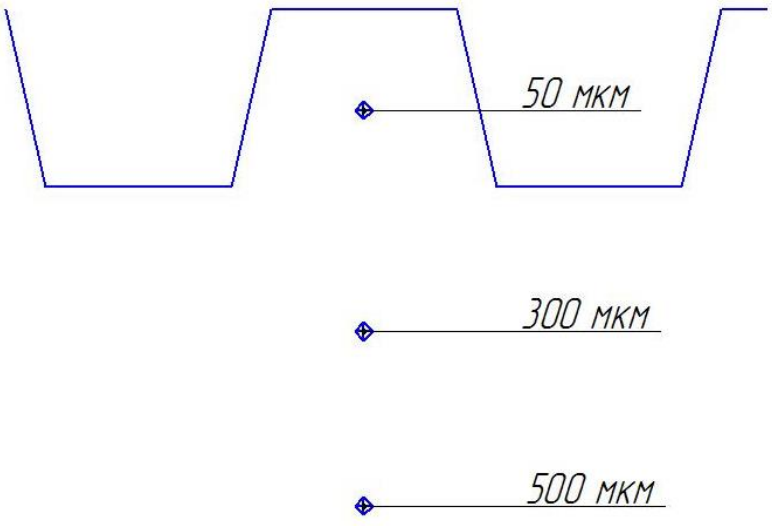


Рис. 3. Схема измерения микротвердости упрочненного слоя

Измерение микротвердости производится на микротвердомере ПМТ-3М. Первое измерение производится в 50 мкм от поверхности, потому что в край образца практически невозможно попасть индентором. Второе измерение осуществляется с отступом в 250 мкм. Третье измерение проводится на глубине 500 мкм. Такое измерение проводится для сравнительного анализа твердости поверхностного слоя и сердцевины металла изделия. Результаты измерения микротвердости представлены в таблице.

Таблица. **Результаты измерения микротвердости при нагрузке 100 гс**

№ режима прессования	Глубина индентирования, мм	Усилие сжатия, тс	Результаты твердости HV	Средняя твердость HV_{CP}
1	0,1	3,5	254	289
			274	
			297	
			322	
			297	
2	0,1	4,1	383	310
			322	
			297	
			274	
			274	
Исходный образец	0,1	-	254	254
			254	
			254	
			254	
			254	

Согласно результатам проведенного измерения микротвердости, можно сделать вывод, что при увеличении нагрузки или усилия прессования, микротвердость прямопропорционально возрастает. Чем больше усилие деформации, тем меньше становится зерно поверхностного слоя, и тем больше твердость и прочность поверхности изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевакин, Ю.Ф. Обработка металлов давлением: учеб. / Ю. Ф. Шевакин, В. С. Шайкевич. М.: Металлургия, 1972. 208 с.

2. Миропольский, Ю.А. Луговой Э.Л. Накатывание резьб и профилей: учеб. / Ю.А. Миропольский, Э.Л. Луговой. М.: Машиностроение, 1976. 173 с.

3. ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. Введ. 1977-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 35 с.

УДК 621.9.079

Д. С. Репин, В. Б. Бубнов, Е. В. Зарубина
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПРИСАДОК К СОЖ

Аннотация: В статье представлены экспериментальные данные по изучению поверхностной активности кислородсодержащих полимерных присадок к СОЖ. Рассмотрено влияние полимерных присадок к СОЖ на эффективность обработки металлов резанием с позиции изменения поверхностного натяжения.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, смазочно-охлаждающая жидкость, кислородсодержащие полимерные присадки, резание металлов.

D. S. Repin, V. B. Bubnov, E. V. Zarubina

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SURFACE ACTIVITY OF OXYGEN-CONTAINING POLYMER ADDITIVES TO CUTTING FLUID

Abstracts: The article presents experimental data on the study of the surface activity of oxygen-containing polymer additives to cutting fluid. The influence of polymer additives to cutting fluid on the efficiency of metal cutting from the point of view of changes in surface tension is considered.

Keywords: surface tension, cutting fluid, oxygen-containing polymer additives, metal cutting.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) — это составы, которые применяются в процессе механической обработки металлов резанием для эффективной обработки материалов. Использование (СОЖ) зависит от нескольких факторов, включая тип процесса обработки, материал заготовки, режущий инструмент. Одна из основных функций СОЖ отвод тепла, выделяемое во время механической обработки, смазывающее действие для уменьшения трения, вызванного контактом двух поверхностей, и т.д. При использовании правильного типа смазочно-охлаждающих жидкостей эффективность механической обработки и характеристики обрабатываемых деталей могут быть значительно улучшены.

В представленной работе было исследовано влияние кислородсодержащих полимерных присадок на поверхностные свойства жидкостей. В качестве присадок к СОЖ выбраны следующие вещества: полиэтиленгликоль (ПЭГ) и поливиниловый спирт (ПВС). Выбранные вещества не имеют запаха и нетоксичны, а также обладают высоким содержанием кислорода. Для изучения поверхностной активности растворенных веществ был применен метод построения изотерм поверхностного натяжения. Данный метод позволяет оценить не только поверхностную активность, но также определить критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). С помощью по-

© Репин Д. С., Бубнов В. Б., Зарубина Е. В., 2023

лученных изотерм можно определить рабочие концентрации присадок в смазочных жидкостях.

Исследование поверхностного натяжения присадок, растворенных в СОЖ, производили методом сталагмометра. Для получения хорошей воспроизводимости результатов осуществлялось до 10 измерений в каждой точке. Строились зависимости поверхностного натяжения γ от концентрации присадки в воде (дистиллят). Также были получены концентрационные зависимости поверхностного натяжения растворенных полимеров в воде (рис. 1, 2).

Как можно заметить, данные кривые имеют классический вид, который подразумевает два характерных участка. В области малых концентраций значение γ быстро убывает. После достижения ККМ поверхностная активность значительно снижается, и дальнейшее уменьшение γ, за счет адсорбции молекул, затруднено. По данным графикам были определены оптимальные концентрации растворенных полимеров, приводящих к наилучшему смазочному эффекту. Значение концентрации соответствуют точке ККМ. Для ПВС оптимальная концентрация в растворе составляет 0,6% по массе, а для ПЭГ – 3% по массе.

Поверхностное натяжение γ является одним из основных параметров, определяющих диспергируемость системы. Чем ниже γ, тем мельче капли эмульсии при определенном перемешивании, и тем стабильнее система [1, 2].

Необходимой характеристикой для понимания явления поверхностного натяжения жидкости является краевой угол смачивания θ, образуемый касательной к капле жидкости и поверхностью. Если $\theta < 90°$, жидкость растекается по поверхности, а при $\theta > 90°$ жидкость не смачивает подложку.

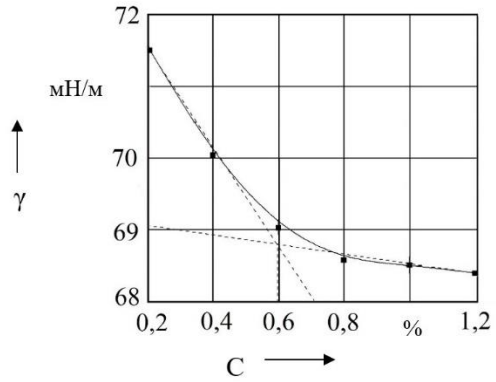


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения СОЖ от концентрации присадки ПВС

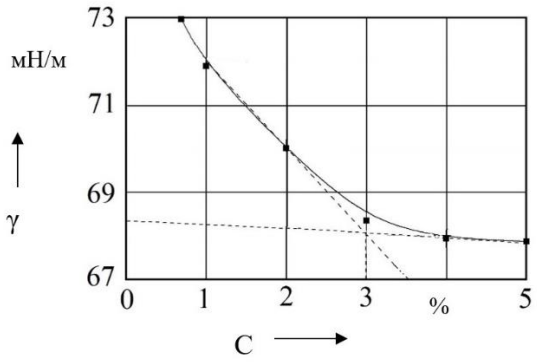


Рис. 2. Зависимость поверхностногонатяжения СОЖ от концентрации присадки ПЭГ

Для объяснения модифицирующего действия исследуемых присадок на СОЖ, были изучены поверхностные свойства на границе обрабатываемый металл – СОЖ. В качестве СОЖ был выбран «Эмульсол Т» (композиция, на основе минерального масла и соли высокомолекулярной органической кислоты, рекомендуемая концентрация рабочего раствора эмульсии (%) при лезвийной и абразивной обработке стали 5,0–10,0) Все рассчитанные значения указанных выше характеристик поверхностных свойств СОЖ с полимерными присадками приведены в таблице.

Таблица. **Поверхностные свойства СОЖ с полимерными присадками**

Наименование СОЖ	Физико-химические свойства исследуемых СОЖ				
	γ, (10^{-3}Н/м)	θ,град (cos θ) (угол смачивания)	$W_э$ (энергии смачивания) (10^{-3}Н/м)	W_a (адгезия жидкости к твердому телу) (10^{-3}Н/м)	$W_к$ (работа когезии) (10^{-3}Н/м)
Эмульсол Т	44,92	26 0,899	40,37	85,21	89,84
Эмульсол Т +ПЭГ	43,21	20 0,94	40,6	83,84	86,42
Эмульсол Т +ПВС	40,1	17 0,956	38,29	78,31	80,1

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующий вывод, что растворение используемых в качестве присадок полимерные соединения уменьшает поверхностное натяжение СОЖ, что, в свою очередь, позволяет улучшить смачивание обрабатываемой поверхности. Так коэффициент γ для «Эмульсол Т» равен $44 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Как известно, смачивание жидкостью поверхностей заготовки и инструмента является необходимой предпосылкой для выполнения смазочного, моющего, охлаждающего, диспергирующего и демпфирующего действий СОЖ. Поэтому результаты экспериментов позволяют говорить об эффективности СОЖ с данными присадками на эффективность обработки металлов резанием.

