

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук РФ

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

«ЭНЕРГИЯ-2020»

ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 7 - 10 апреля 2020 года

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2020

УДК 62-1;62-5;621
ББК 30.1; 30.2-5-05; 34.5

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. – 166 с.

ISBN 978-5-00062-419-7
ISBN 978-5-00062-423-4(Т.4)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области электромеханотроники и управления.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электромеханотроники и управления.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена, за исключением наиболее грубых ошибок оформления.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

Зам. председателя: начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ**

Члены оргкомитета по направлению: декан электромеханического факультета – к.т.н. **Л.Н. Крайнова**, зав. кафедрой ЭиМС – ректор, д.т.н., проф. **С.В. Тарарыкин**, зав. кафедрой ТМ – к.т.н., доц. **И.И. Ведерникова**, зав. кафедрой ЭиАПУ – к.т.н., доц. **М.С. Куленко**, зав. кафедрой ЭМ – д.т.н., проф. **Ю.Б. Казаков**, зав. кафедрой ТиПМ – д.ф.-м.н., доц. **Л.Б. Маслов**, зав. кафедрой ПМ – д.ф.-м.н., проф. **В.П. Жуков**, зам. декана ЭМФ по студенческой науке – к.т.н., доц. **Т.В. Шмелева**.

Ответственный секретарь: к.т.н., доц. **ШАДРИКОВ Т.Е.**

СЕКЦИЯ 20
АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Председатель –
д.т.н., профессор **Колганов А.Р.**

Секретарь –
старший преподаватель **Захаров М.А.**

*А.А. Алексеев, студент; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ SIMULINK CONTROL DESIGN ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Программный комплекс Matlab предлагает несколько инструментов для настройки регуляторов системы управления электроприводом. Блок Check Step Response Characteristics [1] из библиотеки Simulink Design Optimization позволяет подобрать коэффициенты таким образом, чтобы реакция системы на ступенчатый сигнал соответствовала заданным критериям качества. Отдельный инструмент PID Tuner [2] из библиотеки Control System Toolbox предоставляет интерфейс для интерактивной настройки регулятора по известной модели объекта управления. Оба эти инструмента рассчитаны на работу с моделями и не предназначены для работы за пределами Matlab/Simulink.

Однако не так давно в библиотеку Simulink Control Design были добавлены блоки [3, 4], позволяющие выполнять автонастройку ПИД-регулятора (а также П, ПИ и др.) в разомкнутом или замкнутом контуре в режиме online путем генерации тестового сигнала из совокупности синусоид разной частоты, подачи его на вход объекта управления с последующим определением его передаточной функции и расчета коэффициентов в соответствии с указанными критериями быстродействия и устойчивости. В качестве основного критерия задается величина полосы пропускания, в качестве второстепенного – запас по фазе. Эти блоки, помимо функционирования на модели, поддерживают также генерацию C/C++ кода для внедрения на собственные микроконтроллеры.

Были проведены испытания блока [4] для настройки ПИД-регуляторов положения и ПИ-регуляторов тока на нескольких электроприводах. Результаты исследований показали, что коэффициенты, выдаваемые блоком, соответствуют полосе пропускания, на 10-20% выше заданной.

Библиографический список

1. Check Step Response Characteristics [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/sldo/ref/checkstepresponsecharacteristics.html>
2. PID Tuner [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/control/ref/pidtuner-app.html>
3. Open-Loop PID Autotuner [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/openlooppidautotuner.html>
4. Closed-Loop PID Autotuner [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/closedlooppidautotuner.html>

*А.А. Буцкий, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ELECTRIC DRIVE OF THE CIRCULATION PUMP FOR NUCLEAR POWER STATION

The paper focuses on electric drive of the main circulation pump of a nuclear power station (NPS). The issue of improving this electric drive system is open as it is essential for NPS modernization. The paper aims to consider the benefits of variable frequency drive (VFD).

The main advantages of variable frequency drive are safety and the option of smooth speed control.

The VFD system allows completely controlling of the drive. An 8-bit microcontroller protects the engine from overheating, short circuit, power surge, etc. In this case, all information about the state of the engine is show on liquid crystal display (LCD). [1]

Another important advantage of variable frequency drive is the ability to smoothly control the speed. This is achieved through the use of pulse width modulation and insulated-gate bipolar transistor technology in the system. The use of VFD also allows you to avoid high voltage in the engines, water hummer, overvoltage in the walls of the pipeline and equipment of increased wear. [2]

In my research, the motor speed control system will be improved. The expected outcome is to make the electric drive system more flexible and energy efficient. This will enhance the NPS efficiency and will make its operation safer.

Reference

1. **Iftekhhar, A.**, Variable frequency drive and faults detection using Microcontroller. SSRN Electronic Journal., 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2398246>.
2. **Prajapati, H., Arya, S., Bari, J.**, Variable frequency drive, 2019, 8 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3442439>

*Н.Д. Виноградов, студ.; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF MODIFIED PID CONTROLLER

The paper considers the use of the modified proportional integral derivative (PID) of the regulator in positioning systems. Positioning systems in the modern world are widespread in various areas of the technological processes, so the modification of control systems based on the PID of the regulator is relevant. The paper aims to highlight the advantages of using PID of the regulator.

The advantages of the PID of the regulator can also be considered using the example of other systems.

The DC-DC Buck Converter is used to set the required voltage level for various devices such as mobile devices, laptops, etc. To control this Converter, a control system based on the proportional integral derivative controller is employed. Changing of the controller parameters such as proportional, integral, differential coefficients (K_p , K_i , K_d) allows reaching the required voltage level. [1]

The same PID controller is now being used in the global positioning system (GPS). Modern GPS does not allow determining the location of objects indoors, so it was decided to use a robot reading radio frequency identification (RFID) tags to determine the position. The use of the PID controller to determine the labels enables you to increase the positioning accuracy of your system. Thus, it was proved that the system using RFID tags with the proportional integral derivative controller is much more efficient than previous systems. [2]

My research will focus on the modernization of PID controller. This modernized PID controller will improve the accuracy of positioning of many devices, which will lead to a change in systems based on this controller.

Reference

1. **Satpathy, S., Ghosh, S., Das, S., Debbarma, S., K Bhattacharyya, B.,** Study of Dynamic Response of DC-DC Buck Converter Based on PID Controller. International Journal of Computational Intelligence & IoT. vol. 2, No.4, 2018.
Available at <https://ssrn.com/abstract=3361548>
2. **Chen, Y.-L., Chen, Z.-R.,** A PID Positioning Controller with a Curve Fitting Model Based on RFID Technology. Journal of Applied Research and Technology. Vol. 11, 2013. p.301-310.
DOI: 10.1016/S1665-6423(13)71540-2

А.А. Горбунов, магистрант; рук. В.Г. Черников, ст. препод.,
В.И. Калашиников, к.т.н.
(ДонНТУ, г. Донецк)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа механических и скоростных характеристик асинхронного привода при различных способах регулирования/управления скоростью (рис. 1): U/f с линейной зависимостью; U/f с FCC управлением; векторное регулирование без датчика скорости. Также выполнен анализ отклонения параметров двигателя, определенных по паспортным данным и в результате автоматической настройки.

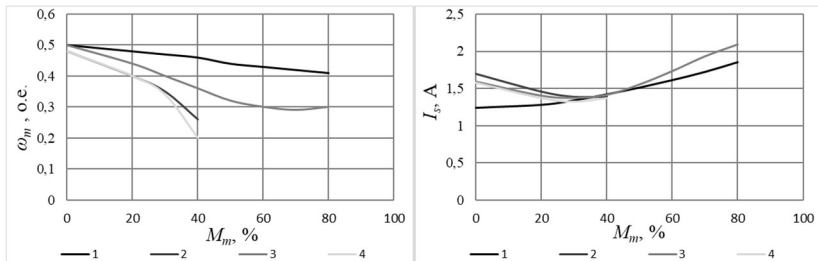


Рис. 1. Характеристики $\omega_m = f(M_m)$ и $I_s = f(M_m)$ для различных систем управления/регулирования: 1 – векторное регулирование, 2 – U/f с линейной зависимостью, 3 – FCC с компенсацией скольжения, 4 – FCC без компенсации скольжения

Анализ зависимостей $\omega_m = f(M_m)$ и $I_s = f(M_m)$ частотно-регулируемого привода показывает, что при выборе способа регулирования/управления скоростью предпочтение следует отдать векторному регулированию без датчика скорости, как с точки зрения стабильности механической характеристики, так и с точки зрения минимума потребления тока из сети.

Исследования показали, что параметры конкретного асинхронного короткозамкнутого двигателя существенно отличаются от аналогичных параметров, рассчитанных по табличным данным. Следовательно, при сравнении необходимо выбирать привода только с автоматической идентификацией параметров двигателя.

Библиографический список

1. Schröder D. Elektrische Antriebsregelung von Antriebssystemen – München, Springer, 2008.
2. Riefenstahl U. Elektrische Antriebstechnik – B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig. 2000.

**Р.О. Горелкин, студ.; рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

УСТРОЙСТВО СБОРА ИНФОРМАЦИИ И СВЯЗИ КОНТРОЛЛЕРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Для проведения испытаний и исследовательских работ с комплектами тягового электрооборудования (КТЭО) создаётся новый стенд на производственной площадке ООО «Русэлпром.СЭЗ» [1]. Этот стенд, в отличие от существующего, будет располагаться в отдельном помещении и иметь регулируемый привод гонного двигателя – имитатора ДВС, тензометрические муфты на валах синхронного тягового генератора (СГТ) и тяговых асинхронных двигателей (ТАДов), датчики фазных токов ТАД, кабину самосвала со всеми органами управления.

Управление всеми элементами стенда будет реализовано от персонального компьютера (ПК) через контроллер верхнего уровня (КВУ) КТЭО. КВУ управляет не только контроллерами приводов ТАД и СВТГ, но и контроллером ДВС по протоколу *J1939*. Преобразователь частоты (ПЧ) имитатора ДВС *Vacon NXC 1030-6* при условии подключения платы *fieldbus* поддерживает протокол *MODBUS*. Таким образом, необходимо устройство, ретранслирующее кадры *J1939* в *MODBUS* и обратно. С учётом необходимости сбора и представления в цифровом формате сигналов датчиков и измерительных муфт целесообразно создавать такое устройство самостоятельно.

Разработана плата контроллера датчиковой системы и управления ПЧ (КДСУ), обладающая двумя наборами аналоговых входов для приёма сигналов с датчиков испытуемых приводов (по 8 входов), двумя аналоговыми входами для приёма сигналов с тензометрических муфт, четыре дискретных входа и три релейных выхода общего назначения, 2 порта RS485, 1 порт CAN, дискретный вход и выход для синхронизации с ШИМ испытуемых приводов, разъем JTAG.

Разработана структура программного обеспечения (ПО) КДСУ, ведётся его разработка и отладка.

Реализация данного проекта обеспечит существенное сокращение времени проведения испытаний за счёт автоматизации процесса, повышение точности измерений, а также приближение условий работы КТЭО к работе на самосвале.

Библиографический список

1. Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Журавлев С.В., Сибирцев А.Н. Результаты разработки и испытаний комплекта электрооборудования карьерного самосвала грузоподъемностью 240т // Электротехника. - 2015.- №3, с. 38-45.

*Р.О. Горелкин, студ.; рук. Н.Е. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКТОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Одним из конкурентных преимуществ любой продукции является её качество. В транспортных средствах, работающих круглогодично и в сложных условиях, таких как карьерные самосвалы, это особенно актуально. Одним из основных способов обеспечения высокого качества является проведение испытаний на всех этапах производства [1].

В ООО «Русэлпром.СЭЗ» создан испытательный стенд для проведения приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) комплектов тягового электрооборудования (КТЭО) Белаз-90, предназначенных для использования в качестве электромеханической трансмиссии карьерного самосвала БЕ-ЛАЗ грузоподъемностью 90 тонн [2, 3].

ПСИ проводят по составленной разработчиком КТЭО программе и методике испытаний (ПМИ), включающей проверки механического и электрического монтажа, низковольтных цепей (24 В), элементов шкафа преобразователей и систем управления (ШПСУ), заряд звена постоянного тока, проверки защит, системы возбуждения тягового генератора (СВТГ), тяговых приводов, а также термопрогон КТЭО.

Автор в составе группы инженеров-испытателей выполнил ПСИ 12 комплектов. При этом выявлены следующие основные недостатки: некачественная сборка разъемов датчиков электрических машин; некачественный монтаж элементов герметизации ШПСУ; крепление жгутов кабелей с излишними изгибами; отсутствие протяжки болтовых соединений; отсутствие регулировки воздушной заслонки, установки датчиков.

По результатам ПСИ каждого комплекта оформлены протоколы испытаний с приложением 1 «Список замечаний и рекомендаций». Производители электрических машин, ШПСУ реагируют на эти замечания, что позволяет постепенно улучшать качество производства.

КТЭО, успешно прошедшие все этапы испытаний, признаны соответствующими техническим условиям (ТУ), в том числе по качеству, и переданы на отгрузку заказчику.

Библиографический список

2. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и графические дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005367>, свободный (дата обращения 14.02.2020).
3. Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Журавлев С.В., Сибирцев А.Н. Результаты разработки и испытаний комплекта электрооборудования карьерного самосвала грузоподъемностью 240т // Электротехника.- 2015.- №3, с. 38-45.

4. Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Коротков А.А., Чистосердов В.Л. Особенности тягового электрооборудования карьерного самосвала грузоподъемностью 90 тонн // Труды X Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2018. Материалы докладов конференции. 2018.– С. 194-197.

***К.К. Ермаков, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, Иваново)***

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассматривается синтез модели системы управления специальным манипулятором, предназначенного для решения задач в зоне, где непосредственное присутствие оперативного персонала невозможно или это связано с риском для их жизни.

Так как основным критерием оценки работоспособности является возможность оператора непрерывно управлять перемещением устройства захвата манипулятора в рабочей зоне, то для обеспечения рабочих режимов манипулятора не требуется высокая точность отработки положения.

Таким образом, для отечественного 6-осевого манипулятора специального назначения «Гелиос» были решены прямая и обратная задачи кинематики. Методом однородных координат получена ориентация и положение захватного устройства в глобальной системе координат по известным шарнирным координатам [1]. Для наиболее точного соответствия модели реальному манипулятору получены уравнения Лагранжа для каждого звена манипулятора [2], из которых получены коэффициенты инерции его звеньев. Определены коэффициенты регуляторов положения для каждого звена методом настройки на распределение корней по Бесселю, Баттерворту и Ньютону. Сравнительный анализ показал, что наилучший результат при регулировании выходной координаты достигается с использованием фильтров Бесселя, поэтому дальнейшая настройка каждого регулятора была ориентирована на динамику Бесселя. Таким образом, была синтезирована система управления на основе ПИД-регуляторов.

Проведенные математические испытания модели подтвердили результаты работы системы управления, полученные на реальном прототипе манипулятора специального назначения.

Дальнейшая работа над проектом предполагает реализацию системы управления на испытуемом прототипе и исследование работоспособности полученной системы в различных режимах ее работы.

Библиографический список

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р. Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2018. – 348с.

2.Ноф, Ш. Справочник по промышленной робототехнике / Ш. Ноф. – М.: Машиностроение, 1989.

Д.С. Зайцев, соиск.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Классические системы управления (СУ) вентильно-индукторного двигателя (ВИД) неспособны снизить пульсации крутящего момента, что уменьшает диапазон возможного применения таких двигателей [1]. Следовательно, есть необходимость в поиске новых решений в задачах управления. Текущее развитие микропроцессорной техники позволяет интеллектуализировать процессы управления [2].

Одним из возможных вариантов является интеграция в СУ адаптивного регулятора скорости, основанного на нечёткой логике. Достоинства нечёткого регулятора заключаются в отсутствии необходимости большого объёма информации об объекте регулирования и в более эффективном управлении при переходных процессах, чем в системах с ПИД-регулятором.

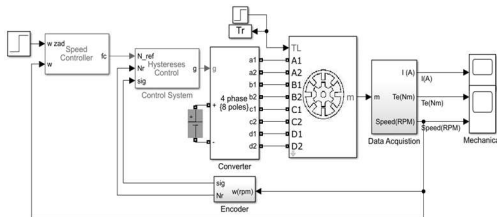


Рис. 1. Simulink-модель ВИД с нечётким регулятором.

Математическая модель такой системы была реализована в программном комплексе MATLAB/Simulink и представлена на рис.1.

Анализируя результаты моделирований и сравнивая их с СУ использующей ПИД-регулятор можно заключить, что в предложенном варианте СУ двигатель быстрее достигает заданного значения скорости, отсутствует перерегулирование, а также снизились пульсации.

Основываясь на полученных результатах, можно говорить о целесообразности использования нечётких регуляторов в задачах управления ВИД.

Библиографический список

1. Bilgin B. Switched Reluctance Motor Drives: Fundamentals to Applications / Jiang J.W., Emadi A. – CRC Press, 2018. – P. 794.
2. Krishnan R. Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications. CRC Press LCC, 2001.

Д.С. Зайцев, соиск.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕНТИЛЬНО- ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Интеллектуализация процессов управления, связанная с развитием микропроцессорных систем, позволяет совершенствовать алгоритмы управления. Благодаря таким системам становится возможным исключить из системы электропривода (ЭП) с вентильно-индукторным двигателем (ВИД) датчик положения ротора (ДПР).

Искусственная нейронная сеть (НС) используется для оценки положения ротора. Такой подход аналогичен использованию НС для снижения пульсаций крутящего момента и положения ротора, однако в данном случае положение ротора неизвестно [1]. Идентификации может рассматриваться как оценка положения ротора ВИД по току и потокоцеплению в трёхмерных отношениях, которые существуют между ними.

Значения в нейронах определяются в процессе обучения, когда к НС применяются известные текстовые данные, а также ошибка на выходе из НС передаётся обратно в сеть для настройки. Процесс использует алгоритмы обратного распределения, чтобы быстро минимизировать ошибку. Как только сеть обучена в автономном режиме, её можно включить в замкнутую систему регулируемого ЭП. Такая система представлена на рис. 1.

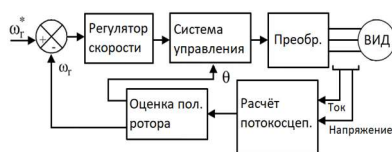


Рис. 1. Бездатчиковая система управления ВИД.

Способ определения положения ротора, основанный на искусственной НС, рассматриваем как трёхмерную таблицу с динамической сетью, способной адаптироваться при изменении параметров. Использование функции непрерывного обучения позволяет создать адаптивную НС, которая легко подстраивается к изменениям нагрузки и параметров ВИД.

Таким образом, можно заключить, что система управления с применением НС не только позволяет исключить из системы ДПР, но и значительно улучшить динамические характеристики такого ЭП.

Библиографический список

1. Bellini A. Position sensorless control of a SRM drive using ANN-techniques / Filippetti F., Franceschini G., Tassoni C., Vas P. Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc., Oct., 709–714, 1998.

*А.О. Клоков, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ

В докладе рассматриваются вопросы исследования динамических характеристик частотно–регулируемого электропривода разрывной машины модели Р-5 с предельной нагрузкой 50 кН.

В качестве исполнительного электродвигателя нагружающего устройства машины используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором отечественного производства, а в качестве силового преобразователя электропривода – преобразователь частоты фирмы KEB 07.F5.G0A – 0110 (Германия).

Для исследования динамических характеристик электропривода разработана математическая модель частотно–регулируемого электропривода разрывной машины в среде Matlab (рис.1), учитывающая специфику кинематики машины.

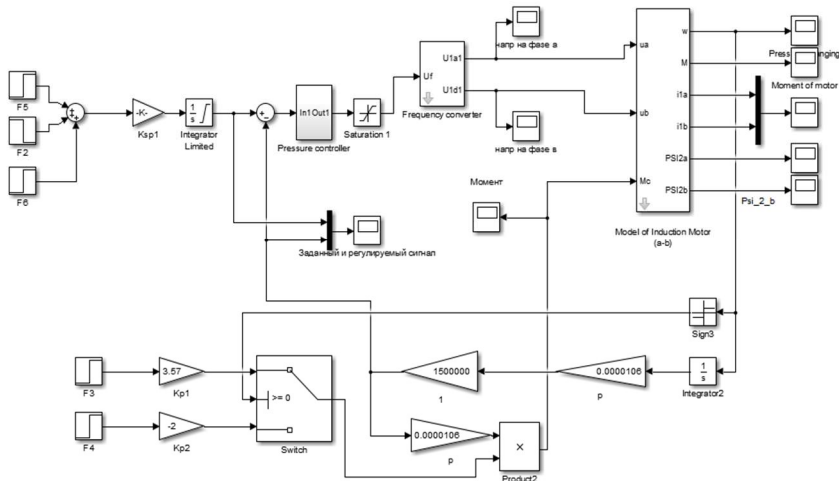


Рис. 1. Математическая модель электропривода разрывной машины в среде Matlab

Приведены результаты исследования работы электропривода на основе модели рис.1 в процессе малоцикловых испытаний материалов по треугольному и синусоидальному законам нагружения.

*А.А. Коротков, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОГО АГРЕГАТА

В докладе рассматривается электропривод насосного агрегата НГВ-2, входящего в систему подпиточных насосов теплосети ТЭЦ.

Электропривод содержит электродвигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 160 кВт, 1470 об/мин, 380 В, 283А и преобразователь частоты «Danfoss». VLT 8252 (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид преобразователя частоты Danfoss VLT 8252

Датский электротехнический концерн Danfoss A/S имеет большой опыт в разработке и производстве преобразователей частоты (ПЧ) - в 1968 году “Danfoss” первым в мире освоил СЕРИЙНОЕ производство ПЧ и является одним из мировых законодателей моды на преобразователи частоты. “Danfoss” является лидером продаж (15%) на европейском рынке низковольтных ПЧ.

В докладе рассматриваются особенности конструкции, схемы подключения, конфигурация входов/выходов преобразователя Danfoss VLT 8252.

**К. Д. Курников, студ.; рук. А. И. Хитров, к.т.н, доц.
(ПсковГУ, г. Псков)**

МЕТОД РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Знание абсолютных параметров асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД) различных серий отечественных и зарубежных производителей позволяет осуществлять моделирование динамических процессов в различных средах моделирования (например, Matlab Simulink), проводить настройку параметров регуляторов в электроприводах [1]. Однако параметры активных и индуктивных сопротивлений статора и ротора, контура намагничивания и др. доступны только для серии АД типа 4А [2].

Предлагается метод определения абсолютных параметров математической модели асинхронного электропривода для любых АД, базирующийся на данных, приведённых в [2]. Проведены расчёты абсолютных параметров асинхронных электродвигателей по относительным параметрам Г-образной схемы замещения АД для различных значений мощностей и числа пар полюсов. Полученные данные оформлены в виде таблиц и графиков, которые могут быть интересны и востребованы студентами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также специалистами, эксплуатирующими электроприводы с частотным управлением. В таблице 1 в качестве примера приведены расчётные значения активного сопротивления статора R_s , а на рисунке 1-график.

Таблица 1 - Значение сопротивления статора по типоразмеру

Тип электродвигателя	4А71В8У3 (0,25 кВт)	4А80А8У3 (0,37 кВт)	4А80В8У3 (0,55 кВт)
Сопротивление статора, Ом	35.0622	22.7049	14.3331



Рисунок 1 - График сопротивления статора R_s

Библиографический список

- 1.А.И.Хитров, А.А.Хитров.** Определение параметров электромеханической модели асинхронного двигателя. Вестник Псковского государственного университета. Серия «Технические науки». Выпуск 9, 2019. С. 31-39.
- 2. А. Э. Кравчик.** Асинхронные двигатели серии 4А. Энергоатомиздат, 1982. 504 с.

*А.М. Магомедов, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц.; М.А. Захаров
(ИГЭУ, Иваново)*

К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТЕВОГО НАСОСА

На сегодняшний день уровень автоматизации предполагает использование автоматизированного и автоматического приводов. Автоматическое управление имеет ряд преимуществ над ручным: экономия электроэнергии за счет обеспечения оптимального КПД технологического процесса, уменьшение износа оборудования, повышение надежности его эксплуатации, снижение уровня шума и т.д. В качестве управления насосных установок применяются электроприводы на базе синхронных и асинхронных двигателей, статорные обмотки которых питаются от полупроводниковых преобразователей частоты.

Основой для проекта послужила система водоснабжения Каспийской ТЭЦ, а именно сетевой насос СЭ-1250-140-11. Для этого насоса были подобраны асинхронный двигатель ДАЗО4-450У-4МТ2 и высоковольтный преобразователь частоты Siemens Perfect Harmony. После расчета параметров необходимых для проведения эксперимента, была разработана модель электропривода насоса в программной среде MATLAB/Simulink. MATLAB-модель позволяет в реальном времени производить исследования статических и динамических режимов работы. В результате моделирования были получены переходные процессы момента, напора и скорости при пуске и изменении производительности, которые позволяют оценить электромагнитные процессы, происходящие в системе.

Практическую значимость представляет исследование аварийных режимов работы привода сетевого насоса для выявления диагностических признаков. Они могут помочь раннему диагностированию нарушений работы привода и предотвращению аварий. Проведение натурных экспериментов дороги и опасны. С этой целью имеет практический интерес создание адекватной модели, способной производить расчет в реальном времени. Проверку адекватности модели можно проводить на моделях двигателей полученных в Ansys Maxwell.

На начальном этапе исследования необходимо разработать эталонную модель в Ansys Maxwell и провести сравнение результатов полученных в ней с данными полученными в результате работы оборудования Каспийской ТЭЦ.

*А.М. Магомедов, маг. I-31; рук. А.М. Захаров; к.т.н, доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ELECTRIC DRIVE OF THE LINE PUMP

This paper discusses the change of speed to control the pump system based on frequency variation. The significance of the research is to save electricity and increase the durability of mechanisms. The paper aims to consider the latest research in the field.

Water supply systems and speed control of an induction motor were investigated in a number of researches.

V. Pliuhin et al. tested a squirrel cage controlled induction motor system. For this, a simulation model of the system was developed in the ANSYS RMxprt, ANSYS Maxwell and ANSYS Simplorer. The engine characteristics were obtained in the rated and starting modes, which allows us to give recommendations on determining the optimal position of a high-speed engine. The research outcome was a reduction in vibration and noise. Their experimental study confirmed the adequacy of the developed model, which enabled them to upgrade the existing motors and to design motors for new high-speed construction [1].