В качестве показателя эффективности выбранных СОЖ с полимерными присадками было принято решение изучить изменения периода стойкости режущего инструмента и шероховатости обработанной поверхности. Исследуемый обрабатываемый материал сталь 45, инструмент резец проходной упорный из быстрорежущей стали Р6М5.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать выводы о положительном влиянии кислородсодержащих полимерных присадок, введенных в СОЖ, на такие параметры как период стойкости режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности.

Так, при точении стали 45 быстрорежущим инструментом марки Р6М5 с использованием СОЖ «Эмульсол Т», период стойкости составил около 7,8 минут. Добавление полимерных присадок позволило увеличить период стойкости до 10 минут для присадки ПЭГ и до 12 минут для ПВС (рис. 3а). Уменьшение износа режущего инструмента, экранирование адгезии между трущимися поверхностями в свою очередь способствует уменьшению значений шероховатости обработанной поверхности. Применение выбранных полимерных присадок позволяет уменьшить шероховатость обработанной поверхности в 1,5 раза (рис. 3б).

Положительный эффект применения полимерных присадок к СОЖ на данном этапе исследований можно объяснить следующим образом. Одной из основных функций СОЖ является охлаждение, то есть конвективный теплообмен между СОЖ и обработанной поверхностью. На теплообмен влияет обтекание СОЖ охлаждаемых поверхностей. Эффективность данного процесса зависит от того, как СОЖ обеспечивает смачивание поверхностей, находящихся в контакте.

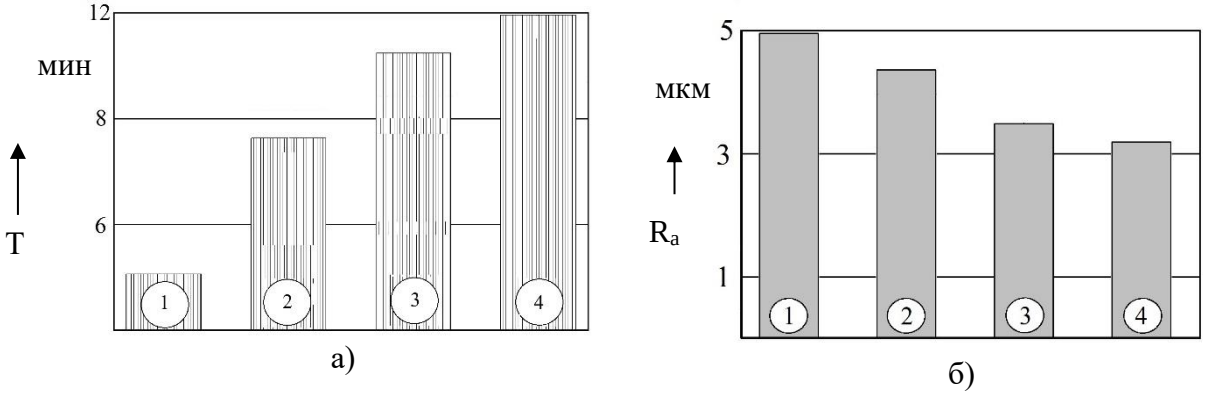


Рис. 3. Влияние СОЖ с полимерными присадками на:
а) период стойкости режущего инструмента;
б) шероховатость обработанной поверхности (V = 60 м/мин, S = 0,1 мм/об., t = 0,5 мм):
1. Резание без СОТС; 2. Эмульсол Т; 3. Эмульсол Т + ПЭГ; 4. Эмульсол Т + ПВС

Смачивание лучше в том случае, если СОЖ имеет относительно низкое поверхностное натяжение. Именно благодаря уменьшению поверхностного натяжения СОЖ, увеличивается смачиваемость обрабатываемой поверхности, что в свою очередь приводит к более эффективному применению СОЖ, и улучшению как охлаждающей, так и смазочной способностями СОЖ.

В результате проведенными исследованиями установлено, что растворенные кислородсодержащие полимерные присадки в СОЖ снижают коэффициент поверхностного натяжения СОЖ на 20 %, что в свою очередь позволяет увеличить смачиваемость используемых жидкостей, тем самым повышает эффективность СОЖ, что подтверждено представленными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение / А.А. Абрамзон. Л.: Химия, 1981. 302 с.

2. Солоненко Л.А., Тлехусеж М.А., Сороцкая Л.Н. Модификация поверхностного натяжения СОЖ присадками из полифункциоальных производных органических кислот С3-С4. Журнал Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 54 – 56.

УДК 621.91.01

Е. В. Соловьева
Ивановский государственный энергетический университет

СМАЗОЧНЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Аннотация: в статье описаны основные свойства полимерсодержащих СОЖ при оптимальном содержании входящих в них компонентов и изменении содержания ингибиторов коррозии.

Ключевые слова: трение скольжения, СОЖ, пластическая деформация.

E. V. Solovyova

LUBRICANT AND CORROSIVE PROPERTIES OF POLYMER-CONTAINING LUBRICANTS

Abstracts: the article describes the main properties of polymer-containing coolants with the optimal content of their constituent components and changes in the content of corrosion inhibitors.

Keywords: sliding friction, coolant, plastic deformation.

В последнее время при обработке металлов резанием и поверхностным пластическим деформированием широко применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) на основе водорастворимых полимеров. Новые СОЖ по сравнению с ранее применяющимися эмульсиями позволяют в 2–4 раза повысить стойкость режущих и обкатывающих инструментов, не содержат дефицитных компонентов (растительных масел, сложных серу - и фосфорсодержащих присадок и др.), просты в приготовлении.

Были исследованы смазочные и коррозионные свойства полимерсодержащих СОЖ при оптимальном содержании входящих в них компонентов и изменении содержания ингибиторов коррозии. Целью исследования было определить степень влияния ингибиторов коррозии, а также их химического состава на смазочные и коррозионные свойства СОЖ.

В связи с этим были проведены испытания, имитирующие процесс трения скольжения при работе упрочняющих инструментов по поверхности заготовок в условиях высоких скоростей скольжения и недостаточной подачи смазочного материала в зону скольжения. Опыты проводились при различных контактных нагрузках, чтобы определить критические нагрузки для данного вида смазочного материала. При этом смазочный материал выступает как средство для быстрого отвода тепла, возникающего в процессе пластической деформации, предотвращает образование наростов и задиров на обработанной поверхности, обеспечивает пассивацию обработанных поверхностей заготовок на межоперационный период хранения.

Для оценки смазочной способности приготавливались опытные образцы СОЖ с различным содержанием ингибиторов коррозии (см. табл.). Основные компоненты

© Соловьева Е. В., 2023

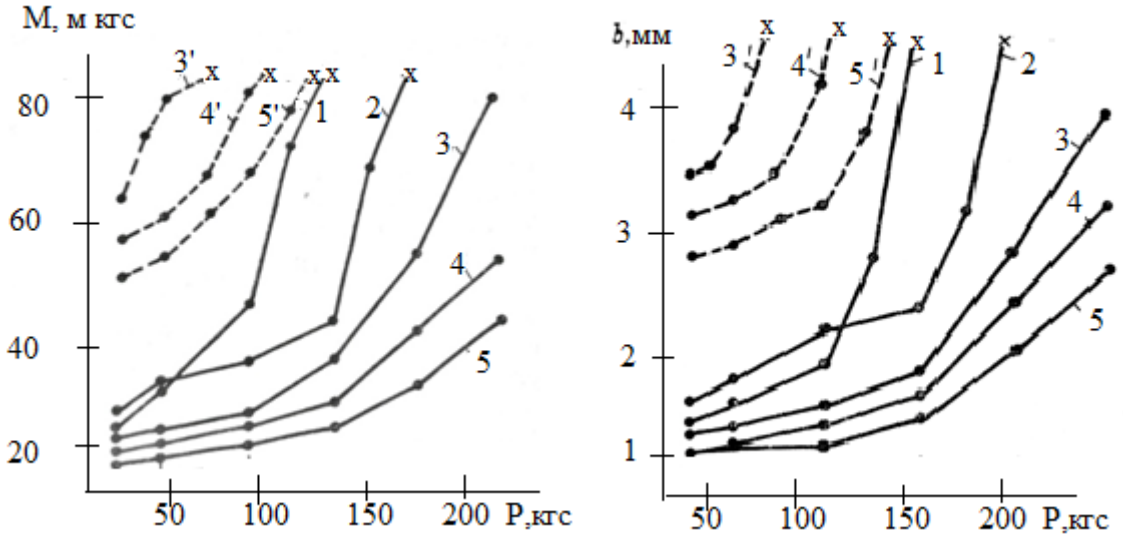
растворялись в воде жесткостью 4–6 мг-экв/л, pH 6-7. Температура воды поддерживалась в пределах 20±2°С.