G. De Araujo Moura et al. introduced a control system for controlling pressure in water supply networks. The controller maintains the pump head at the optimum level, eliminating overpressure in the system. The advantage of the propose methodology is that when the network is trained it allows evaluating the process at any number of measurement points. This leads to increase hydraulic and energy efficiency. An experiment confirmed the effectiveness of this system [2].

My research combined both methods and suggested some changes. The main changes are change of the converter and pressure control with the help of speed feedback, as well as the simulation of the system in the MATLAB software package. In conclusion, the pump system with high frequency converter shows good results both in economical and technical terms.

References

1. **Pliuhin, V.; Petrenko, O.; Ginina, V.; Grinin, O.; Ehorov, A.** Imitation Model of a High-Speed Induction Motor with Frequency Control . Electrical Engineering & Electromechanics. 2017. no.6.
Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3201912>
2. **De Araújo Moura, G.; Marques Bezerra, S.D.T.; Pimentel Gomes, H.; da Silvac, S.A.** Sistema de Controle Fuzzy Neural para Operação Ótima de Redes de Distribuição de Água (Neural Fuzzy Control System for Optimal Operation of Water Distribution Networks). Proceedings of the Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA 2017), Bogotá, Colombia, 30 November 2017.
doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3113742>

*Т.И. Петров, асп., А.Р. Холикова, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Синхронные электрические машины с постоянными магнитами находят все большее применение в различных приводных технических комплексах (нефтяная промышленность, малая генерация, авиационная промышленность и т.д.), за счет более высоких энергетических показателей, по сравнению с асинхронными аналогичными двигателями, однако стоит отметить и главный недостаток – высокая стоимость.

Комплексная топологическая оптимизация роторов синхронных электрических машин с постоянными магнитами позволяет перенести топологическую оптимизацию на электромагнитные и тепловые процессы, прочностной расчет с целью повышения энергетических характеристик и надежности электрической машины при заданных массо-габаритных показателях.

Обзор научно-технической литературы [1,2,3], интернет ресурсов, данных производителей электрических машин показывает, что на сегодняшний день не существует программного комплекса, реализующего комплексную топологическую оптимизацию ротора электрических машин. Таким образом цель работы создать данный комплекс.

Полученный комплекс можно будет использовать для повышения энергоэффективности и ресурсосбережения, например, для таких компаний Казани, как «Электрон», «НЭФИС», Казанкомпрессормаш, ПАО «Казаньоргсинтез» и ряд других, использующих синхронные двигатели в качестве электроприводов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90134.

Библиографический список

1. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. №4 (51).
2. Васильев Б. Е., Магеррамова Л. А. Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании неохлаждаемых рабочих лопаток турбин // Вестник СГАУ. 2015. №3-1.
3. Мягков Л.Л., Сивачев С.М., Стрижов Е.Е., Чирский С.П. Топологическая оптимизация поршня высокофорсированного дизеля// Двигателестроение. — 2018. — № 2. — С. 3–10.

*Д.В.Пыхов, магистрант, Ю.П. Спичков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИНХРОННЫЙ ВЕКТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

В рамках данной работы рассмотрен электропривод механизма подачи фрезерных станков. Необходимые свойства электропривода подачи определяются особенностями движения подачи. Именно эти особенности определяют мощность, момент, способ регулирования, необходимую плавность регулирования, требования к динамическим характеристикам, к жесткости механических характеристик и стабильности скорости. Ранее в этих механизмах использовались высокомоментные двигатели постоянного тока, а в последние годы - вентильные электродвигатели.

В приводах подачи, где требуется регулирование скорости вращения до 2000:1 и выше синхронный электродвигатель (СДПМ), имея высокий пусковой момент, обеспечивает хорошую динамику в электроприводах подачи. При этом они обеспечивают стабильную работу при очень малых скоростях.

Выполнен анализ основных систем управления электроприводами с синхронными двигателями и показана целесообразность применения отечественного частотно-регулируемого электропривода ЭПВ, исп.3. В целом технические характеристики преобразователей и комплектных электроприводов серии ЭПВ не уступают зарубежным налогам. По стоимости преобразователи серии ЭПВ являются одним из самых недорогих предложений на российском рынке. Такие электропривода с векторным управлением дает возможность обеспечить работу электродвигателя в режиме оптимального КПД, что существенно снизить потребление электроэнергии (на 15-20%).

В основу исследований данного электропривода положена математическая модель синхронного двигателя в системе координат d, q , ориентированной по магнитной оси ротора

Такое представление двигателя позволяет интерпретировать СД, как эквивалентную машину постоянного тока и система векторного управления электроприводом может строиться аналогично.

Библиографический список

1. Электроприводы. Термины и определения. ГОСТ 16593-79

*Д.А. Синяков, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц; М.А. Захаров
(ИГЭУ г.Иваново)*

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

В наше время всё больше появляется автоматизированных устройств, упрощающих жизнь человека. Среди них присутствуют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Одним из наиболее распространенных видов БПЛА является квадрокоптер. Квадрокоптеры помогают изучить местность с высоты птичьего полёта на далёком расстоянии. Управление может осуществляться дистанционно и в автоматическом режиме.

Для обеспечения возможности перемещения квадрокоптера в автоматическом режиме необходимо решить проблему распознавания квадрокоптером объектов вокруг него для избегания столкновений и ориентации на местности.

Одним из решений может стать машинное зрение, позволяющее анализировать картинку получаемую цифровой камерой. Машинное зрение — раздел робототехники, который использует анализ изображений для решения промышленных задач.

Цифровая камера снимает изображение и передает его в компьютер. Специальное ПО анализирует данные изображения и ставит задачи оборудованию.

Для правильной работы машинного зрения нужна устойчивая среда: подходящее освещение, предсказуемое расположение объектов, точное понимание положения камеры и её характеристик.

Часто в системах машинного зрения используют дополнительные устройства. В первую очередь это датчики: датчики движения, инфракрасные, фотоэлектрические датчики и т. д. Они позволяют получать больше информации об объекте съемки.

Целью работы является реализация системы технического зрения квадрокоптера, разработанного сотрудниками студенческого научного объединения учащихся ИГЭУ.

*А.А. Чепига, студ.; рук. А.С. Анучин, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОУСТАНОВКИ В РЕЖИМЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Современные ветрогенераторные установки используют принцип переменной скорости вращения, который позволяет ветроколесу работать с коэффициентом мощности, близким к максимальному [1]. В идеальном случае скорость вращения ветроколеса должна изменяться пропорционально скорости ветра, но поддержка этого принципа в идеальном виде не возможна по причине особенности построения системы регулирования ветроустановки, а также из-за специфики поведения скорости ветра [2]. Поэтому целесообразно провести оценку влияния вышеперечисленных факторов на энергоэффективность ветроустановки.

Цель данной работы – провести количественную оценку отклонения коэффициента мощности ветроколеса от максимального значения при моделировании работы ветроустановки с использованием спектральной модели скорости ветра Ван дер Ховена.

Проведенные исследования показали, что разработанная система управления в режиме максимальной мощности позволяет поддерживать коэффициент мощности ветроколеса очень близко к его максимальному значению (отклонение от максимума на 0,2%), что свидетельствует о высокой энергоэффективности предложенной системы. Такое незначительное отклонение коэффициента мощности от максимального значения обусловлено незначительным отклонением текущей быстроходности ветроколеса от расчетной, что в свою очередь объясняется характером спектральной плотности мощности в модели ветра Ван дер Ховена[3]. Продемонстрирована также повышенная энергоэффективность режима максимальной мощности, который обеспечивается переменной скоростью вращения ветроколеса.

Библиографический список

1. Radhakrishna Kotti, Shyam Janakiraman, Wajih Shireen, "Adaptive sensorless Maximum Power Point Tracking control for PMSG Wind Energy Conversion Systems," 2014 IEEE 15th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 22-25 June 2014.
2. F. D. Freijedo, S. K. Chaudhary, R. Teodorescu, J. M. Guerrero, C. L. Bak, L. H. Kocewiak, C. F. Jensen, "Harmonic resonances in Wind Power Plants: Modeling, analysis and active mitigation methods," 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, 29 June - 2 July 2015.
3. U. B. Qureshi, S. J. Iqbal, "Development of a wind turbine simulator using a separately excited DC motor for induction generator testing," 7th 2016 IEEE Power India International Conference (PICON), 25-27 Nov. 2016.

*А.А. Чепига, Е.Е. Корытченкова, маг.;
рук. В.И. Калашиников, к.т.н., проф.
(ДонНТУ, г. Донецк)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VEHICLE-TO-GRID В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Развитие альтернативной энергетики влечет за собой необходимость усовершенствования технологий накопления энергии, для которых одним из главных условий является способность поддержания баланса мощностей, генерируемых возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), и требуемого уровня частоты в энергосистеме. Одним из вариантов решения этой задачи является технология Vehicle-to-Grid (V2G), подразумевающая создание контролируемого и двунаправленного потока электроэнергии между электромобилем (ЭМ) и энергосистемой. ЭМ подключается в общую электрическую сеть для подзарядки аккумулятора с возможностью выдачи электроэнергии обратно в сеть, когда электроэнергетической компании необходима энергия, например, для обеспечения пиковой мощности – таким образом, V2G позволяет непосредственно участвовать в управлении спросом на электроэнергию и стабилизировать работу энергосистемы.

С целью анализа данной концепции была разработана математическая модель энергосистемы с ВИЭ, использующей технологию V2G, в среде MATLAB/Simulink. Исследования показывают, что транспортные средства не используются для активных перевозок более 90% времени [1]. Поэтому в это время батареи ЭМ могут использоваться для обслуживания рынков электроэнергии без ущерба для их основной транспортной функции. Для приведения в движение ЭМ используются как синхронные, так и асинхронные двигатели [2]. ЭМ заряжается от источника энергии вне транспортного средства, он может быть автономным – солнечная батарея или водородный генератор, преобразующий топливо в электричество. Будущее транспорта – более эффективные системы электропривода.

Библиографический список

1. Knupfer M., Sprake D., Vagapov Y., Anuchin A. Cross impact analysis of Vehicle-to-Grid technologies in the context of 2030. IEEE IX International Conference on Power Drives Systems (ICPDS), 3-7 Oct. 2016.
2. Анучин А.С. Разработка цифровых систем эффективного управления комплектов тягового электрооборудования гибридных электрических транспортных средств: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Анучин Алексей Сергеевич. – Москва, 2018. – 445 с.

*И.Е. Шалов, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц.; М.А. Захаров
(ИГЭУ, Иваново)*

К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТЕВОГО НАСОСА

Подвижные роботы нужны, так как они могут работать в экстремальных условиях. Они выполняют огромное количество работы. Так роботы используются в медицине, их функционал очень широк от диагностирования до помощи в хирургических операциях. Роботы способны заменить людей при проведении аварийно-спасательных работ в атомной энергетике, в химической, нефтегазовой и горнодобывающей отраслях. Во время ликвидации последствий стихийных бедствий, в операциях по борьбе с терроризмом, при охране объектов и патрулировании территорий, а также в космических исследованиях планет Солнечной системы и Луны. А также подвижные роботы используются и в обычных условия для выполнения долгих и монотонных работ в качестве внутрицехового транспорта, на автоматизированных складах и на земельных работах. Существуют несколько способов передвижения робота. К ним относятся передвижение на колёсах или гусеницах, передвижение шагами, полёт, плавание, перемещение по вертикальной поверхности и ползание. Хотелось бы подробнее остановиться на передвижение познанием. Преимуществом данного вида в том, что существует возможность перемещения в крайне узких пространствах. Например, робот-червь, в нем используется интересный вид передвижения, основанные на принципе «бегущей волны». Так при помощи одного двигателя и кривошипно-шатунного механизма создается волны, которая и заставляет робота двигаться. Робот может при определенном оснащении плавать, так же передвигаться в узки проходах и по неровной поверхности, карабкаться между двух узко поставленных поверхностей. В перспективах робота можно минимизировать до таких размеров, что он сможет проникать внутрь человека и снимать кишечник и брать разные образцы.

СЕКЦИЯ 21
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Председатель –
д.т.н., профессор **Казаков Ю.Б.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Караулов В.Н.**

*И.А. Кравале, маг.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОЛЕВОЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С СОВМЕЩЕННОЙ ОБМОТКОЙ ТИПА «СЛАВЯНКА»

Согласно теории электрических машин, чем больше фаз имеет машина, тем выше ее энергетические показатели. Использование совмещенных обмоток для электродвигателей позволяет создавать внутри трехфазной машины поле эквивалентное полю многофазной машины. Благодаря этой способности совмещенные обмотки получили большой интерес. В частности, моделирование обмотки «славянка» аналитическим методом на основе схемы замещения показало прирост коэффициента полезного действия и коэффициента мощности в сравнении с использованием стандартной трехфазной обмотки [1].

Полевой подход к моделированию электрических машин дает более детальную картину электромагнитных процессов, так как способен учитывать двустороннюю зубчатость, насыщение стали, реакцию токов ротора и реальное расположение катушек обмотки по пазам. В виртуальных экспериментах использовался асинхронный двигатель мощностью 18 кВт, КПД 89,3%, $\cos\varphi$ 0,90 о.е.; с номинальной скоростью вращения 1500 об/мин, собственной двухслойной обмоткой, соединенной в звезду, питающейся от сети с линейным напряжением 380 В. Расчеты поля в машине показали, что распределение магнитной индукции вдоль линии зазора, созданного обмоткой «славянка», имеет схожий гармонический состав, что и распределение магнитного поля, созданного оригинальной обмоткой двигателя. Как следствие, у совмещенной обмотки «славянка» не было выявлено значительных преимуществ энергетических показателей при различной нагрузке двигателя.

Дальнейшая работа в этой области предполагает анализ полевых электромагнитных процессов в крупных, высоковольтных и частотно-регулируемых двигателях, использующих в своей основе обмотку «славянка».

Библиографический список

1. Мощинский Ю.А., Соколова Е.М. Преимущества и недостатки совмещенной обмотки «славянка» // Электричество. 2018. № 11. С. 23-31.

*И.С. Егоров, студ.; рук. Н.А.Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЦЕПОЧЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ В МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЛОИДАХ

При больших скоростях сдвигового течения в электромеханических демпфирующих устройствах с магнитной жидкостью (МЖ) вязкость рабочего тела под действием магнитного поля увеличивается всего на 10–15 % относительно вязкости жидкости-носителя. Существуют демпфирующие устройства, которые должны гасить колебания малой частоты и амплитуды, в которых МЖ перемещается с малыми скоростями сдвига, совершает колебательные движения. В таких режимах вязкость МЖ велика из-за её структурирования в магнитном поле. За счёт магнитного диполь-дипольного взаимодействия [1] в зазоре электромеханической системы возникают цепочечные группы частиц твердой магнитной фазы. Могут быть и замкнутые кольцевые агрегаты, которые в магнитных полях проявляются как слабоманитные частицы. В сильных магнитных полях такие агрегаты разрушаются на линейные структуры, имеющие сильные магнитные свойства.

Результаты моделирования показывают, что с ростом количества частиц в цепочке её магнитные свойства увеличиваются. Однако магнитные свойства цепочки при росте количества частиц от 5 до 10 возрастают только на 10 %, а при дальнейшем увеличении числа частиц значение поля практически не изменяется. При плотном положении шарообразных частиц в цепочке поток рассеяния достигает 60 %.

Моделирование взаимодействия шарообразных частиц в цепочечных агрегатах с разными расстояниями между частицами и напряжённостями внешнего магнитного поля показало, что внешнее магнитное поле увеличивает силы взаимодействия между частицами. Силы действуют на крайние частицы в цепочках, сжимая цепочку, что повышает её устойчивость. При напряжённостях внешнего поля, не превышающих значения предельной намагниченности материала частиц, силы, сжимающие цепочку, изменяются на 30 %. Создание условий для возникновения цепочечных агрегатов в МЖ, которые значительно увеличивают вязкость рабочей среды, являются новым направлением в разработке эффективных управляемых магнитожидкостных демпфирующих устройств.

Библиографический список

1. Казаков, Ю.Б. Управляемые демпфирующие устройства с использованием нанодисперсных магнитных жидкостей / Ю.Б.Казаков, Н.А.Морозов, С.А.Нестеров И.М.Арефьев // ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. –148

*А.В. Плаксин, магистрант; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАТОРА С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

В настоящее время идет процесс ужесточения требований к силовым трансформаторам. Важнейшим из этих требований является снижение потерь холостого хода (XX). Согласно этим требованиям, для того, чтобы выдержать конкуренцию на рынке силовых трансформаторов, необходимо в итоге перейти на класс потерь X_4 , что соответствует аналогичному западному стандарту по потерям XX AAA_0 . В этом случае потери XX должны снизиться по сравнению с современными аналогами примерно в 4 раза. Это возможно только при переходе на изготовление сердечников трансформаторов из аморфной стали.

В настоящее время в ИГЭУ разработана методика проектирования трансформаторов с сердечником из аморфной стали (ТА) и разработаны несколько версий расчетных подсистем САПР ТА, которые апробированы на ООО «Трансформер». Методика проектирования рассчитана на витую стержневую и бронестержневую конструкции магнитопровода с прямоугольным сечением.

. Расчет ведется как по упрощенной инженерной методике, так и по уточненной методике с использованием конечно-элементной модели магнитного поля (модель генерируется автоматически) с учетом наличия технологических зазоров. На рисунке 1 показан ток внезапного КЗ трансформатора на первичной обмотке и на рисунке 2 КЗ вторичной обмотки соответственно. На рисунке 3 показано распределение индукции по сечению стержня ВЧ трансформатора.

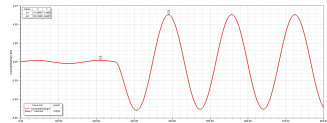


Рис. 1. Внезапное КЗ трансформатора, первичная обмотка.

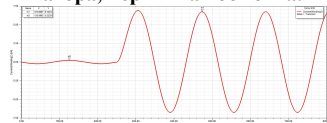


Рис. 2. Внезапное КЗ трансформатора, вторичная обмотка.

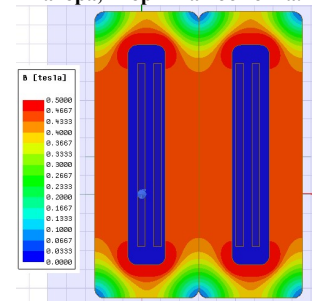


Рис. 3. Распределение индукции по сечению трансформатора

*М.И. Голубкина, студ.; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.,
С.А. Нестеров, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Переходные процессы в электрических аппаратах, в первую очередь во время включения и отключения аппарата, существенно влияют на их эксплуатационные характеристики, чем определяется актуальность их изучения. Однако, на практике, экспериментальные исследования аппаратов проходят в статических или квазистатических режимах. [1, 2]

Для исследования электромагнитных процессов, проходящих в контакторе постоянного тока в моменты подачи напряжения на катушку управления и отключения её от сети, разработаны статические и динамические полевые модели его магнитной системы в пакете конечно-элементного моделирования Ansoft Maxwell.

По результатам полевого расчёта получены зависимости тягового усилия электромагнита от зазора между якорем и сердечником в квазистатическом режиме, изменение тягового усилия после подачи напряжения на катушку управления при снятии динамических характеристик. Графики изменения ЭДС и тока в катушке управления во время переходных режимов. Проанализировано распределение магнитных потоков рассеяния в контакторе постоянного тока и их зависимость от насыщения магнитной цепи.

Анализ результатов расчётов даёт возможность судить о динамике процессов, происходящих в контакторе постоянного тока, по экспериментально полученным статическим тяговым характеристикам, изменению тока в катушке управления во время включения или ЭДС, наводимой в катушке, после отключения её от сети. [3]

Библиографический список

1. Электрические и электронные аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П.А. Курбатова. – М.: Издательство Юрайт, 2016. 440 с.
2. Кузнецов Р.С. Аппараты распределительных устройств низкого напряжения. М.–Л.: Энергоиздат, 1962. 448 с.
3. Тер-Акопов А.К. Динамика быстродействующих электромагнитов. М.–Л.: Энергия, 1965. 168 с.

*А. Семко, студ.; рук. Н.А.Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ВНЕШНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Асинхронные и синхронные двигатели являются основными электромашинными преобразователями электрической энергии в механическую. Они широко используются на промышленных предприятиях для привода различного оборудования, как двигатели собственных нужд ТЭЦ и ТЭС, основное оборудование насосных станций.

Огромное значение имеют и синхронные генераторы – основные электромеханические преобразователи механической энергии в электрическую. Выход из строя любой электрической машины большой мощности влечёт за собой экономические потери от неполучения продукции для двигателей и очень чувствительные штрафы электрогенерирующим станциям. Поэтому диагностика состояния электрических машин является трудной, но чрезвычайно актуальной задачей.

Одна из главных проблем – очень ограниченная доступность внутреннего пространства машины. Поэтому мониторинг состояния машины по контролю внешнего электромагнитного поля, которое стало доступно с появлением новых средств регистрации слабых полей, стало перспективным направлением исследований. В этих условиях важнейшим направлением работы становится нахождение чётких связей между внутренними неисправностями в электрической машине и проявлением их во внешнем электромагнитном поле.

Наиболее перспективным в настоящее время является контроль магнитной составляющей внешнего электромагнитного поля машины, что стало возможным с появлением нового поколения датчиков Холла. Моделирование внешнего магнитного поля электрических генераторов [1, 2] показывает хорошие перспективы в этом направлении. Основным направлением дальнейшей работы является нахождение чётких связей между конкретным состоянием узлов электрической машины и его проявлением во внешнем магнитном поле.

Библиографический список

1. **Казаков, Ю.Б.** Модельные несимметрии внешнего электромагнитного поля при повреждаемости синхронных генераторов / Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, И.В. Гуляев // Электротехника. - №1, 2019. – С. 13-18.
2. **Казаков, Ю.Б.** Метод диагностики дефектов синхронных генераторов по изменению внешнего электромагнитного поля / Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский, Е.А. Шумилов // Вестник ИГЭУ. - № 1, 2019. – С. 55-61.

*А. П. Корепов, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ПАЗАМИ НА РОТОРЕ

Асинхронные двигатели, применяемые в приводах транспортных и подъемно-транспортных механизмов (электромобилей, электровозов, лифтов, кранов, насосов, станков качалок и т.д.), работающие с тяжелыми условиями пуска, должны обеспечивать повышенный пусковой момент при хороших энергетических показателях в номинальном режиме.

Применение чередующихся пазов на роторе позволяет получить повышенный пусковой момент при сохранении энергетических показателей. Одна форма пазов отвечает за повышенные пусковые показатели, а другая форма - хорошие энергетические показатели в номинальном режиме работы.

Был спроектирован трёхфазный шестиполусный АД мощностью 25 кВт с чередующимися пазами на роторе на основе методики [1] с изменениями на основе работы [2]. Расчетные характеристики соответствуют техническому заданию.

Полевая модель АД в Ansoft Maxwell была построена и рассчитана для сравнения результатов с цепной моделью.

Анализ результатов расчётов по цепной и полевой моделям дал результат, что номинальные параметры двигателя не отличаются друг от друга с отклонениями до 7 % и техническому заданию в номинальном режиме, а пусковые параметры с повышенными показателями отличаются не более чем на 12 %.

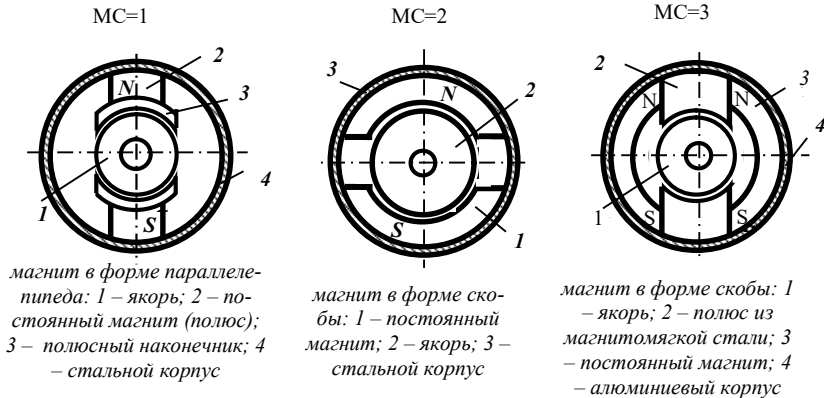
Библиографический список

1. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов. – В 2-х кн./ И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под. ред. И.П. Копылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993.-464 с., ил.
2. Макаров Л.Н. Разработка и освоение производства высокоэффективной конкурентоспособной серии асинхронных машин // Дисс. в виде научн. докл. на соискание уч. степени д.т.н. по спец. – Электромеханика и электрические аппараты. – М.: МЭИ, 2006. – 40 с.

*М.И. Киселев, студ.; рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В ДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Рассматриваются двигатели одной мощности, одного напряжения и частоты вращения со следующими магнитными системами.



Показано, что в перечисленных магнитных системах целесообразно использовать постоянные магниты: MC=1-магниты на основе редкоземельных материалов, например, NdFeB; MC=2- магниты на основе редкоземельных материалов или магнитотвердых ферритов, например, 28СА250; MC=3-магниты на основе литых и металлокерамических сплавов, например, ЮН13ДК25А.

Целесообразное использование магнитов означает, что двигатели получаются примерно одинаковых габаритов, массы и стоимости. В противном случае по указанным параметрам двигатели будут сильно отличаться друг от друга.

Проектирование двигателей выполнено в среде Mathcad 15. С помощью пакета Elcut Professional исследовано магнитное поле и рассчитана температура обмотки якоря при повторно-кратковременном режиме работы.

Библиографический список

1. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. М.: Высшая школа, 1967. 503 с.

В данной работе рассматривается проблема проектирования силовых трансформаторов, в частности моделирования режимов работы трансформатора Скотта. Трансформаторы, работающие по системе Скотта, служат для преобразования трехфазного напряжения переменного тока в двухфазное (рис. 1). Сложность моделирования процессов данного трансформатора

Модель представляет собой разработанный блок MatLab Simulink SimPowerSystems, который можно интегрировать в различные модели электрических цепей со своими источниками питания и произвольной нагрузкой. Трудностью моделирования является расчет тока намагничивания трансформатора с помощью матриц индуктивностей.