Таблица. **Опытные образцы полимерсодержащей СОЖ**

Экспериментальный состав	Содержание ингибиторов коррозии, объемн. %		
	Триэтаноламин	Ингибитор Г-2	Ингибитор НДА
5%-й раствор СОЖ	-	-	-
Состав 1	0,03	-	-
Состав 2	-	-	0,5
Состав 3	0,002	0,4	0,1
Состав 4	0,001	0,2	0,05

Испытания новых СОЖ осуществлялись на четырехшариковой машине, где в качестве рабочих элементов использовались шарики диаметром 12,7 мм из стали 95Х18Ш 2-й степени точности (ГОСТ 5632-2014). Скорость вращения шарика была переменной и изменялась в пределах от 50 до 300 м/мин. Изменение числа оборотов осуществлялось применением клиноременной передачи с передаточным отношением 1,42:2,5:3,15:4,5. СОЖ подавалась в зону скольжения через регулируемый пробковый кран с расходом 0,005 л/мин. Температура поддерживалась постоянной в пределах 20±5°С.

После каждой серии испытаний шарики и рабочие элементы установки промывались в водно-щелочном растворе. Зависимость момента трения от величины осевой нагрузки на шарики с использованием СОЖ с различным содержанием ингибиторов коррозии представлена на рисунке.



а б

Рисунок. а) зависимость момента трения М от осевой нагрузки на шарики Р при использовании СОЖ с различным содержанием ингибиторов коррозии при различной скорости скольжения; б) изменение ширины контакта b в зависимости от осевой нагрузки Р при различном содержании ингибиторов коррозии в составе СОЖ и различной скорости скольжения: сплошные кривые – 50 м/мин, пунктирные – 300 м/мин; 1–5% раствор СОЖ без ингибиторов коррозии; 2- состав 1; 3,3’ – состав 2; 4,4’ – состав 3; 5,5’ – состав 4

При скорости скольжения Vs= 50 м/мин (рис.1, а, линии 1,2,3,4,5) общим для всех составов является увеличение с ростом осевой нагрузки фактической площади контакта. По мере роста нагрузки происходит постепенное сближение трущихся поверхностей шаров и разрушение образовавшейся смазочной пленки. Нагрузка 150–250 кгс для большинства составов критическая. Составы 2,3,4 показали удовлетворительные результаты по смазочной способности во всем диапазоне исследуемых нагрузок, а неудовлетворительные результаты по смазочной способности – СОЖ без ингибиторов коррозии и состав 1 (кривые 1, 2). При этом удовлетворительная смазывающая способность зоны контакта располагается в диапазоне нагрузок 150 кгс.

При скорости скольжения до 100 м /мин составы 2,3,4 показали положительные результаты по смазочной способности во всем диапазоне исследуемых нагрузок. Эмульсия 5% концентрации СОЖ и состав 1имеют удовлетворительные результаты по смазочной способности при нагрузке до 125 кгс.

При увеличении скорости скольжения до 200 м/мин состав 4 имеет нормальную смазывающую способность при нагрузке до 200 кгс, а составы 2, 3 – в диапазоне нагрузок до 175 кгс. Эмульсия СОЖ 5% концентрации и состав 1 имеют удовлетворительную смазочную способность в диапазоне нагрузок до 100 кгс.

Дальнейшее увеличение скорости до 300 м/мин показало, что смазывающая способность состава 4 (кривая 5’) находится в пределах до 100 кгс, состав 3 (кривая 4’) – в диапазоне нагрузок до 75 кгс, состав 2 (кривая 3’) – в диапазоне нагрузок до 50 кгс. Состав 1 и 5% концентрация СОЖ показали неудовлетворительный результат по смазочной способности при нагрузках выше 25 кгс.

Резкое понижение смазывающей способности составов 2, 3, 4 (кривые 3’,4’,5’) характеризуются образованием металлического контакта между трущимися поверхностями.

Ингибиторы коррозии вытесняют активные компоненты смазочного материала из зоны трения и способствуют образованию оксилов на ювенильных поверхностях контактирующих пар трения, но в тоже время не позволяют активным компонентам СОЖ образовывать смазочные комплексы на металлических поверхностях трущихся пар. Увеличение нагрузок до критического значения приводит к началу молекулярного взаимодействия металлических поверхностей, которое отличается резким ростом момента трения М и ширины контакта b, а также образованием задиров на трущихся поверхностях (на графиках отмечены «х»). При этом происходит полное разрушение смазочной пленки.

Очень важным показателем использования СОЖ является ее влияние на коррозионную стойкость обрабатываемых деталей. Оценка коррозионных процессов осуществлялась измерением потери массы металла в результате коррозии, отнесенной к единице поверхности, а также времени хранения деталей. Наилучшие коррозионные свойства металлов обеспечил состав 3. Однако повышенная влажность и увеличенное содержание углекислого газа, пыли, паров кислот и щелочей резко понижают защитные свойства ингибированных полимерсодержащих СОЖ, снижают межоперационный период хранения обработанных деталей.

С увеличением содержания в полимерсодержащих СОЖ ингибиторов коррозии резко понижается их смазочная способность. Вместе с тем для обеспечения межоперационного периода защиты от коррозии обработанных деталей требуется повышенное содержание в составе СОЖ ингибиторов коррозии. Эффективность защитного

действия полимерсодержащих СОЖ значительно возрастает с применением композиций ингибиторов, при этом смазочные свойства СОЖ практически не изменяются.

В качестве выводов следует отметить:

1. Оптимальное количество ингибиторов коррозии в составе СОЖ составляет от 0,4–0,8%, также химические свойства ингибиторов коррозии оказывают значительное влияние на смазочные свойства полимерсодержащих СОЖ.

2. Скорость скольжения оказывает большое влияние на смазочные свойства СОЖ. Оптимальной скоростью скольжения при использовании ингибированных полимерсодержащих СОЖ является скорость 50–100 м/мин; дальнейшее увеличение скорости приводит к резкому понижению смазочных свойств СОЖ.

3. Для применения новых составов в производственных условиях рекомендуется использовать СОЖ составов 3 и 4, дающие оптимальные результаты по смазочным свойствам и по коррозионной стойкости обработанных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров. М.: Высшая школа, 1983. 391 с.

2. Бердичевский Е, Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.

3. Латышев В.Н. Физико-химические основы действия СОТС при резании металлов// СТИН. 2002. №4. С. 13 – 16.

4. Рыжкин А.А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. 311с.

5. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС на характеристики процессов лезвийного резания металлов / А.Г. Наумов и др. // Металлообработка. 2018. №1 (103). С. 2 – 5.

УДК 621.9.04, 621.7.044.4

В. В. Терентьев [1], С. Ф. Смирнов [2], Д. В. Барабанов [1], А. Н. Шевяков [1]

[1] Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. Д.К. Беляева

[2] Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРА НА ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация: с целью продления ресурса и увеличения срока службы в настоящее время создано большое количество технологий, направленных на улучшение износостойких качеств поверхности деталей машин. Наиболее доступными технологиями модификации поверхности являются технологии, связанные с изменением геометрии и структуры поверхностного слоя за счёт механического воздействия. Помимо традиционных способов механического воздействия на деталь можно использовать электрогидравлический эффект, который характеризуют как достаточно эффективный способ преобразования электрической энергии в механическую, чему и посвящена данная статья.

© Терентьев В. В., Смирнов С. Ф., Барабанов Д. В., Шевяков А. Н., 2023

Ключевые слова: упрочнение поверхности, эффект Юткина, электрогидравлический удар, пластическое деформирование, твердость поверхности.

V. V.Terentyev, S. F. Smirnov, D. V. Barabanov, A. N. Shevyakov

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ELECTROHYDROSTROKE ON THE HARDNESS OF THE METAL SURFACE

Abstracts: In order to extend the service life and increase the service life, a large number of technologies have been created to improve the wear-resistant qualities of the surface of machine parts. The most accessible technologies for surface modification are technologies related to changing the geometry and structure of the surface layer due to mechanical action. In addition to the traditional methods of mechanical action on the part, an electrohydraulic effect can be used, which is characterized as effective way of converting electrical energy into mechanical energy, which is what this article is devoted to.

Keywords: surface hardening, Yutkin effect, electrohydraulic shock, plastic deformation, surface hardnes.

Эффективность работы сельскохозяйственной техники во многом определяется показателями ее надежности [1].

Эксплуатация любой техники неизбежно приводит к изнашиванию её деталей. Поэтому поиск путей снижения износа и продление ресурса деталей машин является достаточно актуальной проблемой. В целом, её решением является создание современных, более износостойких материалов. Однако, в этом случае стоимость таких материалов может оказаться достаточно высокой, и эффективность их использования окажется крайне низкой. Кроме того, создание принципиально новых материалов повлечет за собой изменение технологии изготовления деталей, что так же может отрицательно сказаться на их стоимости [2, 3].

Поэтому особое место среди технологий продления ресурса деталей машин занимают технологии модификации их поверхности. На сегодняшний день существует большое количество технологий поверхностного упрочнения. Тем не менее, проведенный анализ научных источников и патентных документов позволяет сделать вывод о том, что в целом существует три больших направления модификации поверхности. Это изменение структуры и геометрии поверхности, изменение химического состава поверхностного слоя и создание плёнок или различных покрытий на поверхности детали. При этом литературный обзор данной темы показал наличие большого числа вариантов реализации этих направлений упрочнения поверхности. Кроме того, применение той или иной технологии зачастую сопряжено с использованием специального оборудования и материалов, которые зачастую имеют достаточно высокую стоимость, что в целом определяет экономическую эффективность применения выбранной технологии поверхностного упрочнения. Поэтому поиск более дешёвых, простых с точки зрения реализации и экономически эффективных технологий модификации поверхности, не прекращается.

Наиболее доступными методами повышения прочности поверхности детали являются методы, связанные с изменением структуры и геометрии поверхности, что как правило достигается за счёт термического, механического или термомеханического воздействия. Сюда можно отнести такие технологии как закалка поверхности, пластическое деформирование, механическая обработка и т.д.

Поверхностное пластическое деформирование является одним из наиболее простых способов повышения прочности поверхностного слоя детали. В этом случае снижается параметр шероховатости (Ra) и формируются остаточные напряжения сжатия. Поверхностное пластическое деформирование достигается прямым механическим воздействием на поверхность. Для его осуществления в настоящее время используют дробеструйную обработку, обкатывание роликами и шариками, накатывание, раскатывание, выглаживание, ультразвуковые методы, калибрование и т.д. [2, 3, 4].

Тем не менее, осуществить механическое воздействие можно и иными способами. Так известно явление электрогидравлического удара, которое так же называют эффектом Юткина, в честь к.т.н., физика по образованию Л.А. Юткина, который открыл это явление и внёс значительный вклад в его изучение. Эффект Юткина рассматривают как один из эффективных способов преобразования электрической энергии напрямую в механическую. Коэффициент полезного действия такого преобразования энергии оценивают в 60–70 % [5, 6, 7].

Явление электрогидравлического удара заключается в возникновении сверхвысокого гидравлического давления в жидкости при осуществлении в ней искрового электрического разряда высокого. Длительность такого разряда невелика и оценивается сотнями микросекунд, поэтому, мгновенное значение мощности, выделяемой в процессе разряда, может доходить до 100 МВт. При этом давление возникшего ударного фронта может достигать 100000 атм. Поэтому эффект Юткина нашел достаточно широкое практическое применение во многих отраслях промышленности, о чем свидетельствует большое число вариантов, схем и технологий его применения [5–9].

Исследования, проведенные Л.А. Юткиным, позволили установить, что при прохождении электрического разряда высокого напряжения в жидкости в его области можно выделить несколько зон: область разряда 2, область разрушения 3, область наклёпа 4, область упругого воздействия 5, область сжатия 6 (рис. 1).

В зоне разрушения практически все материалы разрушаются на дисперсные частицы. В зоне наклёпа многие материалы разрушаются, а металлы наклёпываются. Размеры этих зон зависят от межэлектродного расстояния ℓ, которое определяется параметрами установки, а именно напряжением U и электроёмкостью C. Для осуществления электрогидравлического удара Л.А. Юткин предложил схему, включающую повышающий трансформатор (Тр), выпрямитель (VD), конденсатор и два формирующих искровых промежутка (ФИП 1 и ФИП 2) (рис. 2).

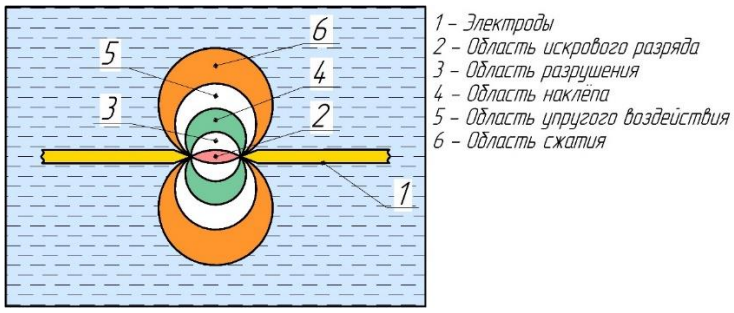


Рис. 1. Образование зоны высокого давления вокруг высоковольтного искрового электрического разряда в жидкости

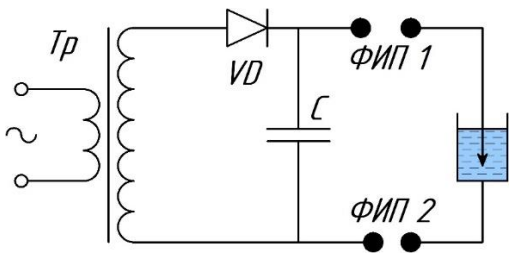


Рис. 2. Схема установки для осуществления электрогидравлического эффекта

Использование двух формирующих искровых промежутков, согласно его исследованиям, позволяет получить повышение фронта импульса. [4, 5, 7]

Таким образом, высокие ударные свойства, а также существование области разрушения и наклёпа позволили сформулировать гипотезу, согласно которой электрогидравлический эффект можно рассматривать как технологию модификации поверхностного слоя деталей машин. Для проверки данной гипотезы в настоящее время проводятся экспериментальные исследования, цель которых определить характер влияния электрогидравлического удара на твердость поверхности металлических деталей, а также определить параметры установки, соответствующие достижению максимального воздействия.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана экспериментальная установка, принципиальная электрическая схема которой приведена на рис. 3.

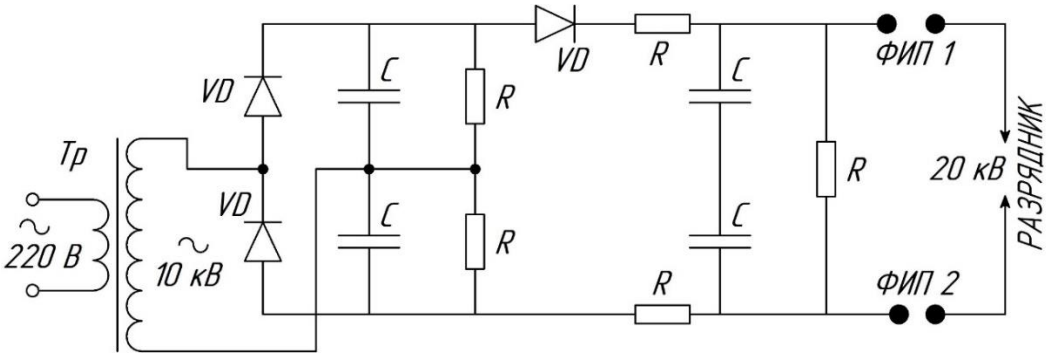


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Основу установки составляет повышающий трансформатор ТГ1020К-У2 с выходным напряжением 10 кВ. За счёт системы высоковольтных диодов 2Ц202Е (на схеме VD) и конденсаторов С это напряжение увеличивается до 20 кВ, которое и подается на выходные конденсаторы $C_{вых}$, емкость которых 0,1 мкФ. Так как выходные конденсаторы соединены последовательно, то их общая ёмкость составляет 0,05 мкФ. Таким образом, созданная установка имеет следующие параметры: U = 20 кВ, С = 0,05 мкФ. Внешний вид установки приведен на рис. 4.

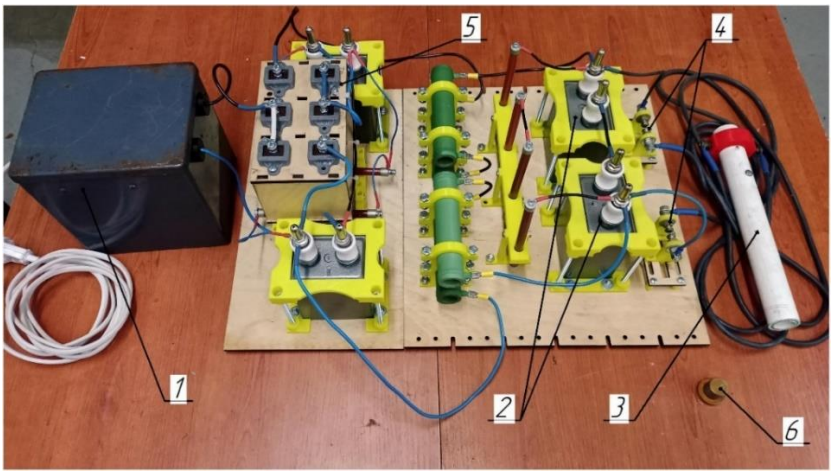


Рис. 4. Внешний вид лабораторной установки:
1 – повышающий трансформатор ТГ1020К-У2;
2 – выходные конденсаторы типа К41-1А 10кВ 0,1 мкФ;
3 – разрядник,
4 – формирующие искровые промежутки;
5 – блок высоковольтных диодов 2Ц202Е,
6 – подложка для обработки образцов

На данном этапе проведены предварительные испытания, в которых на протяжении некоторого времени были обработаны образцы из стали и алюминия. Обработка образцов производилось в металлической ёмкости при помощи специально изготовленного разрядника. Образцы размещались на специальной металлической подложке и помещались во внутреннюю полость разрядника, где находятся два электрода, соединенные при помощи высоковольтных проводов с ФИП.

Для оценки степени влияния электрогидравлического эффекта определялась твердость поверхности образцов до и поле обработки. Измерение твердости поверхности определялось по методу Виккерса. Образцы из алюминия и стали подвергались воздействию электрогидравлического эффекта в течение 5 минут, после чего проводилось измерение твердости. Всего подобные измерения проведены четыре раза, а общее время обработки составило 20 мин.

Результаты проведенных исследований и экспериментов представлены в виде графика, который приведен на рис. 5.

Полученные данные о твердости поверхности стальных образцов обозначили отрицательный тренд, т.е. с увеличением времени обработки твердость их поверхности уменьшилась, хотя на протяжении всей серии экспериментов отмечаются разнонаправленные изменения в твердости. Тенденция уменьшения твердости в целом может быть связана с насыщением поверхности водородом, образующимся в результате искровых разрядов.