Работа над данным трансформатором актуальна, так как он является мелкосерийным и выпускается в малых количествах, что требует создания точных моделей для успешного проектирования.

1. Л.А. Герман. Трансформаторы для тягового электроснабжения железных дорог./ Рук. по вып. лаб. раб./ РГОТУПС, Москва – 2007, 42 с.

*Е.А. Бoльшaкoвa, студ.; рук. Н.А. Морoзoв, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Ивaнoвo)*

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ДРУГИХ СТРАНАХ МИРА

Расширяющиеся связи России с иностранными государствами делают актуальной задачу использования электротехнического оборудования, выпускаемого в России, в частности асинхронных двигателей, в других странах мира, в которых электрические сети отличаются по своим параметрам: разными значениями напряжений и частот сетей.

В электрических сетях разных стран мира базовыми являются два значения частоты 50 и 60 Гц. Основной трудностью определения рекомендаций по использованию электротехнического оборудования, спроектированного для сети одних номинальных параметров, в сетях с другими параметрами, является их непропорциональное изменение относительно разности значений частот. Коэффициент соотношения часто равен 1,2, а напряжения отличаются от принятых в России значений в другой пропорции. Кроме этого есть страны, в которых при частоте 50 Гц номиналы напряжений отличаются от установленных в России (табл. 1).

Таблица 1. Номинальные значения напряжений и частот разных стран мира

Страна	Россия		США		Суринам		Колумбия		Бразилия		Канада	
% от России	Знач.	%	Знач.	%	Знач.	%	Знач.	%	Знач.	%	Знач.	%
f, Гц	50	100	60	120	60	120	60	120	60	120	60	120
U, В	220	100	208	94,5	220	100	220	100	220	100	240	109,1
	380	100	277	72,9	400	105,3	440	115,8	380	100	347	91,3
	660	100	480	72,7	-	-	-	-	-	-	600	90,9

Из приведённых данных видно, что соотношения частот и номинальных напряжений в разных странах мира не пропорциональны значениям этих величин в России. Если бы при частоте 60 Гц напряжение в другой стране было меньше номинального значения напряжения в России в 0,8333 раза, то значение магнитного потока в машине осталось бы неизменным. Этого нет. Следовательно, использование электрических машин, выпускаемых в России, возможно только при определённых условиях, которые следует определить.

Библиографический список

1. Three-phase electric power (industrial applications only) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.worldstandards.eu/there-phase-electric-power/> Дата посещения: 07.02.2020

**Р.В. Ступенков, студ.; рук. А.И.Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА САПР ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

Использование в силовых трансформаторах сердечников из аморфной стали (ТА) позволяет получить пониженные в четыре и более раз потери холостого хода при сохранении энергетических показателей.

Для расчета сухих и масляных ТА разрабатывается система проектирования. В качестве основы САПР ТА выбран табличный процессор MSExcel. Математический аппарат реализован в виде макросов VBA. САПР ТА позволит рассчитывать и оптимизировать по 18 параметрам ТА витой стержневой и бронестержневой конструкции с прямоугольным сечением магнитопровода. Опробован метод оптимизации с использованием генетических алгоритмов. Уточненный поверочный расчет будет осуществляться с использованием автоматически генерируемой конечно-элементной модели магнитного поля (рис. 1).

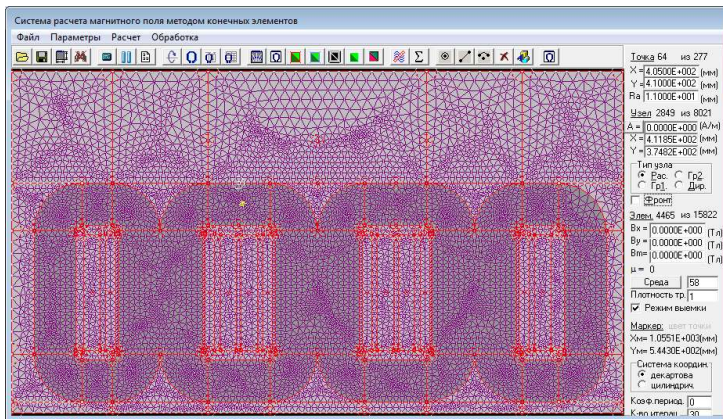


Рис.1. Конечно-элементная модель ТА бронестержневой конструкции

В настоящее время разработан и реализован в среде MathCAD алгоритм расчета ТА. Был спроектирован трёхфазный ТА мощностью 1000 кВт. Сравнение результатов расчета ТА и трансформатора из обычной электротехнической стали (3408) по цепной и полевой моделям показал снижение потерь ХХ в 4 раза.

*Д. А. Брыксин, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЗОР И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Среди различных отраслей производства, предполагающих применение электрических машин, в некоторых случаях возникает потребность в возвратно-поступательном движении подвижного элемента. Зачастую, чтобы это осуществить, к традиционным электрическим машинам присоединялось дополнительное механическое устройство, преобразующее вращательное движение в возвратно-поступательное. Это вело к увеличению потерь, габаритов, стоимости, а также к снижению надежности всего устройства. Для исключения подобного вида проблем целесообразно использовать электрические машины возвратно-поступательного движения. Данный тип машин нашел применение во многих сферах производства, как в двигательном режиме работы, так и в генераторном.

В настоящей работе выполнен анализ электрических машин возвратно-поступательного движения, отличающихся конструкцией и принципом действия. Составлена классификация рассмотренных машин. Выбрана наиболее эффективная конструкция и осуществлён проектный и поверочный расчёт машины в соответствии требуемыми показателями. Показаны особенности этого расчёта.

Библиографический список

1. Хитерер М.Я., Овчинников И. Е. // Синхронные машины возвратно-поступательного движения. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 368 с.
2. Копылов А.М. // Совершенствование конструкции синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с применением генетического алгоритма // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань. 2018. -148с.

*К. Середя, студ.; рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ С ГЛАДКИМ ЯКОРЕМ ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Синхронные генераторы являются хорошими источниками электроэнергии, и поэтому широко применяются на электрических станциях, в том числе и ветроэнергетике, благодаря своей способности генерировать активную и реактивную мощность, своему высокому КПД и высокой надежности.

Поскольку ветер обладает достаточно большим потенциалом энергии, то один ветрогенератор сможет обеспечить загородный дом электроэнергией в полной мере.

В настоящее время, ветрогенераторы получают большое применение в полях, где постоянно дуют сильные ветра можно увидеть огромное количество башен с десятиметровыми лопастями, имеющими высоту около ста метров.

Ветрогенераторы - это уникальные источники энергии, так как они являются очень экологичными машинами, и даже не смотря на свои недостатки в плане технических установок, в перебоях по подаче энергии из – за смены ветра, люди отдают большее предпочтение в сторону ветрогенераторов.

В данной работе, рассматривается синхронный генератор на постоянных магнитах в применении для ветроустановок. Так как эта машина имеет хороший КПД, бесконтактную систему, высокую надежность и менее чувствительна к действию реакции якоря, то данную машину использовать в ветрогенераторах весьма целесообразно.

Был проведен анализ влияния расстояния между магнитами на выходные показатели генератора в диапазоне от 0 до 10 мм.

А так же, если вместо цельного постоянного магнита, использовать несколько круглых маленьких магнитов, чтобы они перекрывали почти всю площадь прежнего магнита, то это существенно скажется на цене этой машины, что станет её еще одним существенным плюсом.

**В. С. Белов, студ.; рук. Ю.И. Страдомский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЖГ С ЩЕТОЧНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ПОЛЮСНОЙ ПРИСТАВКИ

Магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ) вращающихся валов имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с уплотнениями традиционных конструкций: практически полное отсутствие утечек герметизируемой среды при заданных условиях работы, низкие потери мощности, малый момент сопротивления вращению вала и минимальный износ. К недостаткам МЖГ следует отнести ограниченность температурного диапазона. Магнитная жидкость, нагретая до 100°C, приводит к снижению удерживаемого перепада давлений на 20-40%.

Применение щеточной конструкции полюсной приставки в МЖГ позволит увеличить площадь контакта неподвижной части герметизатора с магнитной жидкостью, повысив эффективность охлаждения.

Результаты анализа работоспособности герметизатора по патенту RU 2451225 C1 показали, что конструкция не совершенна и требует ряд доработок. Расположение щетинок в шахматном порядке не обеспечивало разности напряженностей на поверхности вала и магнитная жидкость удерживала малый перепад давлений. Магнитная жидкость концентрируется у основания щетинок и отсутствует на конце. Эту проблему можно устранить, сделав алюминиевую заливку со сквозными щетинками. После внесения данных изменений конструкция стала пригодной к эксплуатации.

Модель МЖГ с щеточной конструкции полюсной приставки была построена и рассчитана с использованием программных пакетов Elcut [1] и Comsol multiphysics. Размеры МЖГ и величина удерживаемого им перепада давлений в сравнении с МЖГ классической конструкции примерно одинаковы.

Библиографический список

1. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.10. Руководство пользователя. – СПб: ООО «ТОР», 2012. – 356 с.

*А. Ануфриков, студ.; рук. Ю.И.Страдомский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЗНАЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЁТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Асинхронный двигатель является преобразователем электрической энергии в механическую и составляет основу большинства механизмов использующихся во всех отраслях народного хозяйства.

В настоящее время асинхронные двигатели потребляют более 40% вырабатываемой электрической энергии, на их изготовление расходуется большое количество дефицитных материалов: обмоточные меди, изоляции, электрической стали и других затрат.

На ремонт и обслуживание асинхронных двигателей в эксплуатации средства составляют более 5% затрат из обслуживания всего установленного оборудования.

Поэтому создание серии высокоэкономичных и надежных асинхронных двигателей является важнейшей народно-хозяйственной задачей, а правильный выбор двигателей, их эксплуатации и высококачественный ремонт играют первоочередную роль в экономике материалов и трудовых ресурсов.

В современном проектировании электрических машин активно применяются программные пакеты инженерного анализа (CAE-системы), позволяющие решать инженерные задачи численными методами – конечных элементов, контрольных объемов и др. На сегодняшний день без применения математического моделирования предприятиям очень сложно конкурировать на рынке электрических машин, особенно при проектировании мелкосерийных двигателей и генераторов. Многим инженерам-расчетчикам, начинающим пользователям прикладных программ инженерного анализа зачастую непросто найти правильный способ проведения полноценного поверочного теплового расчета спроектированной электрической машины.

Одними из программ для расчёта теплового поля являются ELCUT и Ansys Maxwell. Именно в них лучше всего показаны тепловые поля при пуске, переходных и установившимся режимах.

Библиографический список

1. **И. П. Копылов**, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. Проектирование электрических машин / учебное пособие для вузов Москва : Энергия, 1980.

*Д. А. Ладин, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОВЕРОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЁТ ВЕНТИЛЬНО- ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) работает совместно с электронным преобразователем, который осуществляет оптимальное управление двигателем. Положительные качества ВИД: простая технологичная, надежная конструкция, прочный ротор, отсутствие скользящих контактов, гибкая система управления. Эти двигатели способны функционировать в тяжелых и изменяющихся условиях окружающей среды в диапазоне нагрузок от холостого хода до короткого замыкания. ВИД применяют в различных областях техники от прецизионных систем управления до мощных транспортных средств.

В настоящей работе рассмотрены электромагнитные процессы в ВИД. Выполнен проект двигателя по упрощенной методике [1]. Показаны особенности проектирования ВИД. Выполнен полевой проверочный электромагнитный расчёт ВИД. Представлены результаты проектного и проверочного расчётов.

Библиографический список

1. Фисенко В.Г., Попов А.Н. // Проектирование вентильных индукторных двигателей. Учеб. пособие - М.: Издательство МЭИ, 2003.- 56 с.

СЕКЦИЯ 22

**МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ**

Председатель –
к.т.н., доцент **Терехов В. Г.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Аполонский В. В.**

И. В. Кудрявцев, студ.; рук. А. А. Анисимов, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ САУ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ В РЕАЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ

Адаптивными называют системы, которые «приспосабливаются» к условиям функционирования. Эффект приспособления обеспечивается за счёт накопления текущей информации о системе и её обработки. Адаптация помогает снизить влияние параметрической неопределённости, а также влияние внешних факторов на качество управления. Система, которая автоматически определяет оптимальный закон управления, называется адаптивной.

Синтез такой системы состоит из 2 основных этапов: синтез регулятора состояния и формирование эталонной модели; синтез контура адаптации. Сначала был проведён синтез РС в реальных координатах. Затем, с помощью матричного уравнения:

$$A_M = A - B * K,$$

где A_M – матрица состояния эталонной модели; A – матрица состояния ОУ; B – матрица входа ОУ; K – матрица обратных связей в реальных координатах, была найдена матрица состояния эталонной модели A_M . После этого был проведён синтез контура адаптации – матрица настройки H была получена путём численного решения уравнения Ляпунова в программном комплексе Matlab. На рис. 1 изображена схема адаптивной системы с эталонной моделью в реальных координатах в программном комплексе Matlab.

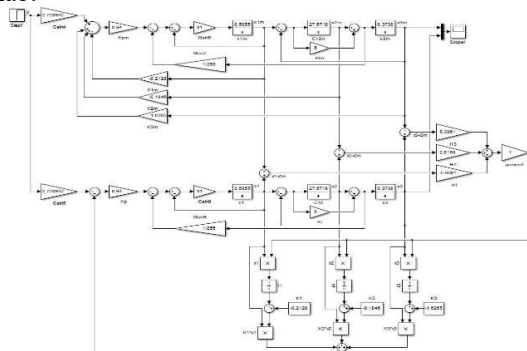


Рис. 1. Адаптивная система с эталонной моделью

Библиографический список

1. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / Под редакцией Н. Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 744 с., ил.

Г.Н. Роцин, маг.; А.А. Анисимов, д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ И НАСТРОЙКИ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Усложнение современных мехатронных объектов управления приводит к тому, что нужно совершенствовать и усложнять систему управления этими объектами.

Одним из путей повышения качества управления является управление по состоянию, реализованное в системах с полиномиальными регуляторами (ПР). Кроме того в таких системах целесообразно применение алгоритмов настройки регуляторов в связи с возможными изменениями параметров и неточностями идентификации объекта [1]. В качестве алгоритмов настройки исследовались симплексные и градиентные методы. Исследование эффективности этих методов проводилось на примере двух-массовой мехатронной системы.

Исследуемые методы были предварительно проверены в программном комплексе Matlab. Из результатов проверки было выявлено, что симплекс метод и метод Нелдера – Мида являются более устойчивыми по сравнению с градиентным методом и методом ДФП (Дэвидона – Флетчера – Пауэлла), но при этом занимают большее число итераций.

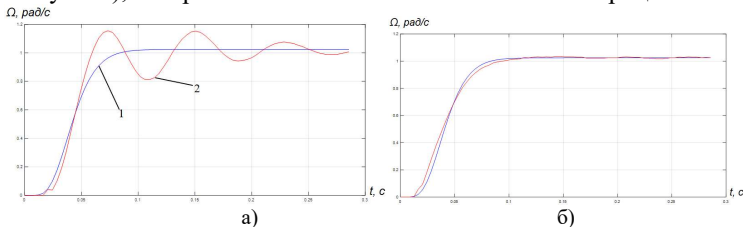


Рис. 1 – Переходные процессы в объекте управления: а) до настройки, б) после настройки

После этого представленные методы были исследованы на стенде DELTA TAU и программно реализованы на контроллере Turbo PMAC. Было показано, что теоретические результаты совпадают с результатами на реальном объекте. Переходный процесс до и после настройки на реальном объекте представлен на рисунке 1.

Библиографический список

1. **Анисимов А.А.** Структурно-параметрический синтез, оптимизация и настройка систем управления технологическими объектами – Иваново: ИГЭУ, 2015. – 296 с.
1. **High** - Frequency Waveform Generator: Datasheet MAX038. - Режим доступа: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/72720/MAXIM/MAX038.html>.

*Е.П. Смирнова, студ.; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СИНТЕЗ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

В работе рассматривается вопрос синтеза и реализации цифровых систем управления электромеханическим объектом, представляющим собой двухмассовую систему, состоящую из двигателя постоянного тока, ременной передачи и рабочего органа.

Основной акцент в работе делается на проблеме идентификации неизвестных параметров объекта управления (ОУ), а также на выборе оптимальной структуры регулятора, позволяющей не только достигнуть заданных показателей качества управления, а также удовлетворить ограничениям на объем программы регулятора и, как следствие, на скорость её исполнения.

Исследования проводились на базе контроллера движения Clipper Turbo PMAC2 фирмы DeltaTAU [1] с возможностью реализации пользовательских алгоритмов управления на языке программирования, синтаксически очень близкого к языку Си, что значительно упрощает процедуру отладки разрабатываемых управляющих устройств.

В ходе работы рассматривались две основные структуры ПР:

- в форме передаточной функции (рис. 1,а);
- в канонической форме наблюдаемости (КФН) (рис. 1,б).

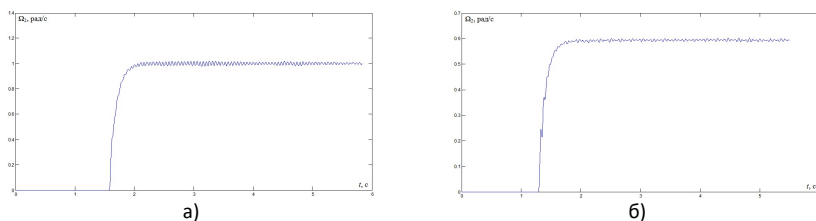


Рис. 1. Переходные характеристики САУ с ПР в форме передаточной функции (а) и в КФН (б)

Оценка скорости выполнения пользовательских программ осуществлялась встроенным в среду разработки PWIN анализатором загрузки центрального процессора, что позволило определить структуру свернутой канонической формы наблюдаемости, как наиболее оптимальную для реализации цифрового ПР.

Библиографический список

1. DELTA TAU [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.deltatau.com>

**К.Е. Соколов, маг.; А.А. Анисимов, д.т.н., доц.,
С.В. Тарарыкин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

СИНТЕЗ РОБАСТНЫХ СИСТЕМ С РЕГУЛЯТОРАМИ СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАМИАННОГО ПОДХОДА

В современных условиях возрастание требований к качеству управления в промышленности делает актуальным применение систем автоматического управления (САУ) с регуляторами состояния (РС) [1, 2]. Однако из-за недостаточной параметрической определенности большинства объектов управления разработка и практическая реализация подобных систем осложняется проблемой робастности (параметрической грубости), которая играет важную роль в современной теории управления.

Как было показано ранее [2], значительные возможности повышения параметрической грубости САУ содержатся в классических методах модального управления.

В настоящее время известны грамианские методы, позволяющие проводить анализ системных свойств объектов [3], а также формировать структуры с заданным соотношением управляемости и наблюдаемости. Однако эти методы не связаны непосредственно с проблемой робастности и, как следствие, не дают возможности целенаправленно синтезировать системы с заданными свойствами.

В данной работе предлагается итерационный метод синтеза робастных систем с РС, на каждом шаге которого меняются сингулярные числа грамиана управляемости, формируется скорректированная структура объекта и синтезируется основной регулятор методом модального управления: для объекта составляется векторно-матричное описание, принимается желаемый характеристический полином, соответствующий заданным требованиям к быстродействию САУ, и выполняется процедура вычисления грамиана управляемости с последующим сингулярным разложением.

Библиографический список

1. **Поляк** Б.Т., **Щербаков** П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 303 с.
2. **Тарарыкин** С.В., **Тютиков** В.В. Робастное модальное управление динамическими системами // Изв. РАН. Автоматика и телемеханика. — 2002. — №5. — С. 41-55.
3. **Бирюков** Д.С., **Дударенко** Н.А., **Слита** О.В., **Ушаков** А.В. Конструирование объекта управления. Ч.1. // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2013. — №6. — С.2-6.

А.А. Ермаков, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ДВУХОСЕВОЙ ПЕРЬЕВОЙ ПЛОТТЕР

Плоттер предназначен для нанесения на плоскую поверхность рисунка, который предварительно преобразовывается из векторной графики в «g-code».

В качестве управляющей платформы используется Arduino Uno. В системе также использованы шаговые двигатели NEMA 17 и дополнительный сервопривод для поднятия и опускания ручки. Для работы с шаговыми двигателями используются два драйвера A4988. Шаговые двигатели через ременную передачу приводят в движение тележку (рис 1.) Данный тип привода позволяет значительно сократить количество деталей. В зависимости от направления движения каждого шагового двигателя, тележка движется в одном из направлений.

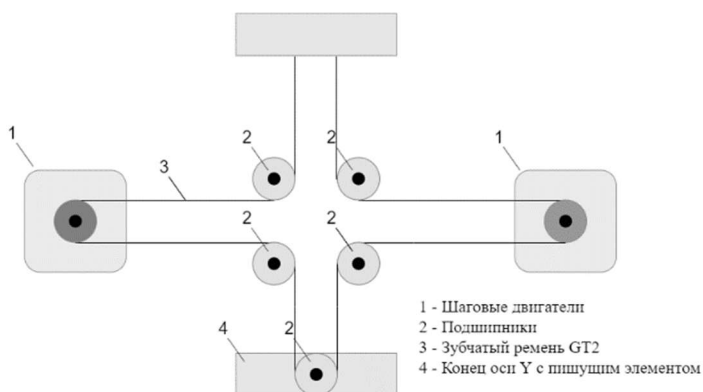


Рис. 1. Ременная передача плоттера

Все основные детали плоттера выполнены на 3d принтере. Также предусмотрена возможность установки различных пиющих элементов, что позволяет наносить изображения на любые плоские поверхности.

Сигнал на контроллер передается с помощью программного обеспечения «UniversalGcodeSender» через порт COM, что в свою очередь позволяет позиционировать плоттер без использования конечных выключателей, необходимо задать только начало координат в начале работы.

*Д.М.Кузьмин, маг; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНТРОЛЛЕРЫ ДВИЖЕНИЯ

Delta Tau Data Systems, Inc. была основана как частная инжиниринговая компания в городе Чатсуорт, США, в 1976 году. Delta Tau создавалась с участием американского венчурного капитала для реализации ряда проектов в области автоматизации технологических процессов. Если до 1997 года в Delta Tau основное внимание при разработке систем управления движением уделялось контроллерам на уровне плат для различных промышленных интерфейсов, то, начиная с серии Turbo PMAC, приоритет получают законченные системы управления (**системы ЧПУ**).

С 1997 года в серийное производство была запущена линейка контроллеров Turbo PMAC. Эти системы поддерживают открытую архитектуру аппаратных узлов, они удобнее в установке и наладке, проще в обслуживании, легче поддаются модернизации и конфигурированию.

Контроллер PMAC2A PC/104 обеспечивает управление 4 или 8 осями. Оптимально подходит для систем, требующих высокого качества компонентов, компактности, гибкости управления и производительности.

PMAC2A PC/104 способен управлять приводами при помощи аналогового сигнала задания скорости ± 10 V либо импульсных сигналов Step&Dir.

Delta Tau POWER PMAC (7-го поколения) - самый мощный, и гибкий в настройке контроллер движения в мире, применяется для высокопроизводительных приложений и решения сложных задач для контроля и управления движением, основан на 30-летнем опыте работы управления движением для промышленных задач.

Библиографический список

1. **Delta** Tau PMAC2A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://servotechnica.ru/catalog/type/brand/serie/product/index.pl?id=34#articles>
2. **Delta** Tau POWER PMAC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://servotechnica.ru/catalog/type/brand/serie/product/index.pl?id=265>

*А.А. Курятников, маг., И.А. Тихомирова, к.т.н., доц.,
Д.С. Еришов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ

Производство и изготовление полиэтиленовой пленки является одним из самых востребованных и недорогих видов упаковки. Таким образом, тема моего исследования является актуальной. Производство полиэтиленовой пленки осуществляется с помощью процесса экструзии, то есть продавливания пластичного материала через формующую головку с целью получения определенной формы.

Разработанные около 100 лет назад для использования в натуральном каучуке / пластике, процессы с помощью двухшнековой экструзии (TSE) в настоящее время создают некоторые из самых современных систем доставки лекарств. Так в своей статье [1] Чарли Мартин описывает преимущества двухшнековой экструзии. Автор описывает преимущества обработки TSE по сравнению с другими технологиями производства. Хорошо охарактеризованный характер процесса TSE позволяет легко масштабировать и оптимизировать процесс, а также дает преимущества непрерывного производства. Автор также отмечает, что эволюция двухшнековой экструзии для фармацевтических продуктов пошла по тому же пути, который ранее проходили пионеры переработки пластмасс. Почти каждый пластик был обработан на некоторой стадии производственного процесса на двухшнековом экструдере, который используется для смешивания материалов с целью придания желаемых свойств конечной детали. Наконец, автор описывает результаты смешивания двухшнековой экструзии. Превосходные характеристики смешивания, присущие TSE, позволили этому устройству доминировать над другими смесителями непрерывного действия и стимулировали интенсивные усилия по разработке и экспериментам, которые привели к созданию высокотехнологичных составов для товарных и высокотехнологичных пластмассовых изделий, которые используются людьми каждый день.

На основании данной статьи можно сделать вывод, что процесс экструзии в настоящее время необходим для создания систем доставки лекарственных средств, а также для создания товарных и высокотехнологичных пластмассовых изделий, которыми люди пользуются ежедневно.

Библиографический список

1. **Martin, C.** AAPS PharmSciTech (2016) 17: 3. <https://doi.org/10.1208/s12249-016-0485-3>

*Подшивайлов И.О. маг.; рук. В.Г.Терехов, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ДАТЧИКИ И СВЯЗЬ ДЛЯ ДРОНОВ

Постоянно растущее использование дронов в повседневной жизни привело к необходимости уменьшения их габаритов, более точные движения и возможность дистанционного управления. Все это обеспечивается специальными датчиками.