Аналогичная картина, хотя и значительно менее выраженная, наблюдается и для образцов из алюминиевого сплава Амг6. В этом случае аппроксимирующая линия, построенная по экспериментальным значениям, приближается к горизонтальному положению, хотя и имеет незначительную отрицательную тенденцию. Поэтому в этом случае можно сделать вывод об отсутствии значительного влияния на твердость электрогидравлического эффекта в проведенных опытах.

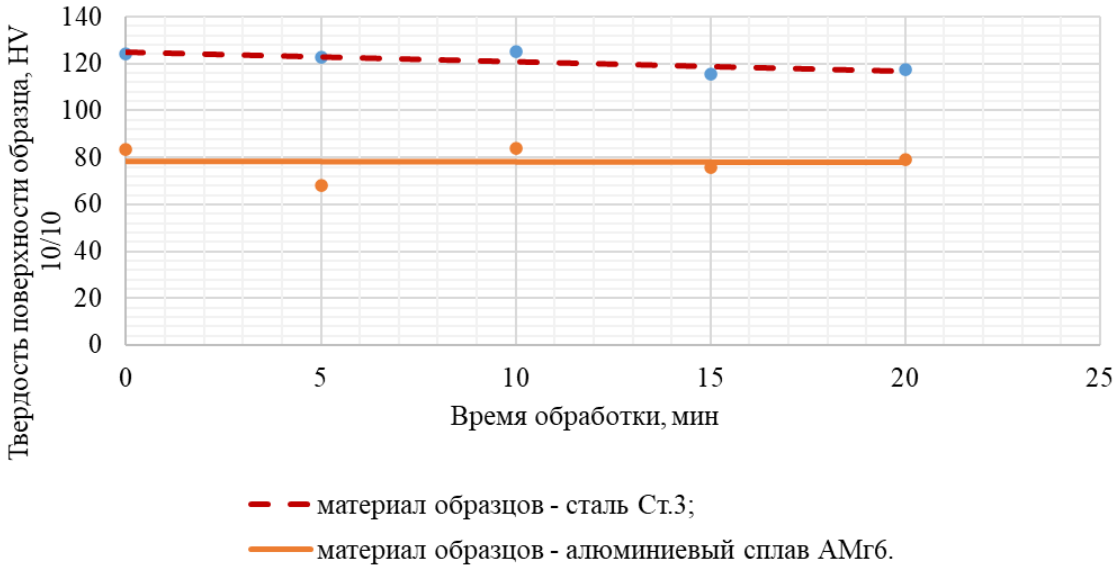


Рис. 5. Характер изменения твердости поверхности образов

Анализ полученных данных и опыта использования электрогидравлического эффекта в других исследованиях говорит о том, что мощность, выдаваемая установкой недостаточна для наблюдения более заметного изменения в твердости поверхно-

сти и яркого проявления эффекта. Поэтому необходимо провести мероприятия по улучшению характеристик установки. В частности, электрогидравлический удар с напряжением 20 кВ может характеризоваться как средний или мягкий, в зависимости от ёмкости. Для обеспечения данного режима необходимо довести суммарную ёмкость выходных конденсаторов, как минимум до значения 0,1 мкФ. Кроме того, возможно и увеличение напряжения.

Таким образом, можно говорить о том, что результаты исследований ученых, занимающихся изучением свойств и возможностей электрогидравлического удара, говорят о возможности воздействия на поверхностный слой деталей машин. Значительного изменения твердости поверхностного слоя металлической поверхности можно добиться при увеличении мощности электрогидравлического удара за счет увеличения емкости выходных конденсаторов как минимум до значения 0,1 мкФ, или увеличения выходного напряжения свыше 20кВ. Однако, для изучения этого вопроса необходимы более детальные исследования на установке увеличенной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В.В. Применение плазмохимической обработки при создании эффективных наполнителей смазочных материалов, используемых в сельскохозяйственной технике //Модернизация аграрного образования: Сборник научных трудов по материалам VII Международной научно-практической конференции (14 декабря 2021 г.). Томск-Новосибирск: ИЦ Золотой колос, 2021. С. 879 – 882.

2. Терентьев В.В., Суровицкий И.И., Телегин И.А., Баусов А.М., Максимовский Ю.М. Существующие методы повышения ресурса молотков дробильного оборудования //Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием посвященная 90-летию ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева». Том II: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2020. С.168 – 172.

3. Упрочнение поверхностного слоя деталей машин / А.А. Дудников, А.И. Беловод, А.В. Канивец, В.В. Дудник // Технологический аудит и резервы производства. 2011. Т. 1. № 1(1). С. 30 – 33.

4. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядунов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 1(285). С. 59 – 62.

5. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. 252 с.

6. Л.А. Юткин Электрогидравлический эффект. Л.: Ленинградское отделение МАШГИЗА, 1955. 56 с.

7. Актуальность применения электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина в народном хозяйстве / И. М. Ветров, Д. О. Захаров, А. М. Турманов [и др.] // Новые технологии - нефтегазовому региону: Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 18-22 мая 2015 года. Том IV. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. С. 197 – 200.

8. О применении электрогидродинамического эффекта в сельском хозяйстве / И.О. Егорушкин, Я.А. Кунгс, А.И. Орленко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2013. № 1(76). С. 143 – 146. EDN PYXIGD.

9. Мусенко А. А. Использование электрогидравлического удара для обработки вещества // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 4(33). С. 208 – 213.

УДК 621.899

В. В. Терентьев, И. А. Телегин, В. В. Рябинин, Д. В. Каплаков
ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. Д.К. Беляева»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ САМОХОДНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация: одним из способов снижения затрат на эксплуатацию самоходной техники является повторное использование масел и различных рабочих жидкостей. Очистка масел и рабочих жидкостей с дальнейшим восстановлением их характеристик является одним из путей экономии средств и решения вопроса с утилизацией отходов. Существующие установки для очистки отличаются узкой направленностью, высокой стоимостью и неэффективностью в условиях некрупных предприятий с небольшими объемами потребления масел и охлаждающих жидкостей. В работе представлены результаты разработки установки для очистки загрязненных масел и рабочих жидкостей. Отмечена эффективность использования метода микрофильтрации для удаления высокодисперсных загрязнителей. Предложена технологическая схема очистки охлаждающей жидкости на разработанной установке.

Ключевые слова: очистка, адсорбент, микрофильтрация, керамический фильтр, загрязненное масло.

V. V.Terentyev, I. A. Telegin, V. V. Ryabinin, D. V. Kaplakov

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR CLEANING LIQUID LUBRICANTS AND WORKING FLUIDS OF SELF-PROPELLED MACHINERY

Abstracts: one of the ways to reduce the cost of operating self-propelled equipment is the reuse of oils and various working fluids. Cleaning of oils and working fluids with further restoration of their characteristics is one of the ways to save money and solve the issue of waste disposal. Existing cleaning units are characterized by a narrow focus, high cost and inefficiency in the conditions of medium-sized enterprises with small volumes of consumption of oils and cooling liquids. The paper presents the results of the development of an installation for cleaning contaminated oils and working fluids. The effectiveness of using the microfiltration method for the removal of highly dispersed pollutants is noted. A technological scheme for cleaning the cooling liquid at the developed installation is proposed.

Keywords: cleaning, adsorbent, microfiltration, ceramic filter, contaminated oil.

Эксплуатация самоходной техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания, предусматривает использования различных смазочных материалов (моторное

© Терентьев В. В., Телегин И. А., Рябинин В. В., Каплаков Д. В., 2023

масло, трансмиссионное масло, специальные масла, пластичные смазки и т.п), а также рабочих жидкостей (тормозная жидкость, охлаждающая жидкость и т.п).

В результате процессов насыщения как смазочного материала, так и рабочей жидкости водой, трибодеструкции, загрязнения, окисления, и ряда других негативных факторов эксплуатационные характеристики жидкостей значительно ухудшаются. Это приводит к нарушению условий смазывания и охлаждения узлов и механизмов машин, следствием которого является отказ машины. Для поддержания высокого уровня надежности машин в перечень периодического технического обслуживания включены работы по замене смазочных материалов и рабочих жидкостей. Вследствие этого образуется значительное количество технологических отходов.

Одним из путей снижения затрат на эксплуатацию техники является повторное использование смазочных материалов и рабочих жидкостей после их восстановления.

В настоящее время как в Российской Федерации, так и за рубежом разработаны различные технологические схемы очистки отработанных масел, позволяющие проводить их очистку и регенерацию [1].

Для очистки загрязненных моторных масел авторами разработана простая по конструкции установка для очистки отработанных масел, внешний вид которой представлен на рис. 1.

Разработанная установка позволяет очищать загрязненные моторные масла от механических примесей и воды. Производительность установки делает ее эффективной для некрупных предприятий с годовым оборотом моторных масел до 20 т.

Результаты очистки различных моторных масел на разработанной установке подтвердили ее эффективность [1, 2].

Рис. 1. Установка для центробежной очистки моторных масел

Однако ввиду того, что кроме воды и механических примесей в загрязненном масле присутствуют частицы окисления и термического распада углеводородов, продукты окислительной полимеризации масел, образующие с основой масла кинетически устойчивую систему, обладающую значительной поверхностной энергией, полностью очистить масло методом только центробежной очистки практически невозможно.

Для более глубокой очистки моторных масел в работе [3] предложена комплексная технология очистки отработанных масел от загрязнений, позволяющая реализовывать процесс как очистки, так и осветления загрязненных моторных масел.