За навигацию дронов отвечают датчики ускорения, скорости, магнитный компас и датчик биометрического давления. Датчик ускорения определяет ускорение дрона в определенном направлении, угол наклона и линейное ускорение в горизонтальном и вертикальном направлении. Датчик скорости определяет угловую скорость по трем осям. Магнитный компас позволяет дрону распознавать направления, которое позволяет определять географические направления. Барометр позволяет определять высоту полета с помощью атмосферного давления.

Чтобы управлять всеми датчиками и обрабатывать информацию в дронах применяется специальное программное обеспечение, которое расширяет полезность датчика. Кроме того программное обеспечение позволяет калибровать сигналы датчиков и работать с ними одновременно. Существуют так же дополнительные датчики, которые не влияют на основные функции. Это датчики влажности и звуковые датчики.

Дроны имеют несколько вариантов подключения. Bluetooth с низким энергопотреблением и Wi-Fi используются для подключения к смартфонам, в то время как субгигагерцовая технология используется для диалога с пультом дистанционного управления и увеличения расстояния передачи. Технологии мобильной и дальней связи, такие как LoRa и Sigfox, используются для передачи информации от беспилотников непосредственно к телекоммуникационной инфраструктуре.

Библиографический список

1. **Vishal** Goyal. Sensoren und Konnektivität für Drohnen. [elektronische Ressource] URL:<https://www.all-electronics.de/sensoren-und-konnektivitaet-fuer-drohnen> (Berufungsdatum 5.03.2019).

*Харченко И.В. маг.; рук. В.В.Аполонский, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕЙРОУПРАВЛЕНИЕ

Одной из областей применения искусственных нейронных сетей являются системы автоматического управления. Разработано уже немало методов управления с применением ИНС. Такие методы называются методами нейроуправления.

Гибридным нейроуправлением называют совместное функционирование нейросетевых регуляторов и стандартных регуляторов классической теории управления.

Одним из видов гибридного нейроуправления является параллельное гибридное нейроуправление.

Существует несколько способов обучения и подключения нейросетевого регулятора к системе управления. Например, сначала контур управления объектом замыкается классическим регулятором. Далее, нейроконтроллер учится управлять этой замкнутой системой, после чего он подключается к системе и управляющие воздействия нейросетевого и обычного регуляторов складываются.

Либо в другом порядке: сначала контур управления замыкается нейросетевым регулятором, который проходит обучение. После этого настраивается обычный регулятор для управления этой системой. Настроенный регулятор подключается к системе и управляющие воздействия обоих регуляторов складываются.

Третьим вариантом параллельного гибридного нейроуправления является разграничение областей действия обычного регулятора и нейросетевого. В результате, на ОУ поступает управляющее воздействие либо от одного регулятора, либо от другого, в зависимости от положения объекта управления.

Параллельное гибридное нейроуправление является самым простым решением для перехода от обычных регуляторов к нейросетевым.

Другим методом гибридного нейроуправления является гибридное нейро-ПИД управление (или нейроморфное управление), сутью которого является самонастройка ПИД-регулятора с помощью искусственных нейронных сетей в режиме он-лайн.

В предстоящей работе планируется синтезировать нейро-ПИД регулятор, затем попробовать синтезировать параллельный нейро-регулятор, взяв за основу полиномиальный регулятор.

Библиографический список

1. Большая российская энциклопедия. [elektronische Ressource]
URL:https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/4413689

*Н.Р. Галимуллин, студ.; рук. Л.В. Ахметвалеева, к.п.н., доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ ИК-ДАТЧИКОВ

Трудно представить какой-либо производственный процесс без использования электродвигателей. Помимо промышленных отраслей электродвигатели находят широкое применение в вентиляционных системах, в охлаждающих процессах, а также во многих бытовых электроприборах. Зачастую возникает необходимость управлять электродвигателями дистанционно на короткие расстояния: 15-20 метров. Для того чтобы не фиксировать систему управления двигателем на определенном месте целесообразно применить пультовое управление. С помощью пульта можно управлять не только положением пуск, стоп, реверс, но и регулировать частоту вращения для поддержания заданных условий.

ИК-приемник представляет собой специализированную микросхему, направленную на обнаружение и реагирование излучения от инфракрасного передатчика, в роли которого выступает пульт дистанционного управления (ДУ) [1]. В отличие от фотодиодов ИК-датчики помимо принятия сигнала также настроены на его обработку. Это предохраняет датчик от ложных срабатываний, помех со стороны других устройств, излучающих ИК сигнал.

Для реализации ДУ электродвигателем необходимо применить ИК-датчик в сочетании с управляющим устройством, в качестве которого выступает микроконтроллер (МК). Регулирование частоты вращения электродвигателя осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции [2]. При нажатии управляющих кнопок ПО выстроено так, что изменяется коэффициент заполнения, что в свою очередь влияет для длительность выходного импульса МК, и соответственно, на скорость вращения.

Библиографический список

1. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.
2. Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Галимуллин Н.Р. Устройство управления и регулирования скорости вращения вентиляторов // Энергетика, состояние, проблемы, перспективы : тр. X Всерос. науч.-техн. конф., 2019 г., М.: Оренбург: ОГУ, 2019. - С. 431-433.

А.А. Берестинов, А.З. Кулганатов, студ.;
рук. А.С. Нестеров, к.т.н., доц.
(ЮУрГУ, г. Челябинск)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНОГО МИКРОКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI 3 ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

В современном мире ведется большое количество научных исследований, разработок и модернизаций. Основная задача инженеров — это повышение эффективности промышленного оборудования, автоматизации процессов производства. На данный момент на предприятиях, заводах и различных промышленных объектах функционирует система АСУТП, в большинстве своем случаи используются промышленные интерфейсы, такие как ModBUS, ProfiNet, EtherCat. Например, передача данных от датчиков до ПЛК(программируемым логическим контроллерам) выполняется по стандартам МЭК 60870-5-104.

Таким образом было решено разработать лабораторный стенд на базе одноплатного микрокомпьютера по изучению промышленных интерфейсов, а именно ModBUS, ProfiNET, EtherCAT.

В лабораторном стенде используется современный одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3. Первое устройство Raspberry Pi было разработано и поступило в продажу в 2006 году. На сегодня современная модель микрокомпьютера Raspberry Pi 3 построена на 64-х битном процессоре ARM Cortex-A53 работает совместно с однокристальным чипом Broadcom BCM2837B0, потребляющая меньше энергии, имеет более универсальные контакты для расширения, использует Micro SD, а не SD. Внешний вид платы на рисунке 1.[1].

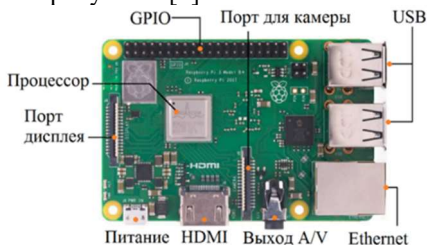


Рис1. Внешний вид одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 3

Библиографический список

1. **Берестинов А.А.,** Кулганатов А.З. Становов С.И. Лабораторный стенд на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 3. Казань: ООО «Конверт» 2019г, 124-126 с.

**И.А.Журавлев, И.Д.Сергеев, студ.; рук. А.А.Капитонов, к.т.н., доц.
(Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)**

ДВИЖУЩАЯСЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОСАДКИ ЛЕТАЮЩЕГО ДРОНА

С развитием дронов повышается количество технологий и изобретений, которые к ним применяются. Нами была разработана подвижная площадка для посадки дрона во время движения. Проект состоит из нескольких глав, в которых решается ряд вопросов:

1. Анализ существующих решений по управлению посадкой дрона типа Parrot AR.drone 2.0.
2. Стабилизация изображений с камер.
3. Установка связи между дроном и платформой при помощи метки дополнительной реальности AR-tag.
4. Первичная симуляция проекта в Ubuntu 16.04 с Gazebo 7.
5. Перенос на реальные объекты.(подключение к реальному дрону, осуществление простейшего ручного управления с помощью ROS).
6. Адаптация готового алгоритма под реального дрона.
7. Отладка и решение проблем стабилизации дрона в различных погодных условиях.



Рис.1. Итоговый вид симуляции проекта в Gazebo

В процессе работы нами были использованы следующие технологии:

1. Пакет `ardrone_autonomy` – управление Parrot AR.drone 2.0 с помощью ROS;
2. Пакет `tum_simulator` – моделирование работы Parrot AR.drone 2.0 в системе Gazebo;
3. Пакет `ar_track_alvar` – поиск и считывание меток дополненной реальности (AR tags) с помощью камер.
4. Пакет `robotino_api2` - пакет для работы с Robotino с помощью ROS.

*И.А. Журавлев, студент; рук. Н.А. Николаев к.т.н., доц.
(НИУ ИТМО, г. Санкт-Петербург)*

БЕСКОНТАКНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА

Проблема измерения угловой скорости объекта с минимальным воздействием на него является весьма актуальной. Принцип вычисления угловой скорости вращения основан на получении импульсов определенной частоты, пропорциональных искомой угловой скорости.

Для вычисления мы использовали лазерный модуль, направленный параллельно оси вращения, и непрозрачную пленку с необходимым количеством прорезей, закрепленную на объекте. Простота и незначительный вес конструкции обеспечивают высокую модульность, точность и ремонтоспособность системы. Выполнение всех измерений без прямого контакта позволяет произвести максимально точные замеры, не увеличивая нагрузку на вал, что в свою очередь только способствует повышенной точности. Также работа с тактовыми импульсами позволяет использовать микроконтроллеры малых мощностей, что сильно упрощает реализацию данного метода

Библиографический список

1. Патент США US2018088144/ [Электронный ресурс]. - URL: <https://patents.google.com/patent/US20180088144A1/en?q=US2018088144A1/> (дата обращения: 12.10.2019)
2. Патент WO0138885/ [Электронный ресурс]. - URL: [https://patents.google.com/patent/WO2001038885A1/en?q=WO0138885A1 /](https://patents.google.com/patent/WO2001038885A1/en?q=WO0138885A1/) (дата обращения: 12.10.2019)
3. Патент СССР SU 964540/ [Электронный ресурс]. - URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU964540A1_19821007/ (дата обращения: 12.10.2019)

СЕКЦИЯ 23
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Председатель –
д.т.н., профессор **Полетаев В. А.**

Секретарь –
Старший преподаватель Власов А.М.

*Е. В. Соловьева, магистрант,
рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АКТИВАЦИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Процесс химической активации смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) осуществляется путем введения в их составы химически активных присадок, способных на контактных поверхностях образовывать химические пленки, которые предотвращают или уменьшают их непосредственное взаимодействие. Химические пленки способствуют уменьшению протекания адгезионных и диффузионных процессов. К наиболее распространенным химически активным присадкам к СОТС относятся вещества, содержащие серу, хлор, фосфор. Увеличение содержания в СОТС серы обеспечивается за счет введения в ее состав элементарной серы или продуктов осернения элементарной серой или хлоридами серы минеральных масел. В условиях применения масляных СОТС содержание присадок серы составляет от 0,5-3% (сульфиды и полисульфиды) до 3-20% (осерненные жиры). Однако, применение хлорсодержащих присадок ограничено их высокой токсичностью, термической нестабильностью и коррозионной активностью. Наиболее широко применяются такие СОТС при обработке высоколегированных сталей. В качестве протвоизносных фосфорсодержащих присадок для масляных СОТС наиболее известны диалкилфосфиты, фосфаты, производные дитиофосфорной кислоты. Указанные присадки придают смазкам дополнительно противоокислительные и антикоррозионные свойства. Концентрация фосфорсодержащих присадок составляет 0,5-5%. Для водоземulsionных СОТС используются те же соединения, что и для масляных: осерненные жиры, полисульфиды, хлорированный парафин. В полусинтетические и синтетические СОТС вводят полигликоли, стиромали и их производные, соли карбоновых и сульфамидкарбоновых кислот, оксисилированные алкилфосфорные кислоты, водорастворимые соли сульфаминовой кислоты, гипосульфит натрия, хлористый кадмий, сульфат никеля и бораты.

Библиографический список

1. Патент РФ №2674162. Смазочно-охлаждающее технологическое средство для обработки металлов резанием и процессов поверхностного деформирования./ Полетаев В.А., Ведерникова И.И., Голяс А.А., Шпенькова Е.В. (Соловьева Е.В.), Степанова Т.Ю. Заявка №2674162 от 16.11. 2017. Опубл. в Б.И. №34 от 05.12. 2018

**Д.Н. Никифоров, курсант, В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

При создании мобильных подъемных устройств для пожарно-спасательных частей в обязательном порядке должна быть учтена возможность его использования на нескольких рабочих местах. На основании этого была проведена работа по разработке новой конструкции мобильного подъемного устройства для оснащения пожарно-спасательных частей.

Разрабатываемое подъемное устройство представляет собой рамную конструкцию, элементы которой соединены резьбовыми деталями, установленную на ролики, позволяющие перемещать подъемник относительно автомобиля в расположении ремонтного участка пожарного депо. Силовыми элементами конструкции являются труба квадратная и двутавр. Основными силовыми элементами спроектированной конструкции стали стандартные стальные профили двутаврового и квадратного сечения. Выбор номера профиля осуществляется конструктивно с учетом максимальной нагрузки, которая составляет 1 тонну. Номер профилей был выбран таким образом, чтобы обеспечить необходимый запас прочности, составляющий для отдельных элементов силового каркаса от 40 до 85 %, а также обеспечивающим легкость конструкции.

По верхней балке подъемника двутаврового сечения устанавливаются ролики электрической лебедки для осуществления возможности поперечного перемещения поднимаемых грузов. Мобильность спроектированного подъемного устройства обеспечивается его складыванием. Таким образом, в сложенном состоянии подъемное устройство не занимает полезное место в пожарном депо. Кроме этого, данное подъемное устройство может транспортироваться в другие подразделения или использоваться в полевых условиях. Другим достоинством разработанного подъемника является низкая стоимость изготовления и простота применения при проведении ремонтных работ пожарных автомобилей.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.** Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. // NovalInfo.Ru. 2016. Т. 3. № 57. С. 151-156.

*К.В. Николаев, студ.; рук. Д.В. Хамитова к. т. н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОЧЕГО СТОЛА ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРА В AUTODESK INVENTOR

Цифровые технологии после своего появления начали стремительно проникать во все сферы промышленности, в том числе и в машиностроение, они улучшают технологию производства даже на ранних этапах(проектирование). Так заявили о себе CAD-программы, которые могут облегчить разработку изделий. Они способствуют выявлению грубых недостатков продукта, не прибегая к построению прототипа. Таким образом мы уже имеем ощутимый экономический эффект, так как исключаем немалые затраты на материалы для изготовления прототипа. Используя технологии цифрового проектирования, инженеры могут построить электронную модель изделия, провести расчёты этого изделия на прочность и быстрее подготовить техническую документацию.

Рассмотрим частный пример, чтобы увидеть выгоду от использования CAD-программ. Построим рамную конструкцию для установки на ней шнекового винтового конвейера типа АРМАТА 159-6000-4,0, используя стандартные профили типа 12U ГОСТ 8240-97.



Рис. 1. Электронная модель винтового конвейера
АРМАТА 159-6000-4,0

Процесс проектирования рабочего стола не является сложным, поделим его на 2 этапа.

На первом этапе мы использовали простой 3D-эскиз и инструмент “Вставка профиля” для создания трёхмерной модели и затем перешли в среду «Чертёж» для создания технической документации. На этом этапе мы сэкономили около 4-5 часов.

На втором этапе мы проводим анализ напряжений, накладывая статические нагрузки и точки опоры на конструкцию. После этого этапа мы убедились в правильности нашей работы, теперь можно воплощать её в металле. Итак, приведённый ранее пример показывает, что при использовании цифровых технологий производительность труда возрастает в несколько раз!

**В.В. Шуваева, студ., А.С. Рябичев, магистрант;
рук. А.А. Крапостин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Многие детали машин работают в условиях трения и подвергаются действию ударной и изгибающей нагрузки, поэтому они должны иметь твердую, износостойкую поверхность, прочную и одновременно вязкую и пластичную сердцевину. Это достигается поверхностным упрочнением.

У деталей машин, работающих при динамических и циклических нагрузках, трещины усталости возникают в поверхностных слоях под влиянием растягивающих напряжений. Если на поверхности создать остаточные напряжения сжатия, то растягивающие напряжения от нагрузок в эксплуатации будут меньше и увеличится предел выносливости (усталости). Создание в поверхностных слоях деталей напряжений сжатия – второе назначение поверхностного упрочнения. Техническими условиями на изготовление детали задаются твердость и глубина упрочненного слоя, а также прочность и вязкость сердцевины.

Основные методы поверхностного упрочнения можно разделить на три группы:

- механические – пластическое деформирование поверхностных слоев, создание наклепа (нагартовки);
- термические – поверхностная закалка;
- химико-термическая обработка (цементация, азотирование, хромирование и другие).

Химико-термическая обработка в ряде случаев является единственно возможным средством получения требуемых эксплуатационных свойств не только поверхности, но и изделия в целом. Более того, она позволяет получить такое сочетание свойств упрочняемого изделия, которое другими методами получить невозможно. В результате всех процессов химико-термической обработки достигается гораздо более существенное различие свойств сердцевины изделия и его поверхностных слоев, чем при других методах поверхностной обработки. Это обусловлено тем, что при механических и термических методах поверхностного упрочнения изменяется только строение приповерхностных микрообъемов, а при ХТО в результате диффузии изменяется их химический фазовый состав.

Библиографический список

1. **Научные основы материаловедения:** Учебн для вузов / Б.Н. Пастухова. - М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 336с.

*И.А. Рябых студ.; рук. А.Н. Богданов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ РОБОТИЗАЦИЮ В РОССИИ

В России роботов для автоматизации производств в основном применяют только крупные компании. В то же время, подобные роботы (например, таких производителей как, Kuka, ABB, Fanuc, Motoman (Yaskawa) и Kawasaki) могут выполнять необходимые задачи для малого и среднего бизнеса, включающие в себя фрезеровку, обработка камня, сварочные работы, покраску, полировку. В работе рассмотрены факторы, ограничивающие развитие роботизации в России.

Основная причина, ограничивающая внедрение роботизированных устройств в России, – их стоимость. Цена промышленного роботоманипулятора начинается от 40 000 долларов с минимальными функциональными возможностями. Если сравнивать среднюю зарплату, например, в США и в России за 2019, в США – 184 200 рублей в месяц, в России же – 40 000 рублей в месяц по данным Росстата. Поэтому зарубежный даже малый и средний бизнес сможет окупить робота за пару лет, а отечественному – не выгодно приобретать роботов, окупаемость которых составляет 5-6 лет.

Другой причиной, ограничивающей развитие робототехники в России, является недостаточная информированность и подготовка предприятий к внедрению роботизированных устройств. Для большинства предприятий малого и среднего бизнеса робот остается красивой и интересной, но бесполезной игрушкой. Это связано с тем, что они не видят, как применить робота у себя на производстве, либо не имеют сотрудника, который может гарантированно внедрить, запустить его в работу и обеспечить окупаемость.

Также не малую роль играет «утечка мозгов» и недостаточная прикладная направленность действующих в России объединений по робототехнике. В основном в кружках или в высших учебных заведениях с уклоном в робототехнику, учат только создавать, но не внедрять роботов или обслуживать импортные образцы. В результате – на отечественном рынке в основном представлены иностранные робототехнические решения [1].

Библиографический список

1. **Макаров, И. М.** Робототехника. История и перспективы М.: Наука, МАИ, 2003. - 150 с

*А.А. Масляев, студ.; рук. Н.Л.Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЗЦОВ

Магнитно-импульсное упрочнение применяется для увеличения срока службы деталей и инструментов. Действие импульсного магнитного поля на ферромагнитные изделия позволяет улучшить их свойства за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, что увеличивает тепло- и электропроводимость материала, уменьшение напряжений в структуре металла [1], что приводит к повышению износостойкости.

Испытаниям подвергались резцы с твердосплавными пластинами, которые помещались в центр оправки магнитно-импульсной катушки (рис. 1) [2], при напряженности магнитного поля 800 кА/м, длительность импульса 0,5 с, с промежутком между импульсами – 5 мин.

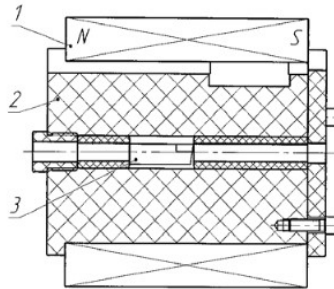


Рис. 1. Схема магнитно-импульсного упрочнения резца: 1 – магнитно-импульсная катушка, 2 – оправка, 3 – резец

Отмечено повышение твердости, увеличение способности удерживать смазочный материал, снижение выкрашивания зерен из режущей кромки инструмента при резании, что приводит к увеличению срока службы в 1,5–2 раза [1, 2] по сравнению с резцами, не обработанными импульсным магнитным полем.

Библиографический список

1. **Орлов А.С.** Упрочнение сверл из быстрорежущей стали импульсной магнитной обработкой / А.С. Орлов, Н.Л. Павлюкова // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения). Материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 265-268.
2. **Рыбкин Е.А.** Магнитно-импульсное упрочнение резцов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://book.sarov.ru/wp-content/uploads/2017/12/9-molodej-2011-90.pdf> (Дата обращения 10.12.2019).

*С.А. Курицын, студ.; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

На ранней стадии проектирования изделия, когда закладываются его основные технико-экономические показатели и оформляются в виде технического задания на проектирование, практически делается первый шаг по обеспечению его конкурентоспособности. Одним из таких показателей является стоимость (цена) изделия, которую точно можно рассчитать только после разработки конструкции изделия и технологии его изготовления. Но на ранней стадии проектирования, когда конструкция и технология изготовления изделия еще не разработаны, знание хотя бы с определенной точностью стоимости (цены) изделия крайне важно. Это в конечном итоге может повлиять на принятие решения о целесообразности разработки изделия. Знание прогнозной стоимости (цены) изделия важно и в том случае, когда исполнителю нужно договориться о сумме договора с заказчиком, который сам определил в техническом задании технико-экономические показатели будущего изделия.

Конечно, даже на ранней стадии проектирования изделия стоимость изделия желательно знать с максимальной точностью. Но здесь возникает противоречие: информации об изделии крайне мало, а стоимость (цену) его необходимо рассчитать как можно точнее.

Несмотря на многообразие методов прогнозирования стоимости (цены) изделий их применение вызывает определенные затруднения. Они дают слишком большую погрешность прогнозирования. По мнению автора наиболее удачным методом прогнозирования стоимости (цены) изделий будет метод, построенный на базе нейросетевых технологий. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий точно воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Они позволяют справиться с решением задач прогнозирования в случае большого числа переменных. Нейронные сети, реализованные на компьютере, относительно просты в использовании и не требуют от проектировщика специальных знаний, например в области математической статистики.

Посредством прикладных программ нам удалось сформировать модель нейросети для обработки входных параметров будущего изделия (массы, материала, точности) и свести к минимуму среднее квадратичное отклонение результатов эксперимента.

**Д.Н. Никифоров, курсант, В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НАДЕЖНОСТЬ УЗЛОВ ПОЖАРНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Повышение надежности основных и специальных пожарных автомобилей является важной хозяйственной задачей. В ходе исследования основных причин отказов узлов пожарных автомобилей, выявлено, что чаще выход из строя пожарных автомобилей происходит вследствие поломки деталей двигателей и трансмиссий. На неисправности деталей двигателей и трансмиссии пожарных автомобилей приходится порядка 50 % от общего числа всех поломок. Поэтому улучшение качества обслуживания, включая своевременную замену смазочных материалов в двигателях и трансмиссиях пожарных автомобилей, является важной задачей, решение которой позволит повысить боеготовность подразделений пожарной охраны.

Наиболее действенным и эффективным методом борьбы с износом является использование в узлах трения качественных смазочных материалов. Качество смазочных материалов и их свойства постоянно улучшаются. Стремление создать смазочные материалы для пожарной техники, которые будут способствовать повышению ее надежности, привело к необходимости разработки недорогих и эффективных противоизносных присадок. Для решения этой задачи был создан новый комбинированный наполнитель к маслам и смазкам, сочетающий в себе свойства металлоплакирующей и металлокерамической добавки. Для оценки триботехнических характеристик разработанного наполнителя к смазочным маслам были проведены сравнительные испытания базового масла и масла, модифицированного разработанной комбинированной добавкой.

Исследованные триботехнические показатели масел, модифицированных разработанной присадкой, свидетельствуют о ее положительном действии.

Библиографический список

1. **Киселев В.В., Мельников В.Г.** Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов. // Эффект безызносности и триботехнологии. 2004. №1. С. 16 – 20.

**Б.Ш. Баранов, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Холодная листовая штамповка (ХЛШ) – один из наиболее распространенных способов получения деталей. Она широко применяется в машиностроительной и приборостроительной, электронной, металлообрабатывающей и других отраслях промышленности. Особенно большой удельный вес ХЛШ составляет в производстве автомобильной и авиационной техники (65-75% автомобильных и авиационных деталей самых разнообразных форм и размеров из листового материала). Экономическая эффективность использования ХЛШ в значительной мере определяется стойкостью штампов. Основной проблемой применения этого вида технологии является часто низкая, практически всегда нестабильная, плохо прогнозируемая стойкость рабочих деталей инструмента. Пониженная стойкость штампов вызывает значительные потери в производстве, связанные с простоем оборудования из-за частой смены штампов, нарушением ритма работы прессов вследствие частых перерывов, а также с увеличением расходов на переналадку оборудования. Отказ инструмента часто приводит к аварийным ситуациям на производстве и травмам обслуживающего персонала, его изготовление весьма энергозатратно, а ремонт наносит вред экологии.

Для изменения свойств поверхностного слоя рабочих деталей штампового инструмента используют разновидности термообработки, такие как объемная и поверхностная закалка. Поверхностная (индукционная) закалка, обладает целым рядом преимуществ: высокой производительностью, получению более высоких механических свойств закаленных поверхностей, практически полным отсутствием окисления и обезуглероживания поверхности, незначительным короблением детали, образованием в поверхностных слоях значительных сжимающих напряжений, которые повышают усталостную прочность деталей и т.д. Недостатком высокочастотной закалки является необходимость изготовления индукторов для каждой детали, поэтому этот способ эффективен в условиях крупносерийного и массового производств.

Библиографический список

1. Ремонтные технологии. <https://rem-teh.ru>

И. Ю. Тютюкин, студ.; рук. Т. Ю. Степанова, к.т.н., доц.
(ИГХТУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Определение оптимальных параметров зубчатых передач по критериям прочности и износостойкости весьма проблематично. Необходимо, чтобы зацепления этих передач обладали минимальными потерями на трение. В связи с этим важным критерием работоспособности тяжело нагруженных передач является к.п.д., учитывающий потери на трение в зацеплении [1]. Значение коэффициента трения скольжения в процессе зацепления изменяется, в расчете используется его среднеинтегральная величина $\bar{f}$. В общем виде к.п.д. передачи, работающей в редукторном режиме равен

$$\eta = \frac{\omega_2 \int_{\rho_{z1}}^{\rho_{p1}} \left[\frac{T_2 d\rho_2}{(\omega_1) \int_{\rho_{p1}}^{\rho_{z1}} T_1 d\rho_1} \right]}{\omega_1} \quad (1)$$

Мгновенные значения к.п.д. для точки контакта одной пары зубьев на доплюсистой активной линии зацепления имеют вид

$$\eta = \frac{r_{b2} - (g - \rho_{t1}) \bar{f}}{u r_{b1} - \rho_{t1} \cdot (f)} \quad (2)$$

в полюсе где отсутствуют силы трения скольжения

$$\eta = \frac{r_{b2}}{u \cdot r_{b1}} \quad (3)$$

на заплоской активной линии

$$\eta = \frac{r_{b2} + (g - \rho_{t1}) \bar{f}}{u r_{b1} + \rho_{t1} \cdot (f)} \quad (4)$$

Для определения к.п.д. зацеплений в цилиндрических эвольвентных косозубых передачах вместо среднеинтегрального значения коэффициен-

та трения скольжения $\bar{f}$ принимается его приведенная формула

$$\bar{f} = \frac{f}{\cos \beta}$$

Таким образом, выполненными исследованиями подтверждена целесообразность применения на стадии проектирования зубчатых передач уточненных расчетов к.п.д. при выборе окончательного варианта зацепления.

Библиографический список

1. Дроздов Ю. Н., Арчегоев В. Г., Смирнов В. И. Противозадирная стойкость трущихся тел. М.: Наука, 1981. 138 с.

*Д.А. Лисичникова, студ.; рук. Е.В. Соловьева (преподаватель)
(МК ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Металлоплакирующие смазочные материалы (МПС) модифицируют контактирующие поверхности за счет образования на них защитной металлической пленки. В процессе упругопластической деформации пленка подвергается воздействию химически активных элементов смазочного материала и продуктов трибодеструкции и деформируется затем в "сервовитную" пленку. Наиболее перспективны МПС, содержащие не порошки металлов, а их соли или другие их химические соединения [1].

При использовании МПС реализуется эффект "безызносности", который проявляется в том, что на трущихся поверхностях деталей в процессе работы узлов трения формируется тонкая, трудно поддающаяся окислению защитная самовосстанавливающаяся металлическая пленка из введенных в смазку присадок. Толщина пленки - от нескольких атомных слоев до 1-2 мкм.

Модифицирование при использовании МПС до возбуждения избирательного переноса (ИП) проявляется в частичном изменении структуры и фазового состава поверхности контртел, на которых сформировалась пленка. Основные изменения поверхностного слоя в условиях граничной смазки происходят на глубине 0,1-0,3 мкм. Технология применения МПС является технологией восстановления изношенных поверхностей трения без его остановки и разборки. При этом происходит внедрение частиц пластичных металлов и смазочного материала в глубь поверхности по дефектам и ускоренная диффузия, будет осуществляться "залечивание" дефектов, заполнение неровностей профиля, трещин, микропор, т.е. компенсация износа. Возможно использование эффекта "безызносности" и при обработке металлов давлением, при волочении и прокатке, финишной обработке, легировании трением и т.д. Применение на стадии сборки специальных технологических МПС улучшает качество приработки.

Библиографический список

1. Рыбакова Л. М., Куксенова Л. И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982. 288с.

***И.А Парасич, курсант, рук. А.В. Топоров, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)***

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ НА СТОЯНКАХ И ПАРКОВКАХ

Во время пожаров на закрытых (подземных) автопарковках возникает проблема перемещения горящих автомобилей. Проблема осложняется плотным размещением машин, невозможностью воспользоваться штатным буксировочным устройством, постановкой автомобиля на стояночный тормоз или передачу. Поэтому актуальной задачей является разработка специального устройства для перемещения горящих машин.

Номенклатура современных легковых автомобилей, выпускаемых промышленностью крайне различна. Машины отличаются как по габаритам, так и по массе. Поэтому актуальной, с точки зрения создаваемых усилий, является задача перемещения наиболее массивных и габаритных машин. Разрабатываемое устройство должно обеспечивать перемещение горящих машин на закрытых (подземных) автопарковках.

Конструкция буксировочного устройства должна обеспечивать перемещение самых крупных по габаритам и массе автомобилей. В тоже время устройство должно обеспечивать возможность закрепления на автомобилях с малым дорожным просветом. Принимая во внимание габариты самых крупногабаритных легковых машин, расстояние от переднего бампера до оси не превышает 1500 мм.

Разрабатываемое устройство должно иметь габариты рамы более этого значения. Для удобства использования раму предлагается выполнить раздвижной с изменением длины до 2500 мм. Высоту стойки предлагается принять 1000 мм исходя из удобства закрепления за трос лебедки автомобиля или ручной лебедки. Целесообразно для обеспечения гарантированного перемещения любых типов легковых автомобилей применять лебедки тяговым усилием не менее 15000 Н.

Таким образом, на основании проведённых расчетов, можно сделать вывод, что предлагаемая конструкция буксировочного устройства позволяет перемещать все типы автомобилей при пожарах.

Библиографический список

1. Терещев В.В. Пожарная тактика: Основы тушения пожаров: учеб. пособие / В.В. Терещев, А.В. Подгруппный. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с.

*А.С. Проскуров, студ., Д.С. Силантьев, магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатые колеса являются сложными деталями, включающими зубья, обод, диск и ступицу. Наиболее рационально при проектировании создание деталей, которые бы были равнозначны в работоспособности, например, равнопрочные. На практике данное условие часто невыполнимо. Из всех перечисленных элементов зубчатых колес зубья являются наиболее нагруженными, потому они чаще всего выходят из строя. Обеспечение долговечности ответственных деталей во многих случаях определяется упрочняющей обработкой, формирующей окончательную (рабочую) структуру материала деталей и их поверхностных слоев, и тем самым предельные характеристики сопротивления усталости. В отличие от цементации и азотирования при индукционной закалке не требуется нагрев всего зубчатого колеса. Индукционный нагрев позволяет точно локализовать специфические области, требующие изменений структуры металла (например, боковая поверхность зуба, основание зуба и кромка зубчатого колеса могут быть закалены селективно), и тепловое воздействие на другие поверхности при этом будет минимально. В зависимости от применения, твердость зубьев обычно находится в диапазоне от 42 до 60 HRC.

Одна из целей индукционной закалки зубчатого колеса заключается в получении полностью мелкозернистого мартенситового слоя определенных поверхностей зубчатого колеса для увеличения их твердости и износостойкости. При этом остальные элементы зубчатого колеса практически не должны затрагиваться процессом термообработки. Увеличение твердости также увеличивает контактную усталостную прочность. Комбинация повышенной твердости, износостойкости, и способности обеспечивать тонкую мартенситную структуру, часто позволяет заменить дорогие высоколегированные стали более дешевыми низколегированными или углеродистыми сталями. Другая цель индукционной закалки зубчатого колеса – внесение сжимающих остаточных напряжений в поверхностный слой зубчатого колеса. Это важная особенность, так как она помогает бороться с растрескиванием, а также противостоять изгибной усталости металла.

Библиографический список

1. Зубчатая термообработка индукцией. Технология Gear./ Руднев В., Ловелесс Д., Маршалл Б., Шепеляковский К., Дайер Н., Блэк М. Март 2000 г.

*А.С. Шереметов, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПОСОБ ТЕРМООБРАБОТКИ СВАРНОГО ШВА ПРЯМОШОВНЫХ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ КОТЛОВ ТИПА КВГМ-50

Работа водогрейных котлов типа КВГМ-50 осложняется из-за постоянно выходявшего из строя из-за течи теплообменного элемента ширмы конвективной части котла. Сварной шов не выдерживал рабочей нагрузки и давал течь. Проводимая дефектоскопия не показывала уязвимых мест сварного шва. Это происходило из-за того, что продукты горения выходили из топки через проход между задним экраном и потолком топочной камеры и двигались сверху вниз через конвективную шахту, вызывая сильные вибрационные нагрузки на теплообменные элементы ширмы. Сварные соединения, выполненные дуговыми способами, непосредственно после процесса сварки характеризуются неоднородностью структуры и свойств сварного шва, зоны термического влияния, а также наличием в них сварочных напряжений. Неоднородность структуры и свойств металла зависят главным образом от неравномерности нагрева при сварке. Металл шва в процессе сварки в расплавленном состоянии имеет температуру свыше 2000°C, в то время, как соседние слои металла находятся в твердом состоянии при намного более низких температурах. Вдоль сварного шва возникает область металла, которая при сварке нагревается до очень высокой температуры, а потом охлаждается до комнатной. Эта область называется зоной термического влияния (ЗТВ). Стали в производственных условиях при сварке быстро остывают, что приводит к образованию закалочных структур в сварном шве и ЗТВ, также способствующих образованию трещин. При больших остаточных напряжениях в присутствии определённых химических веществ могут происходить особый вид разрушения – коррозионное растрескивание

Предложена термическая обработка сварных соединений труб конвективной части котла КВГМ-50 в виде «нормализации», используя газопламенные горелки. Данный вид обработки наиболее простой и эффективный.

Библиографический список

1. Ремонтные технологии. <https://rem-teh.ru>

*И.С. Марков, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Современное развитие машиностроения подразумевает создание «цифрового производства», т.е. информационной (электронной) модели высокотехнологичного производства, охватывающей основные направления перспективных производственных технологий, новых материалов и информационно-коммуникационного обеспечения [1]. Эта модель включает в себя информацию обо всех этапах жизненного цикла изделия: маркетинговые исследования, конструкторские данные (CAD/CAE), изготовление (CAM), управление данными об изделии и его качестве (PDM), логистические данные, эксплуатационные данные, экономические данные, объединение в систему поддержки жизненного цикла изделия (PLM).

Компьютерная инженерия позволяет с помощью программно-технических средств (Компас-3D, Лоцман: PLM, Вертикаль, T-Flex CAD, T-Flex PLM) поддерживать данные об изделии на всех этапах производства, но зачастую эти данные разбросаны по различным системам, интеграция которых затруднительна.

Информационные связи между элементами производственной системы предприятия возможно создать при внедрении средств цифрового контроля, интеллектуальных роботов и мехатронных устройств, технологий автоматизированной цифровой сборки, аддитивных технологий, гибридных технологий, технологий «безлюдных» производств[2].

Совершенствование программных средств, подготовка компетентных кадров, компьютеризация рабочих мест и внедрение новых интеллектуальных технологий позволит форсировать в машиностроении переход от традиционного производства к цифровому.

Библиографический список

1. Григорьев С. Н., Кутин А. А., Долгов В.А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении. Вестник МГТУ «Станкин», 2014, № 4 (31). – С. 59-63.
2. Кутин А. А., Иваших С.С. Прогноз развития цифровых машиностроительных производств. Инновации, № 8 (214), 2016. – С. 9-12.

*С.В. Ложкомоев, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА РОТОР-СТАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Различные разновидности генераторов применяются на объектах гидроэнергетики. Для всех этих видов является актуальным контроль воздушного зазора. Измерение воздушного зазора между ротором и статором выполняется в процессе капитального (иногда текущего) ремонта, монтажа, реконструкции генератора гидроагрегата на гидроэлектростанциях. Воздушный зазор конструктивно необходим, но отклонение его от номинальных значений за пределы поля допусков снижает коэффициент полезного действия машин, вызывает повышенные бои, вибрации, температуры, способствует созданию электромагнитного дисбаланса. Если зазор неравномерный, то будет наблюдаться одностороннее притяжение ротора к статору. Вал и направляющие подшипники будут подвергаться повышенному напряжению, износу. Параллельные ветви и фазы обмотки будут загружены неодинаково. Повысятся бои и вибрации.

Для проверки воздушных зазоров, применяются пластинчатые щупы с толщиной пластин от 0,03 до 1 мм. Трудоемкость процесса измерения воздушного зазора с помощью наборных щупов достаточно высока и целесообразно упрощение этого процесса.

В настоящее время ООО «ПромАвтоматика» для измерения воздушного зазора ротор-статор предлагается «Система измерения воздушного зазора ротор-статор». Эта система предназначена для контроля воздушного зазора в процессе работы агрегата. У этой системы много преимуществ, но по ряду причин ее невозможно применять при выполнении ремонтных работ.

Предлагается создание нового устройства – электронного контрольно-измерительного прибора (ЭКИП) на основе бесконтактного датчика. Использование ЭКИП позволяет значительно снизить трудоемкость и ускорить процесс замера. Этот прибор поддается калибровке, состоит из сертифицированных компонентов. Кроме того, применение ЭКИП позволит повысить точность замеров, а значит и качество выполняемых ремонтов.

Библиографический список

1. Системы измерения воздушного зазора ротор-статор. <https://all-pribors.ru/opisanie/66603-17-76201>

*А.С. Проскуров, студ., Д.Е. Новиков., магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Среди методов нанесения защитных покрытий, основанных на воздействии на поверхность детали потоков частиц и квантов с высокой энергией, большое внимание уделяется вакуумным ионно-плазменным методам. Характерной их чертой является прямое преобразование электрической энергии в энергию технологического воздействия, основанное на структурно-фазовых превращениях в осажденном на поверхности конденсате или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру.

Основным достоинством данных методов является возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, а также алмазоподобных, которые невозможно получить традиционными методами. Кроме того, эти методы позволяют: обеспечивать высокую адгезию покрытия к подложке; получать равномерные покрытия по толщине на большой площади; варьировать состав покрытия в широком диапазоне, в пределах одного технологического цикла; получить высокую чистоту поверхности покрытия; обеспечивать экологическую чистоту производственного цикла. К методам вакуумной ионно-плазменной технологии относят как модифицирование поверхностных слоев: ионно-диффузионное насыщение; (ионное азотирование, науглероживание, борирование и др.); ионное (плазменное) травление (очистка); ионная имплантация (внедрение); так и нанесение покрытий: полимеризация в тлеющем разряде; ионное осаждение (в триодной распылительной системе, диодной распылительной системе, с использованием разряда в полой катод); ионно-кластерный метод; катодное распыление (на постоянном токе, высокочастотное); химическое осаждение в плазме тлеющего разряда.

Современные вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения (модифицирования) поверхностей деталей машин включают следующие этапы: генерацию (образование) корпускулярного потока вещества; активизацию, ускорение и фокусировку; конденсацию и внедрение в поверхность деталей (подложек). Генерация корпускулярного потока вещества возможна его испарением (сублимацией) и распылением. Испарение: переход конденсированной фазы в пар осуществляется в результате подводов тепловой энергии к испаряемому веществу.

Библиографический список

1. **Арзамасов, Б.Н.** Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н.Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин, Н.М. Рыжов, В.И.Силаева.- М.: Машиностроение, 2010. - 528с.

*А.П. Чистов, магистрант; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАГОТОВКИ КОРПУСНОЙ ДЕТАЛИ

Имеется ряд возможных вариантов повышения качества чугуна методами внепечной обработки, среди которых для улучшения технологического процесса отливки заготовки из серого чугуна необходимо выбрать наилучший вариант.

Актуальность темы определяет необходимость применения методики, позволяющей произвести обоснованный выбор метода внепечной обработки чугуна.

Оценка методов внепечной обработки чугуна по одному показателю эффективности является односторонней. Поэтому предлагается использовать многокритериальную оценку и применить комбинацию трех методов: экспертных оценок, выбора (поиска) эффективных по Парето решений и метод многокритериальной оптимизации с использованием обобщенного (интегрального) аддитивного критерия.

На первом этапе производится экспертная оценка методов повышения качества чугуна по двум показателям (критериям): качеству и экономичности. Оценивание каждого варианта производится по 11-бальной шкале от 0 до 10. Далее осуществляется выбор эффективных по Парето вариантов. Если после этого остался один вариант, то он является искомым, и выбор на этом заканчивается. Если же остались два и более варианта, то для каждого из них рассчитываются значения обобщенного (интегрального) аддитивного критерия. Ввиду того, что оба критерия «работают» на максимум, искомым является тот вариант внепечной обработки чугуна, которому соответствует максимальное значение обобщенного (интегрального) аддитивного критерия.

Преимущество данного метода: всегда удастся определить единственный (оптимальный) вариант решения.

Недостатки:

- 1) трудности (субъективизм) в определении весовых коэффициентов в интегральном аддитивном критерии;
- 2) аддитивный критерий условно корректно вытекает из объективной роли частных критериев и поэтому выступает как формальный математический прием;
- 3) в аддитивном критерии происходит взаимная компенсация частных критериев, т. е. уменьшение одного из них может быть компенсировано увеличением другого критерия.

**М.В. Квасов, курсант, рук. П.В. Пучков, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)**

ЗАЩИТНЫЙ БУФЕР ДЛЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РУКАВНЫХ ГОЛОВОК

Важнейшей оснасткой при тушении пожара являются пожарные напорные рукава, по которым транспортируются огнетушащие средства в очаг пожара. Соединительные рукавные головки для пожарных рукавов изготавливают из алюминиевых литейных сплавов – силуминов. Данные сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, легкостью, не являются дефицитным и дорогостоящим, однако обладают низкой ударной вязкостью [1,2]. По этой причине при сильном ударе рукавной головки об асфальт нередко откалываются клыки (2) от обоймы (1) (Рис.1а). В результате пожарный рукав приходит в негодность. Проблему повышения долговечности пожарных соединительных головок можно решить следующим способом. На обойму соединительной головки необходимо установить эластичный буфер. Буфер может быть изготовлен из резины или силикона, т.е. из эластичного материала хорошо поглощающего ударные нагрузки. Диаметр буфера должен быть подобран так, чтобы он не создавал препятствий соединению двух соединительных головок между собой (рис.1б).

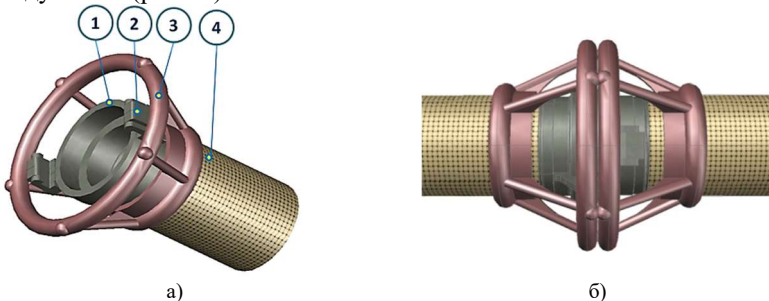


Рис. 1. Пожарная соединительная рукавная головка с резиновым буфером:
а) конструкция соединительной рукавной головки; 1 – обойма; 2 – клык; 3 – резиновый буфер; 4 – напорный пожарный рукав; б) соединение пожарных рукавов

Библиографический список

1. Пожарная техника: Учебник. / Под ред. М.Д. Безбородько.-М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550 с.
2. Пучков П.В. К вопросу повышения долговечности соединительных рукавных головок// NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 54. – С.45-47.

***Е. М. Воронцова, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатый венец зубчатых колес характеризуется очень большим количеством параметров и размеров, каждый из которых может иметь отклонения, возникающие в процессе изготовления. Различные параметры и их отклонения по-разному влияют на конечное качество зубчатого венца. Более того, в зависимости от области применения и дополнительных условий, те или иные параметры могут менять свою значимость.

Требования к точности изготовления зубчатого венца определяются эксплуатационными требованиями к зубчатому зацеплению. К этим требованиям укрупненно можно отнести: износостойкость, виброустойчивость, шумность, передаваемый крутящий момент, надежность и плавность. Все эти требования ужесточаются по мере развития техники. Соответственно, ужесточаются и требования по точности к зубчатым венцам и совершенствуются методы контроля этих требований.

Современные средства измерения зубчатых колес — зубоизмерительные машины — позволяют выполнить основные требования, которые определяются современной конструкцией и технологией изготовления. На обеих боковых поверхностях трех или четырех зубьев измеряются погрешности профиля и линии зуба. На всех зубьях измеряются погрешности шага по обеим боковым поверхностям и погрешности радиального биения. Кроме этого, производится измерение толщины зуба (размера по шарикам). Время измерения зубчатого колеса составляет около 3 мин.

Зубоизмерительная машина обеспечивает измерение зубчатых колес при замене инструмента, на стыке рабочих смен и при изменениях в технологическом процессе, топографии зуба с оценкой пятна контакта, не имеет ограничений в части измерения колес с нестандартными параметрами профиля и линии зуба (модификации по профилю и линии зуба). Практически зубоизмерительная машина как современное средство измерения заменяет все ранее применявшиеся приборы для контроля зубчатых колес и позволяет измерять, кроме цилиндрических колес, также конические колеса, червяки, червячные колеса и зуборезные инструменты (червячные фрезы, долбяки и шеверы).

**В.А. Гришкин, курсант, рук. И.А. Легкова, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)**

МОБИЛЬНАЯ ЭСТАКАДА ДЛЯ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

При выполнении ремонтов и технического обслуживания грузовых автомобилей требуется доступ к его агрегатам и механизмам. Для выполнения работ под днищем автомобиля в помещении необорудованном смотровой ямой или подъемником предлагается использовать мобильную разборную эстакаду.

Мобильная эстакада имеет небольшие габаритные размеры и вес, легко устанавливается и затем демонтируется после завершения осмотра или ремонта, для её хранения не требуется много места [1].

Эстакада состоит из четырех опорных тумб и четырех трапов: двух въездных наклонных и двух горизонтальных. Составные части сварены из стального равнополочного уголка и рифленой арматуры. Для выбора необходимого размера металлического уголка и арматурного прута проведен расчет на прочность и жесткость. Для крепления трапов к тумбам используем болтовые соединения.

Для повышения устойчивости опорные тумбы должны иметь трапецевидную форму. На двух тумбах нужно предусмотреть ограничители, они не дадут автомобилю съехать с трапа (рис. 1). Ограничители можно сделать съемными, тогда переставив наклонные трапы, эстакада из тупиковой превратится в прямоточную [2].

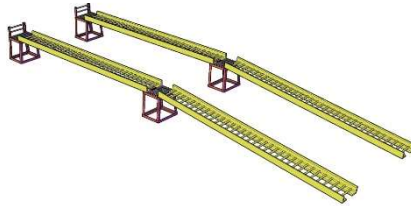


Рисунок 1. Модель разборной мобильной эстакады

Библиографический список

1. 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.
2. Пучков П.В. Мобильная эстакада для ремонта пожарных автомобилей// NovaInfo.Ru (Электронный журнал). – 2019 г. – № 109, С.21-22

*А.Н. Бушув, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛА

При штучном и мелкосерийном производстве металлических деталей, которые требуют изготовления сложной технологической оснастки, экономически выгодно использовать методы аддитивных технологий. Для печати металлами применяют селективное лазерное спекание (SLS) или селективное лазерное плавление (SLM).

SLS – позволяет спекать мелкодисперсные порошковые материалы с помощью лазера, например металлические порошки с легкоплавким связующим. SLM – позволяет изготавливать детали из чистого металла, расплавляя лазером порцию металлического порошка.

Уже разработаны порошки для печати на основе стальных, титановых сплавов, сплавов на основе кобальта, никеля и алюминия[1].

С помощью SLM- и SLS технологий можно создать уникальные сложнопрофильные изделия (рис. 1).



Рис. 1. Примеры металлических изделий, выполненных с применением аддитивных технологий

Изучение достоинств и недостатков аддитивных технологий [2], изучение структуры и надежности деталей, полученных SLS и SLM методами, внедрение их в производство, является перспективным направлением технологии машиностроения.

Библиографический список

- 1. Игисенов Б.К.** Селективное лазерное спекание металлов в аддитивных технологиях / Б.К. Игисенов, В.Е. Касутин, А.В. Креймер, К.В. Выблов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 4.2 (19). – С. 235-239.
- 2. Круглов Д.В.** Преимущества и недостатки аддитивных технологий / Д.В. Круглов, Н.Л. Павлюкова // Четырнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2019»: Материалы

*И.А Парасич, курсант, рук. А.В. Топоров, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РУЧНОГО НАСОСА ДЛЯ ПРИВОДА ГАСИ

В настоящее время ручные насосы для приведения в действие гидравлического аварийно-спасательного инструмента являются наиболее распространенными. Для создания необходимого давления жидкости в рабочей магистрали инструмента используется мускульная сила человека.

С целью расширения функциональных возможностей ручного привода гидравлического аварийно – спасательного инструмента предлагается на существующий ручной насос установить специальный механизм, имеющий электрический двигатель и перемещающий рукоятку насоса, тем самым приводя его в действие.

В предлагаемом устройстве скорость перемещения рукоятки насоса ограничены физическими возможностями человека. За счет проведения хронометража при выполнении норматива по перекусыванию арматуры было установлено, что один рабочий ход совершается за 0.4 с, т.е. перемещение рукоятки в одну сторону (в верхнее или нижнее положение) занимает в среднем 0.2 с (здесь не учитывается некоторое увеличение скорости движения рукоятки вверх совершаемое без нагрузки).

На основании проведенного кинематического расчета установлено, что угловая скорость кривошипа должна составлять 15.7 рад/с. Что бы определить мощность привода нужно найти необходимый крутящий момент на кривошипе. Направления вращения кривошипа могут быть по часовой стрелке и против часовой стрелки. Максимальная нагрузка на привод будет возникать в тот момент, когда кривошип и шатун выстроятся в одну линию. При этом, возможен вариант, когда кулиса будет находиться в самом ближнем положении к шарниру шатуна.

Кривошипно – кулисный механизм для привода ручного гидравлического насоса может быть принципиально реализован. Скорости движения частей механизма не превышают критических значений. Требуемая мощность не превышает 1 кВт, что дает возможность выполнить привод с питанием от аккумуляторов.