Эффективным способом очистки и осветления моторных масел является способ микрофильтрации с применением керамических фильтров.

Для реализации технологии глубокой очистки на разработанной установке, был разработан дополнительный фильтр для глубокой очистки жидкостей, внешний вид которого представлен на рис. 2.

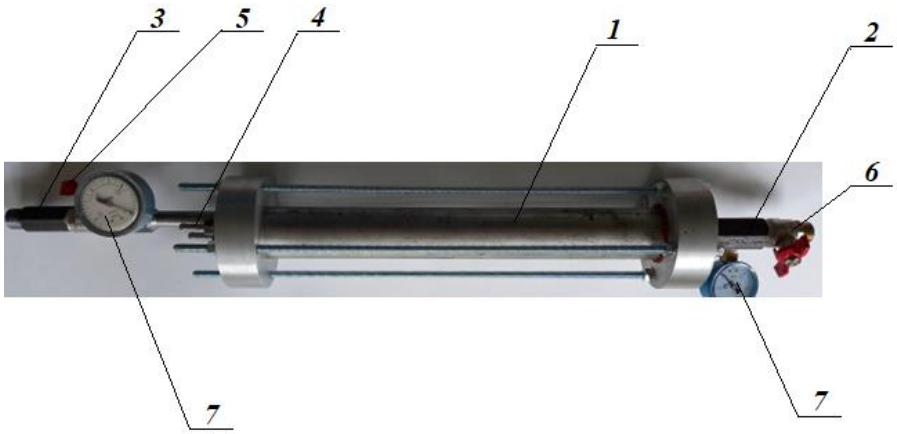


Рис. 2. Фильтр для глубокой очистки жидкостей:
1 - корпус фильтра; 2 - патрубок входной; 3 - патрубок выходной;
4 - штуцер сливной очищенного масла; 5 – кран выходного патрубка;
6 – кран входного патрубка; 7- манометры

В корпусе фильтра установлены ряд фильтрующих элементов, представляющих из себя керамические трубки, с размерами пор 0,25 мкм. На входном и выходном патрубках фильтра установлены манометры, позволяющие контролировать давление внутри корпуса. Масло, поступая от входного патрубка внутрь корпуса фильтра попадает в зазор между наружной поверхностью керамических трубок и корпуса. Попадая на наружную поверхность фильтрующих элементов часть масла просачивается через поры фильтра, попадает внутрь керамических трубок и стекает в приемный резервуар. Остальной поток неочищенного масла через выходной патрубок и трубопровод поступает в бак установки, далее посредством насоса через распределитель потока жидкости поступает в входному патрубку и процесс повторяется. Давление масла в корпусе фильтра регулируется посредством кранов, установленных на входном и выходном патрубках.

Разработанный фильтр использовался в процессе очистки загрязненного минерального масла М-10Г2к.

Применение керамических микрофильтров позволило добиться глубокой очистки и частичного осветления масел.

Отмечено практически полное удаление механических примесей и воды. Однако, в процессе очистки масла было отмечено снижение щелочного числа в 2,1 раза, что может свидетельствовать об удалении из масла большей части функциональных присадок.

Полученное очищенное масло после введения в него функциональных присадок возможно использовать повторно. Исследования показывают перспективность использования в качестве трибологически активных присадок к маслу в виде жидкокристаллических соединений – мезогенов [4-6].

Кроме этого очищенное масло возможно использовать в качестве основы защитных противокоррозионных покрытий при введении в них в качестве добавки ингибиторов коррозии, например, ингибитор ТЕЛАЗ, ТЕЛАЗ-М производства ЗАО «Автоконинвест», г. Москва [7, 8], МОПЛ-1, НГ-107 и т.д. [9].

Для реализации процесса очистки охлаждающей жидкости на предложенной установке была разработана технологическая схема очистки, представленная на рис. 3.

Рис. 3. Схема технологического процесса очистки охлаждающих жидкостей

В соответствии с предложенной схемой, очистка охлаждающей жидкости осуществляется в несколько этапов. Первоначальной осуществляется фильтрация жидкости через фильтр из пористого поливинилформаля. На данном этапе осуществляется удаление из охлаждающей жидкости воды и механических примесей размером свыше 10 мкм. Далее осуществляется фильтрация жидкости через слой адсорбента. На данном этапе из жидкости удаляются остатки кислот и механические загрязнения размерами от 5 до 10 мкм. Далее осуществляется центробежная очистка, позволяющая удалять из жидкости остатки адсорбента. После этого жидкость направляется в блок микрофильтрации, где осуществляется окончательный процесс очистки.

Таким образом, разработанная установка позволяет осуществлять глубокую очистку как моторных масел, так и рабочих жидкостей, применяемых в самоходной технике, оснащенной двигателями внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В.В., Хохлов Е.Н. Разработка технологического оборудования для очистки отработанных смазочных материалов // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. С. 344 – 346.

2. Терентьев В.В., Максимовский Ю.М., Максимовская Т.Д., Жукова Т.А. Повышение эффективности очистки загрязненных моторных масел. В сборнике: Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. Курган, 2020. С. 82 – 84.

3. Терентьев В.В., Хохлов Е.Н. Комплексная технология очистки отработанных масел от загрязнений. В сборнике: Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева. 2017. С. 187 – 191.

4. Федосов С.В., Терентьев В.В., Маркелов А.В., Осадчий Ю.П., Соколов А.В. Исследование влияния ундецилата меди на трибологические свойства очищенного отработанного масла// Трибология – машиностроению: Труды XIII Международной научно-технической конференции. М.: ИМАШ РАН, 2020. С. 312 – 315.

5. Fedosov S.V., Terent'Ev V.V., Markelov A.V., Osadchiy Yu.P., Sokolov A.V. Study of the effects of copper undecylate on the tribological properties of refined waste oil//В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 13. Сер. «XIII International Scientific Conference «Tribology for Mechanical Engineering», TriboMash 2020», 2020. С. 012011.

6. Терентьев В.В., Телегин И.А., Рябинин В.В. Повышение износостойкости трибосопряжений сельскохозяйственной и автотракторной техники путем совершенствования смазочных материалов // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 35. С. 151 – 157.

7. Пучин Е.А., Гайдар С.М. Хранение и противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники: учеб. пособ. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 512 с.

8. Ингибитор коррозии металлов: пат. 2263160 Рос. Федерация:МПК С 23F11/14/С.М. Гайдар, А.С. Тарасов, В.А. Лазарев.– №2004130182/02; заявл. 12.10.04., опубл. 27.10.05. Бюл. №30.

9. Гайдар С.М. Теория и практика создания ингибиторов коррозии для консервации сельскохозяйственной техники / Монография. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2011. 304 с.

УДК 621.1

А. М. Филатов, И. И. Ведерникова
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация: В работе рассмотрен метод повышения твердости и износостойкости поверхности деталей в тлеющем разряде.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, цементация, твердость, образец.

A. M. Filatov, I. I. Vedernikova

APPLICATION OF CHEMICAL AND THERMAL TREATMENT IN THE MANUFACTURE OF PARTS

Abstracts: The paper considers a method for increasing the hardness and wear resistance of the surface of parts in a glow discharge.

Keywords: chemical-thermal treatment, cementation, hardness, sample.

© Филатов А. М., Ведерникова И. И., 2023

Химико-термическая обработка как конструкционных, так и инструментальных сталей приводит к повышению твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения, увеличивает их надежность и долговечность. Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей, а также одним из основных способов модифицирования поверхностного слоя детали.

При всех достоинствах процессов химико-термической обработки они достигли предела формирования износостойкого поверхностного слоя, в результате чего в последнее время необходимы альтернативные методы повышения твердости и износостойкости поверхности деталей машин.

Одним из перспективных методов является обработка тлеющим разрядом, приводящая к структурным изменениям в поверхностных слоях материалов, прошедших химико-термическую обработку, выражающая диспергирование карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм, приводящая к повышению износостойкости в 1,5–2 раза и приращению поверхностной твердости на 10–15 %, а как же сокращение времени на ХТО.

Ионная цементация – процесс науглероживания материала в низкотемпературной углеводородной плазме тлеющего разряда. Тлеющим разрядом называют один из видов газового разряда, в котором катод испускает электроны в результате бомбардировки положительными фотонами и ионами, образующимися в газовой среде. Основными процессами при работе в тлеющем разряде является катодное распыление, то есть удаление атомов с поверхности катода за счет бомбардировки его ионами газа, и диффузионное насыщение поверхностных слоев различными элементами.

Схема установки для ионной цементации показана на рис. 1. На рис. 1 изображено: 1 – вакуумная камера; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – теплоизоляция; 4 – нагреватели; 5 – смотровое окно; 6 – источник питания тлеющего заряда; 7 – источник питания нагревателей; 8 – блок измерения и регулирования температуры; 9 – система подготовки и дозирования газовой смеси; 10 – откачная вакуумная система. Установка позволяет осуществлять, нагрев тлеющим разрядом или при дополнительном подогреве изделий при помощи графитовых нагревателей.