Библиографический список

1. Покровский А.А., Иванов В.Е. Реализация информационных технологий в курсовом проектировании. // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Воронеж. 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 258-260.

*Д.В. Круглов, студ.; рук. В.Н. Копоsov, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СКЛАДСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГПС

В настоящее время одним из путей развития машиностроения является применение гибких производственных систем (ГПС). С внедрением ГПС становится осуществимым сочетание высокой производительности с малыми размерами партий изделий и коротким периодом освоения их производства, что является залогом высокой конкурентоспособности предприятия.

На эффективность работы производственного участка и цеха в целом оказывает влияние планировка участка, а в частности рациональное использование компоновки инструментального склада и склада заготовок. Выбор рациональной компоновки склада зависит от производительности приемо-сдаточной секции, а именно системы «стеллаж - кран-штабелер».

Актуальность темы определяет необходимость создания методики, позволяющей произвести расчет приемо-сдаточной секции с учетом всех особенностей ее работы. Это позволит рассчитать время цикла крана-штабелера $t_{ц}$ для каждой ячейки стеллажа.

В предложенном методе используя исходные данные и ограничения, производится расчет времени цикла работы крана-штабелера.

На основе полученных данных строится кривая рассеяния величины $t_{ц}$. Если полученная зависимость приближается к теоретической кривой закона нормального распределения случайных величин, то для исследований и практического применения необходимо использовать математическое ожидание $M(t_{ц})$ величины $t_{ц}$.

В качестве величины, характеризующей длительность транспортных циклов принята величина годовых затрат времени на осуществление передвижения крана-штабелера (КШ) между приемно-передающей позицией и ячейками стеллажа $T_{см.год}$. Величина $T_{см.год}$ по сравнению с $t_{ц}$ дает более наглядное представление о том, к каким изменениям длительности транспортных циклов перемещения КШ приводят решения по компоновке стеллажей.

Применяя данную методику расчета, можно наглядно увидеть, что при рациональной компоновке стеллажей можно уменьшить длительность транспортных циклов КШ, что приведет к сокращению потребления электроэнергии и капитальных затрат на систему, а также увеличит срок службы крана-штабелера.

*В.С. Лелетич, студ., М.И. Пятанин, магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Современная машиностроительная промышленность уделяет большое внимание вопросам повышения надежности и долговечности изделий, работающих в условиях высоких температур и давлений, повышенных вибраций при переменных контактных, ударных, статистических нагрузках и т.д. Одним из направлений, призванным предотвратить катастрофический износ станин металлорежущих станков, является повышение износостойкости направляющих.

Испытания по определению интенсивности износа упрочненных образцов проводились на машине трения СМТ–1 при нагрузке 5 кг и скорости 0,25 м/с. Образец был изготовлен из материала направляющей станины (СЧ 20), и был подвергнут плазменному упрочнению и объемной закалке. Твердость образца до упрочнения составляла 170 НВ. Твердость упрочненного образца составляла 470 НВ.

Уменьшение коэффициента трения происходит равномерно. Падение коэффициента трения происходит из-за того, что образец внедряется в поверхность ролика и срезает поверхностный слой. С течением времени образцы прирабатываются (трение без смазки), микронеровности сглаживаются, а так как скорость вращения велика, то мостики сварки не успевают образовываться. После упрочнения коэффициент трения находится в более меньших значениях, это связано с тем, что у упрочненного слоя более высокая твердость, износостойкость и прочность. До закалки изменение массы ролика и образца происходит интенсивно и в высоких пределах значений. Это связано с тем, что материал хрупкий и износ большой. Затем с течением времени потеря массы возрастает. Износ с увеличением твердости снизился почти в 5 раз. Это связано с увеличением прочности и износостойкости вкладыша и контртела. Практически не происходит вырывания материала с образца. Итак, с увеличением твердости как образца, так и ролика износ уменьшается (увеличивается износостойкость). Технология плазменного поверхностного упрочнения повышает ресурс направляющих в 2 – 3 раза.

Библиографический список

1. Рогачев А. В., Сидорский С. С. Восстановление и повышение износостойкости деталей машин: Учеб. пособие. – Гомель: УО «БелГУТ», 2014. – 343 с.

**К.Е. Попов, студент, рук. А.М. Власов, ст. препод.,
рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ С НАНОДИСПЕРСНОЙ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Известен способ повышения ресурса и надежности устройств с нанодисперсной магнитной жидкостью [1], включающий обработку поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с нанодисперсной магнитной жидкостью, механическим или гальваническим способом для понижения высоты и шага неровностей шероховатой поверхности. Поверхности магнитопроводящих деталей, контактирующих с нанодисперсной магнитной жидкостью, дополнительно подвергают пластическому поверхностному деформированию, после чего в устройстве создают магнитное поле и вводят нанодисперсную магнитную жидкость. Недостатком данного способа является необходимость использования отдельной технологической операции пластического поверхностного деформирования поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с нанодисперсной магнитной жидкостью, что усложняет и удлинняет общую технологию производства магнитожидкостных устройств и увеличивает их себестоимость.

Предлагается для повышения надежности устройств с нанодисперсной магнитной жидкостью, включающем последовательное выполнение отдельных операций механической, гальванической обработки (нанесение немагнитного покрытия) и пластическое поверхностное деформирование поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с нанодисперсной магнитной жидкостью, для понижения высоты и шага неровностей шероховатой поверхности, при котором магнитопроводящие детали, контактирующие с нанодисперсной магнитной жидкостью, после механической обработки подвергать пластическому поверхностному деформированию одновременно с нанесением немагнитного покрытия, после чего в устройстве создавать магнитное поле и вводить нанодисперсную магнитную жидкость

Библиографический список

1. Патент РФ №2536863. Способ повышения ресурса и надежности устройств с нанодисперсной магнитной жидкостью / Полетаев В.А., Перминов С.М., Перминова А.С., Заявка №2013115606/07 от 05.04. 2013. Оpubл. в Б.И. №28 от 27.12. 2014

*Е. В. Соловьева, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ СМАЗОК НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЧУГУНА

Шлифование абразивными кругами является самым распространенным видом обработки деталей. Для уменьшения негативного влияния сухого шлифования на чугун применяют смазывающие вещества. Адсорбционный эффект действия смазки улучшает процесс обработки чугуна путем введения в смазку поверхностно-активных веществ (ПАВ). В результате действия ПАВ изменяется характер напряженного состояния поверхностных слоев.

Введение в смазку частиц пластичных металлов меди и никеля способствует залечиванию дефектов и благоприятно сказывается на структуре обрабатываемых поверхностей. Частицы легкоплавкого металла выполняют роль «припоя» в мелкозернистом материале поверхности. Внедренные в поверхностный слой частицы меди и никеля экранируют вылет электронов с поверхности металла.

Процесс шлифования сопровождается фазовыми и структурными превращениями в поверхностном слое чугуна. При сухом шлифовании СЧ 21-40 образуется аустенит, при шлифовании в смазке аустенит полностью превращается в ферромагнитные фазы сплава Fe-C.

Добавка в смазку мягких пластичных металлов благоприятно сказывается на состоянии обрабатываемого шлифованием поверхностного слоя. В этом случае поверхностный слой характеризуется относительно равновесной и стабильной структурой слоя толщиной 10 мкм. Следовательно, такой слой имеет меньшую концентрацию вносимых шлифованием структурных дефектов и более низкую эффективную температуру.

Имеет место внедрение атомов меди и никеля в α -фазы чугуна, инаиболее значительные изменения происходят в поверхностном слое порядка 0,1 мкм.

Как показано выше, при шлифовании чугуна СЧ 21-40 в смазке, содержащей ПАВ, медь и никель, происходит исчезновение аустенитной фазы.

Библиографический список

1. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения/Под ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение. 1990. 416 с.

*Д.Д. Зайцев, курсант, рук. А.А. Покровский, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ПРИЦЕПНОГО ПОЖАРНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ТУШЕНИЯ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ

Степные пожары схожи с низовыми лесными пожарами, но при этом скорость распространения степного пожара выше. Основным огнетушащим веществом для тушения степных пожаров является вода. При этом пожары часто возникают далеко от населенных пунктов и водоисточников, поэтому возникает проблема с доставкой воды, а, следовательно, и с локализацией пожара. Доставка воды к месту пожара на значительные расстояния пожарными автомобилями не всегда экономически оправдана и занимает большое количество времени. Высокая стоимость пожарных автомобилей также ограничивает их область применения в небольших подразделениях в сельской местности.

Особенностью нашей разработки является создание прицепного пожарного модуля, который можно зацепить не только за автомобиль, но и за более легкий и проходимый квадроцикл. Прицепной пожарный модуль, зацепленный за квадроцикл, имеет небольшой вес и технические характеристики вездехода в сравнении с другими, пожарными автомобилями, а также обладает возможностью маневрирования по узким проездам лесополос и может обеспечить доставку огнетушащих веществ в самый очаг пожара, обеспечив своевременное его тушение.

Данная разработка позволит нам помочь в решении задач по тушению степных и лесных пожаров причиняющих большой вред, как экономике, так и экологии областей. К основным достоинствам конструкции прицепного пожарного модуля можно отнести повышенную проходимость в местах пересеченной местности, мобильность и простоту конструкции. Использование при тушении пожара насоса высокого давления с бензиновым двигателем делает нашу разработку эффективной даже при объеме цистерны 250 литров, и позволяет проводить тушение горящей травы при степных и лесных пожарах.

Библиографический список

1.Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Повышение надежности пожарной техники применением модернизированных смазочных материалов // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – №2. – С. 50 – 53.

*А. В. Карпова, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СВЕРЛЕНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Конструкции и геометрические параметры инструментов (сверл) для сверления глубоких отверстий выбираются в зависимости от материала обрабатываемой детали. Сверление деталей из теплостойких сталей (I группы классификации), хромистых нержавеющей сталей (II группы) с $\sigma_{\text{в}} < 10^9 \text{ Н/м}^2$ и хромоникелевых нержавеющей сталей (III группы) производится стандартными сверлами из быстрорежущей стали P9K5, P6M5 с укороченной рабочей частью (до десяти диаметров).

Для сверления деталей из жаропрочных сталей (IV группы классификации), жаропрочных деформируемых сплавов (V группы) с $\sigma_{\text{в}} < 1,2 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, нержавеющей сталей (II группы) с $\sigma_{\text{с}} > 10^9 \text{ Н/м}^2$ и титановых сплавов с $\sigma_{\text{в}} < 1,1 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ используются специальные сверла повышенной жесткости, изготовленные из быстрорежущей стали P9K5, P9M4K8, P10K5Ф5 или из других быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости. Твердость рабочей части сверл диаметром до 5 мм, изготовленных из сталей P9K5, P10K5Ф5 - HRC 61...64, из стали P9M4K8 - HRC 63...65; твердость рабочей части сверл диаметром более 5 мм, изготовленных из сталей P9K5 и P10K5Ф5 - HRC 63...65, из стали P9M4K8 - HRC 65...68.

Длина рабочей части сверл должна быть не более шести-восьми диаметров. Толщина сердцевины сверл диаметром до 5 мм должна быть не менее $0,4D$ сверл диаметром 6... 10 мм - $0,3D$ сверл диаметром более 10 мм - не менее $0,25D$. Угол наклона винтовой канавки к оси сверла должен быть $30^\circ \dots 35^\circ$, обратная конусность - в пределах 0,1...0,15 мм на 100 мм длины. Ширину и высоту ленточек следует выполнять возможно меньшими, особенно у сверл для обработки деталей из титановых сплавов; угол при вершине сверла 140° , задний угол 12° , передний угол (примерно 10°) образуется в результате подточки перемычки до $a = 0,III$.

Сверла из твердого сплава должны иметь передний угол 0° , задний угол 12° , угол при вершине 140° ; перемычка должна быть подточена до 0, III; длина рабочей части должна быть не более шести диаметров. При сверлении сквозных отверстий целесообразно применять сверла с двойной заточкой.

**В.С. Лелетич, студ., А.К. Колотилов, магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Повышение точности и производительности обработки на металлорежущих станках является комплексной проблемой, решение которой связано с улучшением качества изготовления металлорежущего оборудования, приспособления и инструментов, поддержанием их точностных характеристик при эксплуатации, а также автоматизацией, комплексной механизацией и роботизацией производства. На точность механической обработки наряду с погрешностями станка, установки заготовок, упругими силовыми и температурными деформациями технологической системы влияют погрешности установки инструмента. Особое значение эта составляющая приобретает при использовании системы автоматической смены инструмента, предусматривающей многократное использование инструмента.

В этом случае погрешности установки будут определяться условиями сопряжения конических поверхностей шпинделя и оправки, которые во многом связаны с отклонениями указанных конических поверхностей от идеальных. И если погрешности конической поверхности шпинделя, проявляющиеся в одинаковой мере для всех используемых инструментов, могут быть предварительно оценены экспериментально, учтены и компенсированы при обработке с использованием возможностей современных систем ЧПУ, то учесть погрешности конусов оправок применительно к значительному числу инструментов не представляется возможным. Проблемой является также и то, что погрешности конусов оправок не остаются неизменными, формируемыми при их изготовлении. В процессе их многократного использования вследствие неточностей механизмов смены инструмента и действующих при этом динамических процессов существенно проявляются износые явления, определенным образом влияющие на макрогеометрию конического соединения.

Значительным резервом повышения точности обработки является формулирование конструкторско-технологических требований к конусам инструментальных оправок, которые позволят минимизировать погрешность установки оправки.

Библиографический список

1. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем / А.О. Харченко. - : «Профессионал», 2004. – 304 с.

*Е.О. Болдырев, курсант, рук. Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ГАРАЖА ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

Вопрос обеспечения безопасности при выполнении трудовых функций является актуальным. В каждой пожарно-спасательной части имеется гараж с расположенными внутри пожарными автомобилями. Осмотр пожарных автомобилей проводят при включенном двигателе, а это приводит к скоплению вредных примесей от сгорающего топлива – выхлопных газов, особенно остро эта проблема стоит в зимний период и лето в сухую безветренную погоду. Осуществляя ремонтные работы, осмотр пожарного автомобиля и снаряжения в целом следует выполнять перечень работ, рекомендуемые инструкциями по эксплуатации заводов-изготовителей пожарных автомобилей, автомобильных шасси и пожарного оборудования, в которых содержатся специфические указания по уходу за отдельными агрегатами и узлами пожарной техники и оборудования. Актуальной является система удаления выхлопных газов из закрытого помещения пожарно-спасательной части, включая ремонтную зону. Предлагается конструкция технического устройства для удаления выхлопных газов пожарных автомобилей из гаража пожарно-спасательной части как система вентиляционного комплекса, рис.1.



Рис.1 Применение технического устройства для удаления выхлопных газов из гаража пожарно-спасательной части

В рабочем режиме центробежный насос вытягивает загрязненный воздух (отработанные газы) поднимая по трубе через очистное сооружение в окружающую среду. Благодаря этому создаются благоприятные и безопасные условия для успешной и эффективной работы, снижается риск работы спасательной команды, водителей и пожарных.

**С. В. Власов, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ

Ковш – один из главных элементов экскаватора. Его основная работа – это извлечение, рыхление и перемещение грунта. Эффективная работа, например, стандартного экскаватора на многочисленных видах грунта и насыпей возможна благодаря использованию ковшей разного типа. При этом один и тот же ковш может быть укомплектован разнообразными сменными элементами, необходимыми для осуществления конкретных работ. Крупные поставщики строительной и карьерной техники и ряд специализированных компаний предлагают для ковшей экскаваторов и погрузчиков сменные режущие элементы – зубья, бокорезы, а также защиту от износа, к которой относятся износостойкие накладки. Наиболее распространенный элемент оснастки ковша – зубья. В большинстве своем они состоят из двух частей – так называемого адаптера, который приваривается или закрепляется резьбовым соединением непосредственно к режущей кромке ковша, и сменной коронки, которая надевается на адаптер и фиксируется штифтом. Таким образом, при износе или утере надо заменить только коронку, не срезая ее основы – адаптера, что значительно ускоряет и снижает трудозатраты и финансовые вложения на обслуживание ковша. Более того, при изменении грунтовых условий или характера работы можно сменить один тип коронок на другой.

Залогом надежности для зубьев ковша служат коронки. Изначально к коронкам предъявляются жесткие требования. Они не только должны хорошо выполнять основную функцию – резать грунт, но и как можно медленнее изнашиваться, а при износе самозатачиваться. Коронка должна плотно сидеть на адаптере, не разбалтываться и предохранять от износа соединение с адаптером.

Таким образом, правильная оснастка ковша, а именно использование качественных сменных запчастей (зубьев, коронок, систем защиты от износа), в значительной мере увеличивает срок службы изделия, существенно повышает его производительность и эффективность.

Библиографический список

- 1.Тюнинг ковша:** [Электронный ресурс] URL: <https://os1.ru/article/7547-zashchita-kovsha-ot-iznosa-tyuning-kovsha>.
- 2.Профессионал:**[Электронный ресурс] URL:<https://www.profdst.ru/media/broshures/>.

*А.Д. Колесникова, студ., Е.С. Уваров, магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ АДАПТЕРОВ КОВША ЭКСКАВАТОРА

В течение эксплуатации экскаватора, рабочее оборудование - стрела, рукоять и ковш испытывают значительные динамические нагрузки и естественный абразивный износ. Одним из важных показателей безаварийной и эффективной эксплуатации экскаватора является состояние ковша. Определение технического состояния ковша и выявление дефектов осуществляется визуальным осмотром. Основными дефектами являются: трещины основного металла режущей кромки, трещины швов адаптеров, износ тела и посадочных мест адаптеров. Если по результатам осмотра дается заключение, что ковш не допускается к дальнейшей эксплуатации, то принимается решение о целесообразности проведения ремонтно-восстановительных работ или замене элементов ковша.

Свариваемые адаптеры системы зубцов ESCO SUPER V как правило имеют твердость HB 415. Чтобы избежать возможного растрескивания, связанного со сваркой стали такой твердости, тщательно нужно следовать указаниям и ГОСТам по сварочным работам, использовать электроды (AWS A5.1) E-7016, (DIN 8556) E 51 54 B 10 120, (ISO3581) E 515 B 120 29(H) или (AWS A5.18) ER 70 S-6, (DIN 8559) SG2, а так же проволоку (NF 81.311) GS2. При установке адаптера нужно расположить зазор между ножек между верхней и нижней частями. При необходимости использовать мягкую сталь для правильного расположения адаптера. Эта сталь должна будет расплавиться при первичной сварке. Для фланцев толщиной до 50 мм предварительного нагрева при нормальных условиях не требуется. Если температура окружающей среды очень низкая, нагревать стоит поверхность и детали до 95 °С. Для фланцев толщиной более 50 мм, предварительный нагрев деталей и фланца поверхности обязателен (150-200 °С). Эту температуру необходимо поддерживать в течение всего процесса сварки. Промежуточная температура шва не должна превышать 200 °С. Температура всего фланца не должна понижаться более чем на 50 °С/ч. Также стоит ограничить приток холодного воздуха в зону проведения работ.

Данный метод позволил сократить время ремонтных работ и сварочных материалов в сравнении с базовым вариантом ремонта, при котором выполнялась разделка и заварка многочисленных трещин основного металла режущей кромки.

**Р. Р. Кадыров, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ВЫБОР МЕТОДА ДРОБЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Важной проблемой, стоящей перед современным промышленным производством, является повышение эффективности процессов механической обработки. При токарной обработке образуется стружка в виде ленты или винтовой спирали. Такая стружка может наматываться на инструмент, заготовку и другие элементы станка, что в свою очередь, приводит к травматизму обслуживающего персонала, снижению качества обработанных поверхностей, и простоям станка. Из-за малой насыпной плотности (большого объемного коэффициента) она занимает большой объем. Автоматизировать ее удаление из зоны резания практически невозможно.

Для оценки преимуществ и недостатков способов дробления стружки, их необходимо сравнить с обычным непрерывным резанием. При этом каждый из способов должен удовлетворять следующим требованиям: для достижения постоянных усилий резания, элементы стружки должны иметь максимально допустимую длину, обеспечивающую безопасность работы у станка и возможность автоматического транспортирования стружки; производительность обработки должна быть близкой или большей по сравнению с производительностью при непрерывном резании; образование одного элемента стружки должно осуществляться при постоянной площади сечения среза; изменение конструкции станков и количество дополнительных, обеспечивающих дробление стружки, должно быть минимальным; способ должен быть пригоден для заготовок любого диаметра.

В настоящее время для формирования удовлетворительной стружки известны кинематические дробления стружки. При дискретном способе суппорт вместе с режущим инструментом периодически останавливается на некоторый промежуток времени, достаточный для прерывания процесса резания, а затем снова перемещается со скоростью подачи. Способ вибрационного метода резанием основан на том, что режущему инструменту одновременно с непрерывным и равномерным движением подачи сообщается дополнительно, периодически изменяющиеся по гармоническому закону, движение. При релаксационном способе на равномерное движение инструмента накладывается дополнительное колебательное движение негармонической формы.

**Н.О. Бык, курсант, рук. П.В. Пучков, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)**

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МРДМ-1

В Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России на кафедре механики, ремонта и деталей машин (в составе УНК «Пожаротушение») сотрудниками, кафедры спроектирован и создан опытный образец наземного робототехнического разведывательного комплекса сверхлегкого класса МРДМ-1. Робототехнический разведывательный комплекс МРДМ-1 с гусеничным двигателем предназначен для проведения разведки в зоне ЧС, поиска пострадавших, передачи оператору информации об опасной концентрации газов (Рис. 1). Роботизированное устройство оснащено блоком управления на базе аппаратно-программных средств Arduino. Управление комплексом МРДМ-1 оператором осуществляется дистанционно с помощью Bluetooth модуля (6). Оператор оценивает обстановку в зоне ЧС с помощью Action камеры (3), установленной на корпусе устройства (1)[1,2].

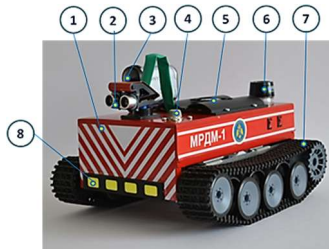


Рис.1. Робототехнический разведывательный комплекс МРДМ-1:

- 1 - робототехническая платформа; 2- программируемый датчик с серводвигателем; 3 – Action камера; 4 – динамик звукового сигнала; 5 – система охлаждения электронной начинки; 6 - Bluetooth модуль; 7 – гусеничный движитель; 8 - фара

Библиографический список

- 1.Кропотова Н.А., Пучков П.В.** Робототехнический комплекс, обеспечивающий пожарную и техносферную безопасность на воде при удалении нефтепродуктов // Сборник трудов секции № 5 XXIX Международной научно-практической конференции «Применение робототехнических комплексов специального назначения». – Химки, 2019. – С. 69 – 72.
- 2.** Шнекороторное роботизированное устройство для выполнения аварийно-спасательных работ на труднодоступных территориях// NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2019 г. – № 111, С.11-12

**Р. Е. Карташов, магистрант, рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МАРКИ Т15К6

Проведены исследования влияния различных видов и режимов обработки на состояние поверхности твердого сплава Т15К6 с целью изучения влияния лазерного упрочнения на состояние поверхностных слоев твердосплавных пластин марки Т15К6. В качестве объекта исследования применяли четырехгранные пластины твердого сплава Т15К6 размером 12,70×12,70×4,76 мм, ГОСТ 19052-80. Лазерную обработку твердосплавных пластин марки Т15К6 проводили на установке LQ-129, при этом изменяли количество импульсов в точку от 100 до 3000 и плотность энергии E от 50 до 140 Дж/см².

Для повышения твердости твердого сплава Т15К6 плотность энергии лазерного излучения должно составлять от 100 до 120 Дж/см. При более низкой энергии излучения агрегатное состояние практически не меняется.

Установлено, что продуктами разложения монокарбида WC являются гранецентрированные карбиды WC, двойные карбиды и сложные карбиды типа CoхWуCz, которые обогащают связующий слой кобальта и увеличивают твердость. Определено увеличение глубины упрочненного слоя в зависимости от энергоемкости (количества импульсов в точку) лазерного воздействия. Режим лазерного упрочнения от 500 до 1000 импульсов в точку позволяет повысить твердость в 2 раза.

Таким образом, импульсно – лазерная обработка является эффективным способом упрочнения твердых сплавов, при этом изменяется фазовый состав, параметры тонкой структуры, что влияет на твердость. Более углубленное изучение и оптимизация лазерного упрочнения твердого сплава Т15К6 позволит повысить эффективность процесса и его широкое внедрение в производство.

Библиографический список

1. **Бондаренко В.А.** Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов / В.А. Бондаренко, С.И. Богодухов. – М.: Машиностроение, 2000. – 141 с.
2. **Воронцов П.А.** О целесообразности импульсно – лазерного упрочнения металлокерамических твердых сплавов : сборник научных трудов/П.А. Воронцов, В.М. Гончаров, М.Н. Шагров.–Ставрополь: Сев. Кав. ГТУ, 2005. С. 20 –24.

*И.А.Сухов, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ МНОГОКООРДИНАТНЫЕ ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ

Выбор современного обрабатывающего центра (ОЦ) является сложной комплексной проблемой.

ОЦ – это многооперационные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяют осуществлять целый комплекс формообразующих операций. Различная конфигурация станков позволяет проводить обработку сложных деталей. Для этого ОЦ оснащены инструментальными магазинами от 4 – 15 до 50 – 110 и более инструментов. Отличительной особенностью современных моделей – наличие 5 и более координат обработки[1].

Развитие программного обеспечения позволило упростить написание программ для обработки деталей, используя для выбора операций трехмерную модель детали. В то же время программное обеспечение для управления характеристикам и динамикой современного ОЦ значительно усложнилось, т.к. оно позволяет учитывать большое количество факторов, влияющих на точность обработки (например, изменение температуры, влажности, контроль скорости резания, подачи и др.), что позволяет обеспечить погрешность обработки от 7 до 2 мкм [1].

Таким образом, выбор ОЦ при модернизации машиностроительного производства целесообразно при обработке высокотехнологичных сложных деталей в условиях крупносерийного производства, что обеспечит полную автоматизацию обработки на одном станке, повышение точности обработки, сокращение вспомогательного времени на операцию, повышение срока службы инструмента, экономию места в цеху.

Библиографический список

1. Еричев П.С. Современные обрабатывающие центры для обработки тел вращения и сложных корпусных деталей/ Еричев П.С., Трусов А.Н. //Сборник материалов VIIIсерос., научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 21-24 апр. 2015 г., Кемерово / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева».– Кемерово, 2016. С 240 – 244.

*Д.Д. Зайцев, курсант, рук. А.А. Покровский, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Пожарные автомобили создаются на базе грузовых автомобилей серийного производства и на них используются серийно выпускаемые двигатели. На пожарных автомобилях применяются четырехтактные карбюраторные или дизельные двигатели. От их исправности и развиваемой ими мощности зависит оперативная подвижность пожарного автомобиля и интенсивность подачи огнетушащих веществ. Поэтому успешность тушения пожаров во многом зависит от работоспособности двигателя.

Двигатель автомобиля является одним из наиболее сложных агрегатов и требует при ремонте как наиболее высокой квалификации работников, так и специального ремонтного оборудования и инструментов. Недостаточное внимание к организации работ по разборке двигателя на узлы и детали приводит не только к увеличению затрат труда, но и к тому, что в процессе разборки многие детали получают повреждения: срыв и забоины резьбы, трещины, поломки, повреждения рабочих поверхностей. Поэтому при проведении разборочно-сборочных работ на предприятиях и станциях технического обслуживания используют стеллажи.

Конструкция стеллажа должна обеспечивать безопасность и удобство выполнения работ, минимальные затраты времени на установку и снятие агрегата. В ряде случаев конструкция стеллажа должна обеспечивать в процессе разборки возможность поворота агрегата в удобное для работы положение. При этом должны быть предусмотрены стопорные устройства.

В результате разработки конструкции стеллажа, предназначенного для проведения технического обслуживания и ремонта двигателей пожарных автомобилей, выполнена трехмерная модель устройства и определены основные силовые и геометрические параметры электромеханического привода.

Библиографический список

1. Покровский А.А., Иванов В.Е. Реализация информационных технологий в курсовом проектировании. // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Воронеж. 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 258-260.

*А.Ю. Хлынин, курсант, рук. Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПОСТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ – НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИКИ

Надежность транспортного средства, осуществляющего выполнение различных задач, является актуальной, и пожарная техника не является исключением, поскольку она является материальной основой, обеспечивающей прибытие (убытие) личного состава на пожар и выполнение тактических действий подразделений по ликвидации пожаров, их последствий и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Современный пожарный автомобиль – это сложный технический комплекс обеспечивающий взаимосвязь механических, гидравлических, электрических и электронных систем и его эксплуатация состоит из двух режимов: режим ожидания и использование по назначению. В агрегатах и узлах пожарных автомобилей более интенсивно проходят процессы, определяющие их эксплуатационные свойства, что приводит к ухудшению технического состояния и снижению надежности. Как показали практические данные, износ и поломка деталей является основной из ряда имеющихся причин по выходу техники из строя. Для поддержания парка пожарных автомобилей в исправном состоянии осуществляется комплекс технических и организационных мероприятий – техническое обслуживание и ремонт, как планово-предупредительная система ГПС МЧС России. Своевременный и качественный ремонт – основное условие содержания пожарной техники в рабочем состоянии. Поэтому обосновано решение создания поста технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей. Следовательно, оснащение новым оборудованием гаража и депо позволяет принимать инженерные решения для повышения эффективности, работоспособности и расширения диапазона выполняемых задач имеющейся техники.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Кропотова Н.А., Покровский А.А. Повышение долговечности трансмиссий пожарных автомобилей применением смазочных композиций // Пожарная и аварийная безопасность. Сетевое издание. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2019. – № 1 (12). – С. 34 - 40.

**К.М. Ляхова, курсант, В.Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

Повышение эффективности пожарного оборудования способствует ограничению воздействия опасных факторов на материальные ценности и на людей, и является актуальной задачей.

Так, например, в условиях сельской местности, где затруднен проезд рукавного автомобиля или его использование не эффективно в сложившейся ситуации, предлагается использовать мобильную катушку с дополнительными рукавами.

Предлагается использовать модернизированную катушку, которая является аналогом установленной на автомобиль Rosenbauer. Состоит данная катушка из рамы с механизмами крепления и автоматической фиксации на пожарном автомобиле, что позволяет удерживать, блокировать и разблокировать рукавную катушку на кронштейнах пожарного автомобиля, как оборудованного гидравлического подъемной системой, так и не оборудованного ей. Также оснащена системой блокировки вращения барабана с рукавом, держателем соединительной головки пожарного рукава, размещенного на раме катушки, на который крепится последняя соединительная головка пожарного рукава, чтобы предотвратить его самопроизвольную размотку.

Для изготовления отдельных элементов катушки предлагается использовать сплавы легких металлов, чтобы добиться снижения веса конструкции. При разработке новой конструкции рукавной катушки с целью установки ее на пожарную автоцистерну АЦ-30 (66), был произведен прочностной расчет силовых элементов с учетом увеличения вместимости катушки.

Таким образом, предложенная катушка с дополнительными рукавами легка в использовании, имеет хорошую маневренность и простую конструкцию, ее легко как снять с автомобиля, так и закрепить обратно за конструкцию. Повышенная надежность такой конструкции способствует увеличению срока службы и безотказной работы. Применение мобильных катушек значительно повышает эффективность борьбы с огнем в условиях сельской местности.

Библиографический список

1. Покровский А.А., Иванов В.Е. Реализация информационных технологий в курсовом проектировании. // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Воронеж. 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 258-260.

*В.С. Колосов, курсант, В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ПЕРЕДВИЖНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Обеспечение безотказной работы пожарной техники, снижение затрат на ее переброску из подразделений в специализированные мастерские, сокращение сроков на проведение технического обслуживания и ремонта возможно с помощью передвижной мастерской. Назначение данной мастерской заключается в проведении технического обслуживания и необходимого текущего ремонта пожарной техники непосредственно в подразделениях пожарной охраны или, при необходимости, в местах несения службы на длительных выездах.

Оборудование и инструмент которым оснащается передвижная мастерская подбирается из учета мобильных средств пожаротушения подлежащих ремонту и техническому обслуживанию стоящих на вооружении в пожарно-спасательных частях. В список оборудования может входить: грузоподъемные механизмы (домкраты, подъемники, прессы, и т.д.); набор оборудования для диагностики, ремонта и обслуживания систем двигателя; приборы для работы с электрооборудованием пожарных автомобилей; инструмент и комплекты для обслуживания ходовой части и рулевого управления автомобилей. Так же стоит учесть использование в мастерской силовых установок и агрегатов (компрессор, генератор, сварочный аппарат и т.д.).

При проектировании и создании действующей передвижной мастерской для технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей потребуются вложения определенных денежных средств. Однако стоит отметить, что при этом улучшаться условия и качество проведения технического обслуживания, появятся возможности проведения сложных ремонтов на местах, в пожарных подразделениях, а это положительно повлияет на надежность и работоспособность мобильных средств пожаротушения.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Мельников В.Г. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов. // Эффект безызносности и триботехнологии. 2004. №1. С. 16 – 20.

**К.М. Ляхова, курсант, В. Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)**

ПЕРЕДВИЖНАЯ УСТАНОВКА КАРКАСНОГО ТИПА ДЛЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Как известно, каждое подразделение пожарной охраны уделяет особое внимание ведению рукавного хозяйства и состоянию пожарных рукавов. Так как наличие исправных и работоспособных пожарных рукавов при проведении боевых действий по тушению пожаров напрямую влияет на эффективность подачи в очаг пожара огнетушащих веществ требуемого состава и с необходимой интенсивностью. В связи с этим качественное техническое обслуживание и внедрение современного оборудования для сушки пожарных рукавов является актуальной задачей.

В работе произведен обзор современного оборудования для сушки и технического обслуживания напорных пожарных рукавов как в зарубежных и источниках, так и в отечественных. Произведенный обзор позволил выявить достоинства и недостатки существующих конструкций и с их учетом спроектировать конструкцию мобильной установки для сушки и хранения напорных пожарных рукавов. Разработанное устройство представляет собой сварную конструкцию, выполненную из труб прямоугольного сечения. Данная конструкция будет установлена на поворотные колеса, для перемещения от места сушки к месту выгрузки пожарных рукавов. Для выбора необходимого профиля был произведен прочностной расчет рамы. Основная нагрузка будет располагаться на горизонтальной балке.

Отличительной особенностью разработанного устройства для сушки и хранения напорных пожарных рукавов является наличие дополнительных корзин для хранения рукавов в скатке, которые расположены на боковых стойках, так же предусмотрена защитная наклонная плита, которая предохраняет сухие рукава от стекающей воды с сырых рукавов. Так же разработанная конструкция устройства позволит снизить время загрузки и выгрузки рукавов из пожарного автомобиля.

Библиографический список

1. Иванов В.Е., Талашенко А.О., Туранов Н.А. Разработка устройства для сушки пожарных рукавов секционного типа // 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. С 180-182.

**К.С. Елгаев, курсант, В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

СОЗДАНИЕ УЧАСТКА РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

Практическая готовность пожарно-спасательных подразделений неотделимо связана с техническим состоянием пожарной и аварийно-спасательной техники ее грамотным обслуживанием, ремонтом, хранением и применением. Для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ личным составом применяются различные виды пожарно-технического оборудования. Одним из самых часто применяемых видов пожарно-технического вооружения являются пожарные рукава различного исполнения и диаметра. Технически исправное состояние рукавов обеспечивает бесперебойную подачу огнетушащего состава аварийно-спасательными подразделениями МЧС при тушении пожаров. Недостаточное количество рукавов или выход их из строя отрицательно влияют на результат выполняемой операции. Таким образом вопросы правильного ведения рукавного хозяйства в пожарно-спасательных частях являются актуальными.

Анализ статистических данных о ведении и состоянии рукавного хозяйства в пожарно-спасательных частях дает возможность сделать вывод о неоднозначности ситуации. Так, достаточно часто, встречаются пожарно-спасательные части, в которых запас новых рукавов очень ограничен, по этому, вопросы правильного обслуживания, хранения, и своевременного ремонта рукавов стоят достаточно остро.

Таким образом, для качественного обслуживания рукавов после использования или в процессе хранения существует достаточное количество различных станков и приспособлений. Причем диапазон стоимости этого оборудования достаточно большой. А это значит, что практически в любой пожарно-спасательной части можно организовать участок по обслуживанию пожарных рукавов. Проведение операций по мойке, сушке, талькированию, перекатке рукавов значительно повысят их долговечность, снизят количество выходов их из строя и обеспечат практическую готовность пожарно-спасательных подразделений.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Мельников В.Г. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов. // Эффект безызносности и триботехнологии. 2004. №1. С. 16 – 20.

*А.Д. Колесникова, студ.; рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКОВ АВТОМАТОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ СМАЗЫВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ И МЕХАНИЗМОВ

Современное автоматизированное оборудование очень часто имеет единую систему смазывания частей и механизмов и охлаждение зоны резания.

Для смазывания используют синтетические масла и синтетические смазочно-охлаждающие технологические жидкости. В процессе работы происходит их окисление и загрязнение, поэтому может наблюдаться коррозия деталей станка.

Проникающая в редуктор влага соединяется с кислородом и образует на незащищенных поверхностях ржавчину. Используемое синтетическое масло переносит частицы ржавчины в места контакта зубьев, что вызывает абразивное воздействие и увеличивает износ.

Для определения степени опасности проникновения коррозии используется устройство для контроля проникновения локальной коррозии в металлические конструкции [1].

Предлагается поместить датчик устройства в редуктор станка для мониторинга коррозионной агрессивности среды, независимо от давления, температуры, движения среды и типа конструкции.

Устройство состоит из пластин, присоединенных к протекторам, которые образуют датчики. К каждому датчику припаяны изолированные проводники. Протекторы, торцевые стороны датчиков и места спаев изолированы антикоррозионным покрытием. Датчики помещены в корпус с перегородками, изготовленными из коррозионно-стойкого диэлектрического материала.

Таким образом, наблюдая за смазочной жидкостью можно установить момент, когда необходимо проводить ее замену. В зависимости от условий эксплуатации количество датчиков может быть уменьшено или увеличено.

Библиографический список

1. Устройство для контроля проникновения локальной коррозии в металлические конструкции. Пат. 2510496 РФ МПК: G01N17/02/Авторы патента: Реформатская Ирина Игоревна (RU), Торшин Вадим Борисович (RU), Ащеулова Ирина Ивановна (RU), Подобаев Александр Николаевич (RU), Артамонов Олег Юрьевич (RU), Афонькин Андрей Евгеньевич (RU), Шишлов Дмитрий Сергеевич (RU).

*Шуваева В.В., студ.; рук. Ведерникова И.И., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Увеличение срока службы колес тесно связано со смазочными материалами и компонентами, из которых они изготовлены.

В работе представлено 4 материала:

1. Эпиламы
2. Пентафталевая смола
3. Глифталевая смола
4. Алкидная смола

Так же рассмотрены другие компоненты для увеличения срока службы, такие как:

1. Консистентные смазки [1]
2. Пластичная антифрикционная смазки [2]
3. Пластичные смазки [3]

Таким образом, в работе проведено сравнение и рассмотрены такие материалы: эпиламы, пентафталевая смола, глифталевая смола и алкидная смола. Эпиламы обладают хорошими физико-химическими свойствами, *пентафталевые смолы* отличаются от глифталевых более высокой молекулярной массой и большей степенью разветвленное вследствие более высокой функциональности пентаэритрита (по сравнению с глицерином) и наличием в его молекуле неопентильной группы. Это обеспечивает более высокую скорость сушки даже для смол, содержащих полувывсыхающие масла с образованием покрытий, превосходящих глифталевые по твердости, водо -, свето - и атмосферостойкости, а алкидные смолы-высоковязкие липкие продукты.

Библиографический список

1. Консистентные смазки. Пат. 48959A1 SU МПК: C10M Авторы патента: Залипо М.Н.
2. Смазка пластичная антифрикционная. Пат. 2 633 350 C1 РФ МПК: C10M 169/04(2006.01) C10M 125/00(2006.01) C10N 30/08(2006.01) Авторы патента: Верета К.В.
3. Пластичная смазка. Пат. 2 177 982 C2 РФ МПК: C10M 177/00 Авторы патента Рашников В.Ф.

СЕКЦИЯ 24
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Председатель –
к.т.н., доцент **Ноздрин М. А.**

Секретарь –
ассистент **Ильина Е.Э.**

**П.В. Суркова, студ.; рук. Л. Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

КОНСТРУКТИВНО-ПРОЧНОСТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛА БАГАЖНИКА АВТОМОБИЛЯ

Европейский проект SSUCHY позиционируется на разработке композитных продуктов на основе биоматериалов с функциональными преимуществами и высокими структурными свойствами для ведущих секторов промышленности [1]. В рамках данного проекта проводится исследование пола багажника автомобиля с целью получения оптимальных параметров толщины слоев сэндвич-панели для этой конструкции из биокompозитов и ее минимальной массы при допустимом значении прогиба [2]. Техническое задание поставлено в соответствии с условиями крепления конструкции в автомобиле и максимально допустимой нагрузкой. Наличие симметрии позволяет рассматривать половину расчетной области модели.

В процессе работы проводится построение плоской геометрии модели и создание 2D конечно-элементной сетки в программном комплексе (ПК) GMSH. Полученный набор узлов и плоских элементов служит основой для получения объемной конечно-элементной сетки с помощью алгоритмов программного комплекса Matlab. Также в ПК Matlab создается алгоритм формирования расчетного файла .inp для ПК Abaqus, проводятся расчеты для различных вариантов сэндвич-панелей. Исходный материал для тестовых расчетов и отладки программ - сэндвич-панель с композитной оболочкой (нетканая полиуретановая матрица, усиленная стекловолокном) и сотовым картонным наполнителем.

Для полученного файла результатов (.odb) разрабатывается программа для поиска значения максимального прогиба. Оно используется в программе оптимизации SIMBAD (Matlab) для изменения исходных параметров оптимизации. Данные параметры интегрируются в файл .inp для многократных расчетов с целью подбора оптимального сочетания биоматериалов для сэндвич-панели, и дальнейшей оценки чувствительности параметров оптимизации.

Библиографический список

1. Del Mastro, A. Quand les matériaux composites biosourcés s'invitent dans les applications structurales / A. Del Mastro. – Paris: CNRS, Chapter 5, 2019. – p. 131 - 134
2. Berthelot J.-M. Matériaux Composites, 5e édition / J.-M. Berthelot. – Paris: Lavoisier, 2012. – 638 p.

*Г.В. Долунц, студ.; рук. Л. Б. Маслов, доц., д.ф.-м.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТА СВЕРХЗВУКОВОГО ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЕТА

Целью работы является разработка концепта сверхзвукового пассажирского самолета с применением не только компьютерного моделирования, но и проведением аналитических расчетов.

Разработка включала в себя анализ прототипов, аналогов и инновационных решений, связанных с особенностями сверхзвуковых скоростей. Были проведены расчеты основных параметров самолета, создание его интерьера в виртуальной реальности, выполнение расчетов на прочность крыла и фюзеляжа методами сопромата, а также проектирование компьютерной модели в CAD системах для проведения аэродинамических расчетов.

В результате получился готовый концепт сверхзвукового пассажирского самолета, который в состоянии преодолеть сверхзвуковой барьер.



Рис.1. Внешний облик сверхзвукового пассажирского самолета.

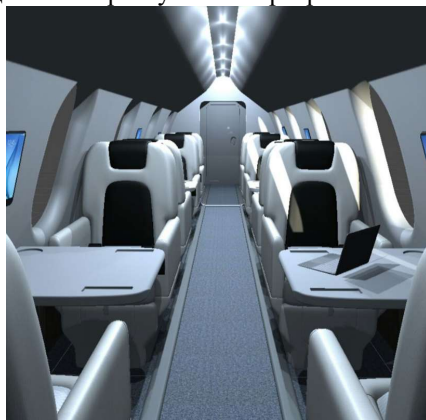


Рис.2. Интерьер разработанного сверхзвукового пассажирского самолета.

Проведенные расчеты показали, что данный концепт будет существенно дороже, чем его аналоги, а стоимость билета из Москвы в Нью-Йорк составит 550 000 рублей, сэкономив всего 6ч времени на перелет.

Библиографический список

1. Сайт МАУ ДО ЦТТ «Новация» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--37-6kch5a1ah0e5d.xn--p1ai/>
2. Виртуальная аэродинамическая труба XFLR 5 с нуля шаг за шагом. – Подкур М.Л., 2009. – 44 с.
3. Проектирование самолётов: учебник для вузов / С.М. Егер, 1983 г. – 648 с.

*А.О. Чекрыгина, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА

Целью работы является расчёт звена фюзеляжа и выявление наиболее опасных сечений в стрингерах, шпангоутах и лонжеронах. Создаются две упрощенные модели звена (рис.1), длиной 1 м с различием в продольных элементах конструкции каркаса (усиленный и нормальный стрингер [1]). Проводится сравнительный прочностной анализ. Создание геометрии и расчет на прочность проводятся в программном комплексе ANSYS Workbench [2]. 3D модели фюзеляжа закрепляются одинаково: шарнирно на передней и задней окружностях $u_z=0$ и в нижних точках, при $u_x=u_y=0$. задается распределенная нагрузка 160 кН.

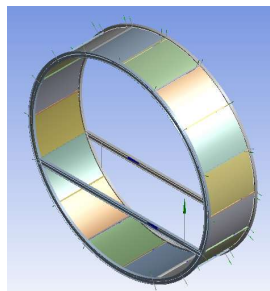


Рис.1. Общий вид 3D модели части фюзеляжа.

Для анализа влияния изменений в конструкции элемента выводятся максимальные и минимальные значения перемещений, поперечных сил и напряжений (таблица 1).

Таблица 1. Результаты исследования.

	Усиленная конструкция		Ослабленная конструкция	
	Max значения	Min значения	Max значения	Min значения
Перемещения, мм	129,78	0	129,8	0
Поперечные силы, Н	31578	0,0164	31558	0,0039
Напряжения, МПа	704,23	-22,024	704,3	-22,137

Из таблицы 1 видно, что максимальное значение перемещений ослабленной конструкции возросла на 0,02 м. Также увеличилось максимальное и минимальное напряжение: $\Delta\sigma_{\max}=0,07$ МПа; $\Delta\sigma_{\min}=0,113$ МПа. Однако, значения поперечных сил, наоборот, уменьшились: максимальные на 20 Н, минимальные на 0,0125 Н.

Таким образом, с точки зрения прочности элемента оптимальной является модель фюзеляжа с усиленным элементом каркаса.

Библиографический список

1. Конструкция и прочность самолётов и вертолетов. / Воскобойник М.С., Лагосюк Г. С., Миленский Ю. Л., Миртов К. Д., Осокин Д. П., Скрипка М.Л., Ушаков В. С., Черненко Ж. С. М.: «Транспорт», 1972. -440с.
2. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 240с.

*Г.В. Долунц, студ.; рук. М. А. Ноздрин, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ПЛОСКОСТИ КРЫЛА АВИАМОДЕЛИ CANADAIR 215 CL

Целью работы является выполнение прочностного расчета плоскости крыла авиамодели Canadair 215 CL с помощью программного комплекса SolidWorks.

В процессе работы проводились исследования физико-механических свойств пробкового дерева бальза с помощью испытательного стенда TestSystems.

Изучена гигроскопичность пробкового дерева бальза и проведён ряд экспериментов с различным покрытием поверхности авиамодели для гидроизоляции летающей лодки. Разработана геометрическая компьютерная авиамодель Canadair 215 CL (рис.1).

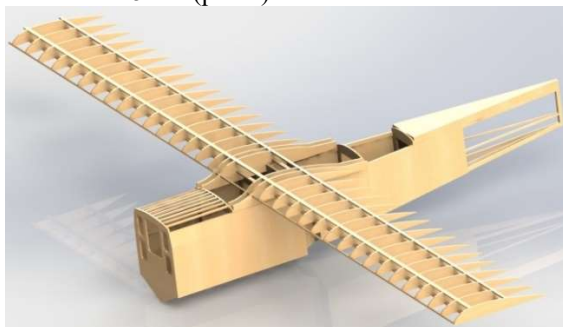


Рис.1 Компьютерная модель Canadair 215 CL.

Проведен аналитический расчет плоскости крыла на прочность. Проведен прочностной расчет в программном комплексе SolidWorks с целью выявления опасного сечения.

Степень внедрения – полученные результаты учитываются при создании авиамодели Canadair 215 CL, задачей которой является выполнение аэрофотосъемки дальностью не более 1000 метров с длительностью полета 10-15 минут.

Библиографический список

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов. – 10-е издание, перераб. И доп. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
3. Мхитарян А.М. Аэродинамика – М.: Машиностроение, 1970, 448 с.

**В.М. Старостина, студ.; рук. З.В. Зарубин, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВОГО КВАДРОКОПТЕРА

Квадрокоптеры являются частным случаем мультикоптеров - много-роторных устройств, которые держатся в воздухе, управляются и перемещаются только за счет несущих пропеллеров. Они находят свое применение во многих областях: проведение фото и видеосъемки, доставка небольших по размеру и весу грузов, поисковых операций, а также в военных целях.

Проведена оптимизация в решетчатую структуру твердотельного луча в программном комплексе Altair Inspire. Данный программный продукт является наиболее мощным и простым в использовании решением для оптимизации. Целью ее является минимизация массы при сохранении требуемой жесткости. В результате оптимизации вес луча уменьшился на 60%, то есть на 57 грамм. Вес всего квадрокоптера был снижен на 228 грамм, что дает увеличение в скорости и маневренности аппарата.

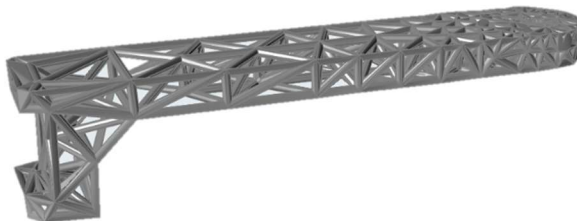


Рис.1. Оптимизированный луч квадрокоптера

Библиографический список

1. **Яценков В.С.** Твой первый квадрокоптер: теория и практика - СПб.: БХВ-Петербург, 2016. - 256с
2. **Огурцов, Федор Борисович.** Регрессионный анализ: методические указания к лабораторной работе / Ф. Б. Огурцов ; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, Каф. теоретической и прикладной механики ; под ред. В. И. Шапина.—Иваново: Б.и., 2008.—24 с.
3. **Филатов, Юрий Евгеньевич.** Руководство к лабораторным работам по сопротивлению материалов: учебно-метод. пособие / Ю. Е. Филатов ; М-во образования Рос. Федерации; Иван. гос. энерг. ун-т.—Иваново: Б.и., 2002.—85 с.

*Е.О. Земеров студ.; рук. М.А. Ноздрин, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПОПЕРЕЧНОГО РЫЧАГА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ

Целью работы является исследование прочности одного из основных элементов передней подвески автомобиля - поперечного рычага. Изучена необходимая информация об автомобиле Renault Logan, об устройстве его передней подвески по типу МакФерсон. Осуществлено исследование принципа работы передней подвески.

Выполнено проектирование 3D модели, идентичной оригинальному образцу (рис. 1), с помощью систем автоматизированного проектирования SolidWorks, Компас-3D.

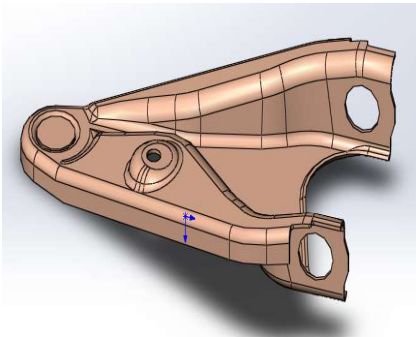


Рис.1. Готовая 3D модель рычага, идентичная оригинальному образцу

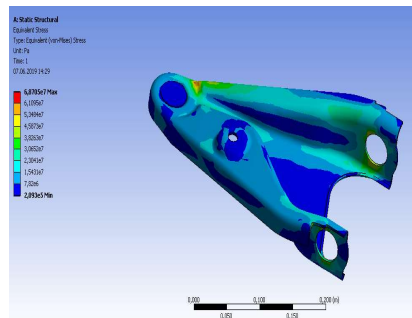


Рис.2. Расчетные напряжения в модели

Используя программный пакет ANSYS, установлены расчетные напряжения при заданной нагрузке (рис. 2). Увеличивая нагрузку методом "а что если?", проводится сравнение результатов, определяется максимальное допустимое усилие, которое выдержит рычаг.