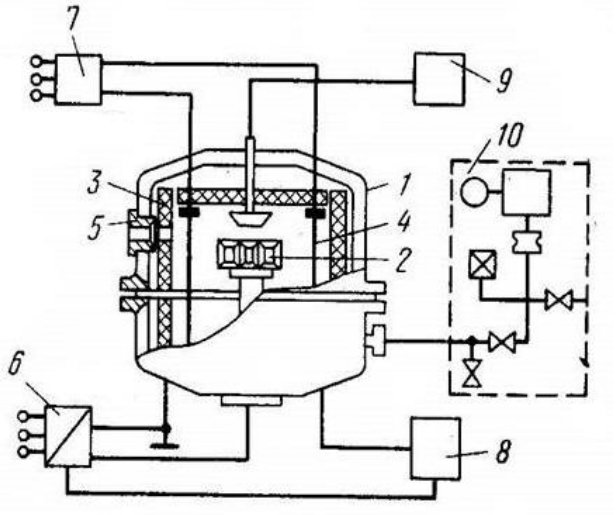


Рис. 1. Схема установки для ионной цементации

Принцип ионной цементации заключается в том, что в разряженной насыщенной атмосфере между анодом (деталью) и катодом возбуждается тлеющий разряд и ионные газы, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры насыщения. Науглероживание поверхности происходит путем ее бомбардировки ускоренными атомами (ионами) углерода, возникающими в прикатодной области тлеющего разряда. В качестве насыщающей атмосферы используются углеводороды – пропан, метан и другие в смеси с аргоном, дислоцированным аммиаком или азотом.

В рамках работы исследования проводились на образцах из стали 18ХГТ. Первый образец был подвергнут цементации в твердом карбюризаторе при температуре 900 ºС, охлаждению на воздухе, закалке в масле. На основании электронно-сканирующей микроскопии установлено, что химико-термическая обработка формирует в сталях классическую структуру, получаемую после цементации (рис. 2).

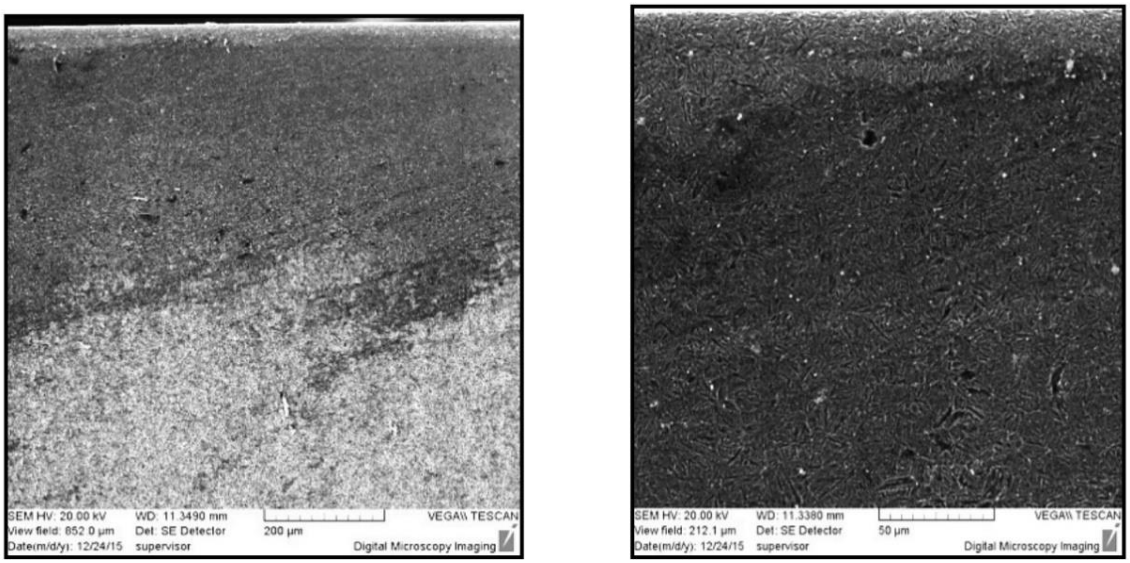


Рис. 2. Структура стали 18ХГТ поле цементации в твердом карбюризаторе

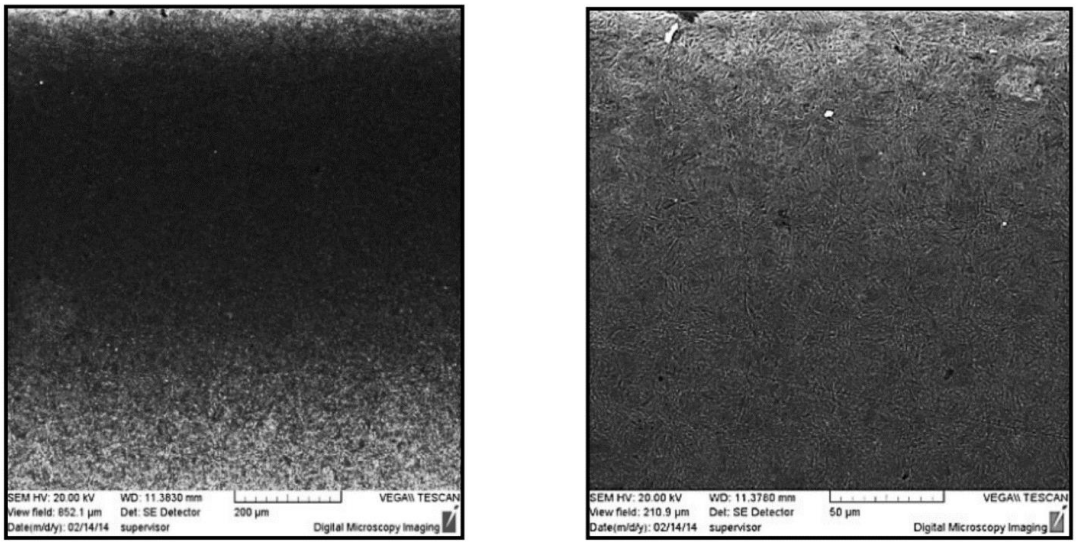


Рис. 3. Структура цементированной стали 18ХГТ после обработки в тлеющем разряде, времени обработки Т = 45 мин

Второй образец был подвергнут ионной цементации в течение 45 минут с использованием электромагнитной системы.

Анализ образцов (рис. 3) показал, что модифицирующая обработка в тлеющем разряде приводит к диспергированию карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм. В случае обработки цементированной стали 18ХГТ дополнительно происходит формирование структуры мелкоигольчатого мартенсита.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНИЗМОВ, АГРЕГАТОВ, МАШИН

Абразумов В. В., Фролов С. В., Зюзина А. А. Разработка огнезащитного герметика 3

на основе окисленного графита 3

Альбах В. А., Молотков Л. Н. Универсальная система впрыска топлива FoxInj 9

Батенков К. А. Схемы регистрации событий ошибок в цифровом тракте 11

Безносов С. К., Тужиков Е. Н. К вопросу о причинах разрушения трубопроводов, перекачивающих нефтепромысловую среду 14

Бекташов Д. А., Блинов О. В., Годлевский В. А. Компьютерное вычисление основных параметров надежности технических объектов в условиях экспоненциального закона распределения наблюдаемой случайной величины 20

Борисов А. В., Борисова И. В., Малышев В. А. К вопросу классификации образов техники по интегральной характеристике качества 25

Борисов Д. М., Топоров А. В. Конструкции способы и тактика применения модернизированной пневмогидравлического привода 30

Бурлаков А. А., Озеров О. В. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта техники связи 34

Бурцев А. В., Калентьев В. А. Определение концентрации нагрузки и распределение напряжений по длине бочкообразных зубьев зубчатых муфт в целях повышения надежности 37

Власова Л. В., Покровский П. А. Расчет удельных механических нагрузок на провода воздушных линий электропередачи 42

Гиберт И. В., Покровский А. А. Формы связи влаги с материалом напорных пожарных рукавов 47

Грачев И. А., Морозов Н. А. Возможности диагностики эксцентриситета рабочего зазора синхронной машины по внешнему магнитному полю 51

Еремочкин С. Ю., Жуков А. А., Дорохов Д. В. Разработка компьютерной имитационной модели нагрузки на валу электродвигателя механизированных установок 55

Ермилов А. В. Основной компонент системы моделирования информационной поддержки органов управления силами и средствами на пожаре 59

Ефимов А. Е., Бубнов А. Г. Влияние материала электрода на надёжность очистки воздуха от формальдегида в плазме барьерного разряда 62

Жуков В. Е., Пучков П. В. К вопросу о зарождении трещин в низкоуглеродистой стали при ударных нагрузках 65

Казутин Е. Г. Основные требования, предъявляемые к цистернам пожарных автомобилей 68

Кайбичев И. А. Технический анализ временного интервала между пожарами на реакторах типа РМБК на основе осциллятора Aroon 72

Катаев К. А., Киселев В. В. Выбор шасси мобильных роботизированных устройств наземного примненения 76

Кензеев Д. С., Кропотова Н. А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования 81

Колобов А. Б., Огурцов Ф. Б. Анализ динамики сепаратора подшипника качения 86

Колобов А. Б., Огурцов Ф. Б. Вибромониторинг и вибродиагностика вертикального центробежного насоса 90

Коломенский А. Б., Шахов С. В., Коломенский Б. А. К вопросу о влиянии остаточных напряжений на малоцикловую усталость сварных титановых соединений 97

Максимова М. А., Курочкина Е. Ю., Емелин В. Ю. К вопросу об эксплуатации АКС-74У сотрудниками правоохранительных органов 101

Курочкина Е. Ю., Емелин В. Ю., Максимова М. А. О соблюдении мер безопасности при обращении с 9-мм пистолетом Макарова 104

Легкова И. А., Зарубин В. П. К вопросу повышения эффективности проведения технического обслуживания пожарных автомобилей 107

Лётин К. А., Сизов В. В., Чекан Г. В. Основные проблемы надёжности силовых трансформаторов 112

Лётин К. А., Лебедева С. А. Модернизация учебного стенда для изучения статической балансировки 116

Митушки К. В., Сараев И. В. Обзор пожарно-спасательного оборудования для применения в условиях низких температур 119

Недилько И. А., Кропотова Н. А. Инженерно-прикладные задачи для снижения профессиональных рисков: привод лебедки 123

Нестеров С. А., Бакланов В. Д. Разработка экспериментального стенда для исследования процессов в высокоскоростных и высокотемпературных магнитожидкостных герметизаторах 127

Оревин Н. Н., Сараев И. В. Обзор гидравлического аварийно-спасательного инструмента на аккумуляторных батареях 132

Петров В. С., Зарубин В. П. Выбор способа подготовки поверхностей деталей пожарной техники под нанесение защитных составов от коррозии 137

Покровский А. А. Основные методы расчета подшипников качения 141

Птицын Д. М., Ноздрин М. А. Усталостный расчет детали фрезерного станка В100 145

Резников Д. Ю., Киселев В. В. Анализ основных причин выхода из строя беспилотных воздушных судов, применяемых для мониторинга потенциально опасных объектов 149

Рзаев И. А., Сараев И. В. Обзор беспилотных авиационных систем для работы в условиях низких температур 152

Рябинин В. В., Телегин И. А., Терентьев В. В. Улучшения эксплуатационных свойств дизелей при двухфазной подаче топлива 157

Сайкин М. С. Анализ работы магнитожидкостных герметизаторов вращающихся валов по величине относительного комплексного коэффициента 161

Снигирев М. Ю., Натареев С. В. Расчет на прочность адсорбера для очистки воды с загрузкой целлюлозосодержащим сорбентом 166

Топоров А. В. Исследование прочности изделий, полученных с использованием технологии 3D печати, в зависимости от направления приложенной нагрузки 170

Туваков А. П., Синодеева П. И., Ведерникова И. И., Егоров С. А. Использование тензометрических датчиков при работе металлорежущего станка 174

Тюмкина Е. А., Кропотова Н. А. Инженерно-прикладные задачи для снижения профессиональных рисков: устойчивость пожарной техники 179

Чеберяк В. В. Надежность и долговечность деталей, механизмов и агрегатов машин 184

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Блинов О. В., Корочкина Е. Е., Годлевский В. А. Анализ в вычислительной среде SolidWorks/FloWorks теплообмена при нагреве воздуха в замкнутом пространстве при ограниченной циркуляции 188

Волкова М. Ю. Использование программы Блендер для моделирования и визуализации сложного бионического объекта 192

Волкова М. Ю., Ратнов А. А., Павлюкова Н. Л. Использование средств компьютерной инженерии при конструировании модели автокрана на базе КРАЗ 198

Гарелина С. А., Латышенко К. П. Опыт разработки мобильных технических средств 201

Гладченко В. Я., Ольховский И. А. Определение параметров подачи установок пожаротушения тонкораспылённой водой при пожарах на общественном транспорте 210

Деев П. А., Пучков П. В. Приспособление для создания проволочного хомута 214

Жуков В. Е., Зарубин В. П. К вопросу защиты населенных пунктов в сельской местности от ландшафтных пожаров 218

Иванов В. Е. Повышение производительности системы при трехмерном моделировании деталей пожарной техники в КОМПАС-3D 224

Иванов В. Е., Кулиахметов М. К. Разработка конструкции домкрата подкатного с применением систем автоматизированного проектирования 226

Иванов В. Е., Столпяков А. А., Ширяев В. В. Разработка кронштейна для экзоскелета ... 228

Иванов В. Е. Разработка мобильного устройства для электронного хронометража на платформе Arduino 233

Колобов М. Ю., Гущина Т. В., Чагин О. В., Бойцова В. В., Гриценицкий П. Н. Повышение эффективности процесса измельчения в многоступенчатой мельнице 236

Копосов В. Н. Показатели эффективности автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС 238

Лукиенко Л. В., Чернышев А. И. Снижение энергозатрат при работе вертикального транспорта при хранении зерна 242

Малышев В. А., Борисов А. В. К вопросу о повышении эффективности обеспечения водой питьевого качества личного состава аэромобильных группировок 246

Никитин А. Ю., Федяшина М. А., Гулева Л. В. Рекомендации по подготовке образовательного контента по инженерно-графическим дисциплинам для дистанционного образования в вузах 251

Никитина С. А., Хонгорова О. В. Цифровые технологии в образовательном процессе 256

Павлов Н. А., Топоров А. В. Выбор технологии изготовления ручного немеханизированного пожарного инструмента 259

Павлюкова Н. Л. Проблемы классификации дефектов и их устранения при 3D-печати полимерными материалами 262

Павлюкова Н. Л., Синодеева П. И., Волкова М. Ю. Применение виртуальной и дополненной реальности в машиностроении 265

Палейкин М. А., Синодеева П. И., Ведерникова И. И. Технология изготовления зажимных цанг 269

Прохоров В. Ю., Токарева О. В. Визуализация решений задач в прикладной механике по теме статика 273

Пучков П. В. Использование технологии Fused Deposition Modeling для создания деталей механизмов 277

Рева Л. С., Ноздрин М. А. Прочностной расчет элемента «диафрагма» механизма управления самолёта 280

Романова А. А., Егорычева Е. В. Прототипирование 3D модели помещения детского сада с соблюдением противопожарных требований 285

Русских Т. Ю., Кропотова Н. А. Разработка биосинтетического сорбирующего бонового заграждения для робототехнического комплекса 289

Сидоров А. А. Проблемы внедрения искусственного интеллекта в САПР 294

Токарева О. В., Фролов С. В., Фролов Д. В. Создание учебно-методического комплекса дисциплин кафедры механики и инженерной графики средствами AutoCAD 298

Топорова Е. А., Зайцев И. В., Романов В. Е. Самораскрывающийся крюк для транспортировки опасных грузов 301

Топорова Е. А., Муратов Д. В. Модернизация привода промышленных краеобметочных швейных машин с фрикционной передачей движения 303

Умакова П. В., Топоров А. В. Исследование параметров электического поля в устройстве для тушения степных пожаров 307

Чернов К. А., Филатов А. М., Ведерникова И. И., Егоров С. А. Проектирование специального приспособления для сборки 310

Шмырова М. А., Покровский А. А. Анализ конструкций подъемных устройств для ремонта ходовой части пожарных автомобилей 314

Шмырова Н. А., Покровский А. А. Компоновка и расчет привода подъема пожарных рукавов в башенную сушилку 318

ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

Аманов Х. Я., Ведерникова И. И. Применение инновационных смазочно-охлаждающих технологических средств при обработке деталей 325

Белостокова А. И., Синодеева П. И., Ведерникова И. И. Применение покрытий при упрочнении инструмента 329

Городжий Д. А., Пучков П. В. К вопросу о применении магнитно-импульсной обработки для упрочнения рабочего колеса центробежного насоса 333

Гузенков С. А., Твердынин Н. М., Шарифуллина Л. Р. Исследование дефектов на поверхности высокопрочных стальных деталей, приводящих к коррозионно-механическому разрушению 336

Киселев В. В. Анализ эффективности применения противоизносных присадок в узлах трения трансмиссий пожарных автомобилей 341

Колобов М. Ю., Миронов Е. В., Травин А. Е., Колобова В. В. Интенсивность изнашивания конструкционных материалов 345

Королёв П. В., Шилов М. А. Моделирование износа эластомеров при качении с проскальзыванием 347

Маматказин Р. М., Киселев В. В. Технико-экономическая эффективность применения присадок, улучшающих эксплуатационные свойства масел и смазок 354

Муравьева О. М., Филатов А. М., Ведерникова И. И. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при обработке деталей 357

Муратов В. А., Ведерникова И. И. Применение покрытий при упрочнении инструмента. 361

Наумов А. Г., Сырбу С. А., Таратанов Н. А., Митрофанов А. С. Влияние микрокапсулированных смазочно-охлаждающих технологических средств на износостойкость режущего инструмента из стали Р6М5 363

Пьянов А. А. Упрочнение микротвердости резьбовых деталей методом прямого холодного прессования 368

Репин Д. С., Бубнов В. Б., Зарубина Е. В. Экспериментальное исследование поверхностной активности кислородсодержащих полимерных присадок к СОЖ 371

Соловьева Е. В. Смазочные и коррозионные свойства полимерсодержащих смазочно-охлаждающих жидкостей 375

Терентьев В. В., Смирнов С. Ф., Барабанов Д. В., Шевяков А. Н. Исследование влияния электрогидроудара на твердость металлической поверхности 378

Терентьев В. В., Телегин И. А., Рябинин В. В., Каплаков Д. В. Технологическое оборудование для очистки жидких смазочных материалов и рабочих жидкостей самоходной техники 384

Филатов А. М., Ведерникова И. И. Применение химико-термической обработки при изготовлении деталей 388

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XIV ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ИВАНОВО, 13 АПРЕЛЯ 2023 г.

Издается в авторской редакции

Подготовлено к изданию 12.05.2023 г.
Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 49,6. Заказ № 237

Отделение организации научных исследований
научно-технического отдела
Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России
153040, г. Иваново, пр. Строителей, 33

ISBN 978-5-907353-88-6