Максимальное допустимое усилие на рычаг не велико и равняется 109кг. Из этого следует, что поперечный рычаг в подвеске автомобиля не выдерживает большой нагрузки на изгиб. Рычаг предназначен удерживать опорную стойку в вертикальном положении, где большие нагрузки не наблюдаются.

Библиографический список

1. <https://ru.wikipedia.org/> Renault Logan
2. <https://ru.wikipedia.org/> МакФерсон (подвеска)
3. RENAULT LOGAN 2004-2009 Руководство по ремонту и эксплуатации автомобиля. Издательство «За рулем»

Д.О. Соловьев, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Проведена теоретическая оценка прочности индивидуального эндопротеза пациента, проходящего лечение в РНИИТО им. Р.Р. Вредена. В рамках проекта проведены следующие основные этапы: подготовка геометрической модели таза на основе данных компьютерной томографии, создание конечно-элементной модели системы «скелет - эндопротез тазобедренного сустава» и исследование напряженно-деформированного состояния в результате статического прочностного расчета при натяжке винтов и в случае двухопорного стояния (рис. 1).

Анализ показал, что для верхней части тазовой кости, эндопротеза и винтов, осуществляющих фиксацию имплантата к кости, имеется достаточный запас прочности. Установлено, что уже на этапе затяга винтов наиболее опасной областью является узкий участок нижней части тазовой кости вблизи 8-го винта. Это означает, что при его ввинчивании в кость может начаться разрушение.

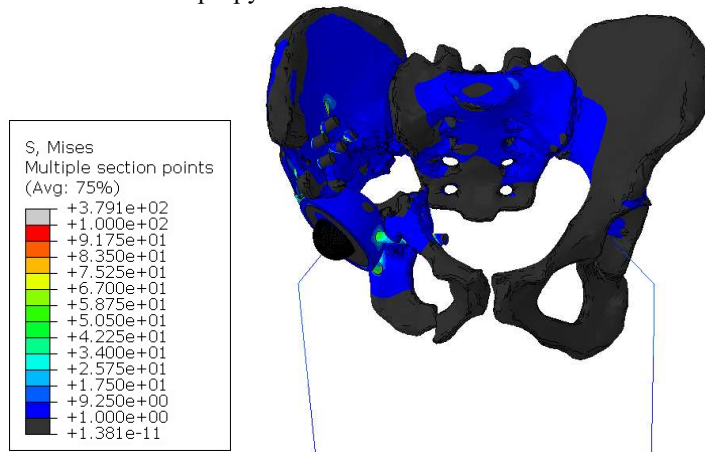


Рис.1. Общее распределение напряжений в модели (МПа)

В качестве рекомендаций для снижения НДС предлагается оптимизация расположения и количества используемых винтов с целью создания более равномерного распределения напряжений. Результаты работы внедрены в медицинскую практику ФГБУ "РНИИТО им. Р.Р. Вредена" Минздрава России.

*И.Л. Маслова, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДЬБЫ ПАЦИЕНТА С ВОССТАНОВЛЕННЫМ ТАЗОБЕДРЕННЫМ СУСТАВОМ

Контактные напряжения, возникаемые в тазобедренном суставе вследствие функциональных нагрузок, являются важной областью исследований о прочности имплантатов, способах их установки, оптимизации конструкций, а также для более подробной картины периода восстановления пациентов и рекомендаций для врачей при проведении операции.

Моделирование ходьбы является сложным механическим процессом. В данном процессе задействовано порядка 20 мышц человека. Мышца моделируется внешней силой, направленной по прямой, соединяющей точки прикрепления мышцы на бедре и тазе [1]. Существуют разные способы экспериментального анализа контактных напряжений: *in vitro* и *in vivo* [2]. Данные эксперименты позволяют понять особенности биомеханики неповрежденного тазобедренного сустава для последующего компьютерного моделирования. Однако данные эксперименты позволяют оценить только локальные распределения напряжений.

В исследовании для расчета напряжений, возникающих в костях при функциональных нагрузках, строится трехмерная модель тазобедренного сустава с установленным индивидуальным эндопротезом. Для определения сил, действующих на тазобедренный сустав при физиологических нагрузках, используется квазистатическая модель ходьбы. Построенная биомеханическая модель системы кость–эндопротез и вычисленные функциональные нагрузки на сустав позволили рассчитать напряженно-деформированное состояние элементов системы в наиболее нагруженные фазы шага и оценить влияние конструкции имплантата на эксплуатационную долговечность эндопротеза.

Библиографический список

1. Акулич Ю.В., Подгаец Р.М., Скрыбин В.Л., Сотин А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния эндопротезированного тазобедренного сустава. Российский журнал биомеханики, 2007, том 11, № 4: 9–35.
2. Irmavec M., Brand R.A., Pedersen D.R., Mavcic B., Kralj-Iglic V., Iglic A. Mathematical modelling of stress in the hip during gait. Journal of Biomechanics, 1999, 32, 1229-1235.

Ю.Д. Спассёнков, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРТЕЗА ПРИ МНОГОРАЗОВОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРУЖЕНИИ

В ходе работы определяются изменения прочностных и геометрических характеристик физической модели ортеза при многократном температурном нагружении. Работа состоит из экспериментальной части и численных расчетов [1].

В экспериментальной части образец испытывается в течение 4х циклов температурного нагружения. Результаты экспериментальных измерений представлены в табл. 1.

Табл.1 Результаты экспериментов

Приращение силы $\Delta P=2H$ Р,Н	1 Цикл (3 процедуры) $\Delta f, мм$	2 Цикл (3 процедуры) $\Delta f, мм$	3 Цикл (3 процедуры) $\Delta f, мм$	4 Цикл (20 процедур) $\Delta f, мм$
0	0	0	0	0
2	0,9	0,8	0,8	0,85
4	1,0	1,0	1,0	0,95

В численных расчетах строится КЭ-модель и проводится расчет напряженно-деформированного состояния ортеза сустава руки. Найдены максимальные напряжения, возникающие в ортезе, путем расчета в программе ANSYS – 5,4 Па. (Рис.1).

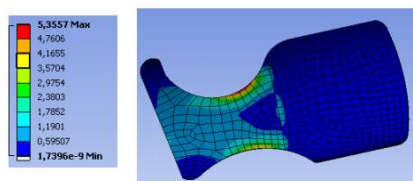


Рис. 1. Напряжения в ортезе

По сравнению с допустимым напряжением для данного материала, равного 26 МПа, расчетные являются значительно меньшими. Это значит, что ортез имеет большой запас прочности и способен сопротивляться не только нагрузкам, возникающему в суставе, но и различным внешним усилиям

Библиографический список

- ГОСТ Р 51632-2000 Технические средства реабилитации людей с ограничениями жизнедеятельности. Общие технические требования и методы испытаний ГОСТ Р 51632-2000 Группа Р20 Дата введения 2001- 07-01

*А. Ю. Дмитриук, студ.; рук. З.В. Зарубин, ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНЦЕПЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО РОБОТА

Беспозвоночные с мягким телом, такие как пиявки, черви и слизни, успешно колонизировали морскую, наземную и ископаемую (подземную) среду. В последние несколько десятилетий активно анализируют движение роботов ползунов внутри труб в целях технического осмотра или в биологических сосудах для медицинских применений. Во многих случаях такие роботы должны преодолевать местность с анизотропными свойствами, высокой гибкостью, различными размерами и низкими коэффициентами трения. Ключевым элементом в конструкции маленького робота-ползуна является наличие небольшого количества двигателей и контролеров, что позволяет миниатюризировать конструкцию.

Существует две основные схемы передвижения: червеобразное и волнообразное. В данной работе рассматриваем движение одноприводного волнового робота, который может производить почти идеальное синусоидальное продвижение волнообразного движения.

Принцип движения данного робота отличается от принципов движения червей, которые передвигаются за счет череды сокращений и удлинений продольного волны. Он передвигается за счет вертикальной волны, принципа движения, который используют рыбы, змеи, гусеницы и т.д.

Его конструкция состоит из единственного двигателя, вращающего кривошипный механизм, который заставляет колебаться «хребет» робота. Строение самого «тела» робота состоит из множества скрепленных частей, напечатанных на 3D принтере. Поскольку колебания робота совершаются только в одной плоскости, он может двигаться только вперед или назад.

Конструкция робота проста, легка, дешева и требует только одного мотора для создания волны. Особый интерес представляют принципы волнового движения в разных средах. Поскольку конечной целью является создание роботов, которые смогут выполнять некоторые полезные действия внутри человеческого организма, к примеру, внутри пищеварительного тракта.

Библиографический список

1. Alexander, R., M. (2003). "Principles of Animal Locomotion." Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 88.
2. D. Zarrouk, I. Sharf, and M. Shoham, "Conditions for worm-robot locomotion in a flexible environment: theory and experiments," *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, vol. 59, no. 4, pp. 1057-1067, 2012.
3. I. Kassim, L. Phee, W. S. Ng, G. Feng, P. Dario and C.A. Mosse, "Locomotion techniques for robotic colonoscopy," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 25, no. 3, pp. 49-56, 2006

*А.А. Бритова, студ.; И.С. Смирнов студ.;
рук. М.А. Ноздрин к.т.н., доц.; М.А. Шилов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕРМОУПРУГИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЗАЖАТОЙ ПЛАСТИНЕ

Рассматривается прямоугольная алюминиевая пластина толщиной 10 мм и длиной 50 мм, зажатая с торцов (рис.1). Пластина неравномерно нагрета по толщине. $T = T_0 \left(1 - \left(\frac{y}{2} \right)^2 \right)$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$.

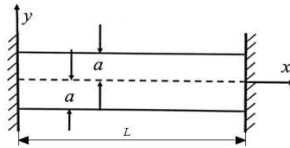


Рис.1. Модель расчетной пластины

На рис.2 (а) представлены графики зависимости температуры от координаты y , полученные аналитически и численно. Результаты вычислений напряжений представлены на рис.2 (б).

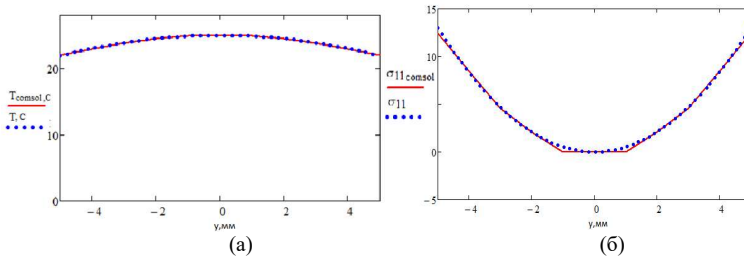


Рис.2. Результаты расчета аналитическим и конечно-элементным методом: функции температуры (а), функции нормальных напряжений (б)

Функции распределения температуры и напряжений параболические. Значения напряжений в обоих способах решения близки. Максимальные напряжения возникают на свободных краях пластины и при аналитическом расчете равны 13,3МПа. Напряжения, полученные численно, составляют 12,9МПа. На средней линии при $y = 0$ напряжения отсутствуют.

Библиографический список

1. Коваленко А.Д. Введение в термоупругость. – Акад. наук УССР. Ин-т механики. – Киев: Наукова думка, 1965. – 204 с.
2. М.А. Ноздрин, Н.А. Щербакова «Некоторые прикладные задачи механики сплошной среды», Иваново, ИГЭУ – 2009.

*А. Р. Зволинская, студент; рук. Л. Н. Крайнова, к.т.н., декан.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБТЕКАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Исследование относится к области авиационной техники. Головной обтекатель – передняя часть летательного аппарата, которая имеет форму, обеспечивающую наименьшее аэродинамическое сопротивление. В качестве аналогов, наиболее близких к исследованию, можно выделить головные обтекатели, перемещающиеся в плотных слоях атмосферы, которые выполняются в виде оболочки в форме конуса, или параболоида, или их комбинации с плавным переходом в цилиндрическую форму. Форма обтекателя определяется расчетно-экспериментальным методом для каждого конкретного случая и обеспечивает компромиссное решение проблем уменьшения лобового сопротивления летательного аппарата и плотности теплового потока в области точки торможения.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния усовершенствованного несимметричного обтекателя летательного аппарата.

Исследования напряженно-деформированного состояния обтекателя проводились для двух режимов полета: режима «Старт» и режима «Марш». В результате численных расчетов в программном комплексе проведено сравнение напряженно-деформированного состояния обтекателя, выполненного из различных жаропрочных материалов, способных выдерживать нагрев до 800°С.

Предложен и смоделирован подкрепляющий набор в виде образных рам, обеспечивающих наибольший запас прочности. Проведено исследование явления потери устойчивости несимметричного обтекателя с подкрепляющим набором, так как характерной особенностью поведения тонких оболочек под действием нагрузки является их склонность к большим перемещениям и связанная с этим многозначность равновесных форм.

Библиографический список

1. **Лизин В.Т., Пяткин В.А.** Проектирование тонкостенных конструкций: Учеб. пособие для студентов вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1994. – 384 с.:ил.
2. **Киселев С.П.** Физические основы аэродинамики ракет. М.: Воениздат, 1976. – 112с.

*В.М. Старостина студ.; В.А. Зуев студ.;
рук. М.А. Ноздрин к.т.н., доц.; М.А. Шилов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОМ ШАРЕ

Цель работы – расчет термоупругих напряжений в полом шаре аналитическим и конечно-элементным методами.

В работе объектами исследования являются два упругих шара с полостью радиуса a , температура внутри полости равна $T_0 = 55^\circ\text{C}$ и $T_0 = 45^\circ\text{C}$ а снаружи температура равна нулю. Внешняя поверхность шара и поверхность внутренней полости свободны от напряжений. Материал из которого изготовлен шар – медь и алюминий. Внешний радиус шара $R = 60$ мм и $R = 70$ мм, внутренней радиус шара $r = 30$ мм и $r = 50$ мм.

Составлена конечно-элементная модель термоупругого шара в программном комплексе Comsol. Построены графики распределения температуры и напряжения двумя способами - аналитическим и конечно-элементным. Результаты вычислений напряжений, полученные разными способами, представлены на рис. 1.

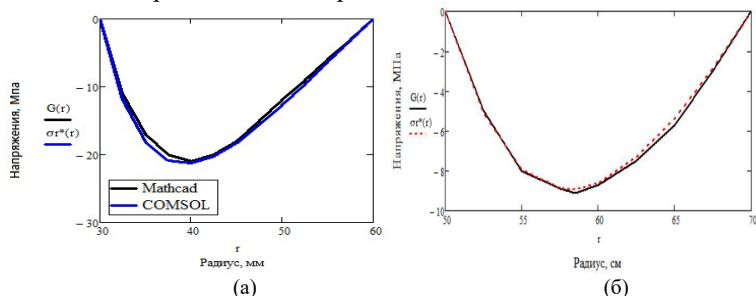


Рис.1. Графики напряжений, построенные в Mathcad и COMSOL Multiphysics для первого случая расчета полого шара(а) и для второго(б).

Графики напряжений несколько различаются, поскольку при решении данной задачи в программном комплексе COMSOL Multiphysics участвует большее количество постоянных, нежели учтено в уравнении Ламе. Потому решение задачи конечно-элементным способом является более точным.

Библиографический список

1. Коваленко А.Д. Введение в термоупругость. – Акад. наук УССР. Ин-т механики. – Киев : Наукова думка, 1965. – 204 с.
2. Гнездилов В. А., Фирсанов В. В., Лурье С. А. , Дудченко А. А. Основы термоупругости композиционных материалов. Учебное пособие для студентов вузов. М., Беловодье, 2015-406 с.

*А.С. Шмелев, студ.; К.И. Филиппов, студ.;
рук. М.А. Ноздрин, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБЕ

Основная задача работы – расчет аналитическим и конечно-элементным методами термоупругих напряжений в трубе.

Теория термоупругости используется при решении задач, возникающих при разработке новых конструкций паровых и газовых турбин, реактивных и ракетных двигателей, высокоскоростных самолетов, ядерных реакторов и др.

В работе объектом исследования является длинная круглая труба с внутренним радиусом a внешним b , а температура внутри равна $T_0 = 40^\circ$, на внешней поверхности $T(b) = 0^\circ$. Внешняя и внутренняя поверхности трубы свободны от напряжений. Материал, из которого изготовлена труба – алюминий. Внешний радиус трубы $b = 50$ мм, внутренней радиус трубы $a = 44$ мм.

Неравномерное тепловое расширение не может происходить свободно в сплошном теле и вызывает тепловые (термические, температурные) напряжения. Знание величины и характера действия тепловых напряжений необходимо для всестороннего анализа прочности конструкции. Тепловые напряжения сами по себе и в сочетании с механическими напряжениями от внешних сил могут вызвать появление трещин и разрушение конструкций из материалов с повышенной хрупкостью. В результате действия тепловых напряжений может возникнуть существенная пластическая деформация, ведущая к полному или прогрессирующему разрушению конструкции, произойти термовыпучивание тонкостенных конструкций и т. п.

В ходе работы выполнен расчет температурного поля и напряженно-го состояния трубы с использованием теории термоупругости. Проведено сравнение с результатами вычисления в конечно-элементном программном комплексе Comsol. Наблюдается совпадение полученных функций распределения температур и напряжений. Разница в решениях для радиальных напряжений не превышает 1.95%.

Библиографический список

1. Коваленко А.Д. Введение в термоупругость. – Акад. наук УССР. Ин-т механики. – Киев : Наукова думка, 1965. – 204 с.
2. Гнездилов В. А., Фирсанов В. В., Лурье С. А. , Дудченко А. А. Основы термоупругости композиционных материалов. Учебное пособие для студентов вузов. М., Беловодье, 2015-406 с.

*А. Ю. Дмитриук, студ.; рук. Л.Б.Маслов, д.ф.-м.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЧНОСТНОГО И ВИБРАЦИОННОГО АНАЛИЗА ЛОПАТКИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

АО «РЭП Холдинг» — ведущий российский энергомашиностроительный холдинг, разработчик, изготовитель, поставщик энергетического оборудования нового поколения. Одним из основных продуктов, выпускаемой Холдингом являются центробежные и осевые компрессоры.

Рабочие лопатки осевых компрессоров – одни из наиболее ответственных деталей, от конструктивного совершенства и долговечности которых зависит надежность и ресурс компрессора в целом. Потому расчет на прочность является одним из основополагающих расчетов. Он выполняется с учетом воздействия только статических нагрузок. К ним относятся центробежные силы масс лопаток, которые появляются при вращении ротора, и газовые силы, возникающие при обтекании газом профиля пера лопатки, и в связи с наличием разности давлений газа перед и за лопаткой. В таблице 1 приведены исходные данные рабочей лопатки первой ступени.

Таблица 1. Исходные данные

Объект изучения	Ед. измер.	Рабочая лопатка 1 ступени осевого компрессора ОК-2100
Тип заводки		тангенциальная
Мин. рабочая скорость вращения компрессора	об/мин	3900
Номинальная рабочая скорость вращения	об/мин	5060
Мощность компрессора	Вт	8051
Мах. рабочая скорость вращения	об/мин	5313
Общее количество ступеней	шт.	15
Температура	°С	40,15
Количество рабочих лопаток в ступени		28
Материал лопаток		20Х13-Ш, ГОСТ 18968-73
Предел текучести материала $\sigma_{0,2}$	МПа	490
Плотность материала	кг/м ³	7670
Радиус корневого сечения	м	0,245
Радиус периферийного сечения	м	0,427

Кроме этого, должна быть определена частота собственных колебаний лопатки. Был проведен модальный анализ и выявлены частоты, при которых удастся избежать явления резонанса.

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что лопатка удовлетворяет условию прочности.

Библиографический список

4. Александров А. В. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. – М.: Высш. шк., 2001. – 560 с.
5. Жирицкий Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Жирицкий Г.С., Стрункин В.А. – изд. 3, перераб. и допол. – М.: Машиностроение, 1968 г. – 523 с.
6. Нормы статической и динамической прочности лопаток осевых компрессоров, газовых и паровых турбин: ДО-6289-86

*М.Д. Кузьмичева, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЙ И ВИБРАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛОПАТКИ ЧЕТВЕРТОЙ СТУПЕНИ КОМПРЕССОРА ОК2100

Осевой компрессор - устройство по перемещению и повышению полного давления газа за счет взаимодействия последнего с лопатками ротора и статора, имеющих аэродинамический профиль. Предназначение компрессора - перекачка и увеличение давления газа. Рабочие лопатки осевых компрессоров - одни из наиболее ответственных деталей, которые должны обладать высокой прочностью и низким уровнем вибрации. По этой причине были проведены прочностной и вибрационный анализ лопатки четвертой ступени осевого компрессора ОК2100.

Прочностной анализ лопатки подразумевает сравнение аналитического и численного решения. Аналитическое решение производилось по стержневой методике. Учитывалось влияние на перо лопатки центробежных сил, вызывающих напряжения растяжения, и сил газовых, вызывающих напряжения изгиба. В хвостовике лопатки рассчитывались напряжения смятия и среза. Численный расчет проходил в программном комплексе ANSYS Workbench. По результатам можно сделать вывод, что лопатка удовлетворяет условию прочности, полученные минимальные коэффициенты запаса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты запаса.

Вид деформации	Минимальный коэффициент запаса
Растяжение от ЦБС и изгиб от газовых сил на входной кромке корневого сечения пера лопатки	4,24
Растяжение от ЦБС и изгиб от газовых сил на выходной кромке корневого сечения пера лопатки	4,16
Смятие в хвостовике лопатки	6,2
Срез в хвостовике лопатки	5,93

Компрессорные лопатки отличаются тонкими профилями, малой жесткостью, и колебания представляют для них основную опасность. Для проведения вибрационного анализа было необходимо определить частоты возмущающих гармоник на резонансных режимах и построить Кэмп-

белл диаграмму, которая в свою очередь представляет собой зависимость собственных частот от скорости вращения ротора. По диаграмме, в диапазоне рабочих частот, выявлены области резонансных частот. В процессе раскрутки ротора необходимо обеспечить условия быстрого прохождения этих зон.

Библиографический список

1. Александров А. В. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. - М.: Высш. шк., 2001. - 560 с.
2. Жирицкий Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Жирицкий Г. С., Струнkin В. А. - изд 3, перераб. и допол. - М.: Машиностроение, 1968 г. - 523 с.
3. Компрессоры осевые стационарные. Расчет на прочность хвостовых соединений рабочих лопаток осевых компрессоров: РТМ 108.022.103-77.

*А.О. Чекрыгина, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЛОПАТКИ ДЕСЯТОЙ СТУПЕНИ КОМПРЕССОРА ОК2100

Главной целью работы является прочностной и вибрационный анализ лопатки десятой ступени осевого компрессора ОК – 2100. Осевого компрессор - устройство по перемещению и повышению полного давления газа за счет взаимодействия последнего с лопатками ротора и статора, имеющих аэродинамический профиль. Предназначение компрессора - перекачка и увеличение давления газа. Рабочие лопатки осевых компрессоров - одни из наиболее ответственных деталей, которые должны обладать высокой прочностью и низким уровнем вибрации.

Прочностной анализ лопатки подразумевает сравнение аналитического и численного решения. Аналитическое решение производилось по стержневой методике. Учитывалось влияние на перо лопатки центробежных сил, вызывающих напряжения растяжения, и сил газовых, вызывающих напряжения изгиба. В хвостовике лопатки рассчитывались напряжения смятия и среза. Численный расчет проходил в программном комплексе ANSYS Workbench. По результатам можно сделать вывод, что лопатка удовлетворяет условию прочности, полученные напряжения были сравнены с допускаемыми (таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты запаса.

Полученные напряжения, МПа		Допускаемые напряжения, МПа	
На входной кромке	95,32	При изгибе	196
На выходной кромке	96,14		
Смятия	55,69	При смятии	392
Среза	35	При срезе	127,83

Компрессорные лопатки отличаются тонкими профилями, малой жесткостью, и колебания представляют для них основную опасность. Далее проводился модальный анализ лопатки, для которого сначала решается задача статического анализа для учета напряженного состояния лопатки при выполнении модального анализа. Проводится анализ возбудимости форм колебаний рабочих лопаток заданной ступени.

По результатам модального расчета была построена Кэмпбелл диаграмма, которая отражает зависимость собственных частот колебаний рабочей лопатки и частот возбуждающих гармоник от частоты вращения ротора. Это позволяет находить режимы работы компрессора, на которых происходят резонансные колебания. По диаграмме в диапазоне рабочих частот выявлены области резонансных частот. В процессе раскрутки ротора необходимо обеспечить условия быстрого прохождения этих зон.

Библиографический список

1. Жирицкий Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Жирицкий Г. С., Стрункин В. А. - изд 3, перераб. и допол. - М.: Машиностроение, 1968 г. - 523 с.
2. Нормы статической и динамической прочности лопаток осевых компрессоров, газовых и паровых турбин: ДО - 6289-86.
3. Компрессоры осевые стационарные. Расчет на прочность хвостовых соединений рабочих лопаток осевых компрессоров: РТМ 108.022.103-77.

*А.Д. Аксенов, студ.; рук. Т.В.Шмелева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МОНУМЕНТА РЕКЛАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТА ТУ-144

ТУ-144 - легендарный советский сверхзвуковой пассажирский самолёт. Администрация города Жуковский решила поставить монумент этому самолету. Необходимо было рассчитать на прочность стойки данного монумента, учитывая влияния внешних нагрузок (снеговые, ветровые и тепловые), а также собственную массу самолета.

Прочностной анализ стойки монумента подразумевает сравнение аналитического и численного решения. Аналитическое решение производилось по стержневой методике. Учитывалось влияние на стойку внешних нагрузок, вызывающих напряжения растяжения и изгиба. Численный расчет проходил в программном комплексе PATRAN/NASTRAN. Были рассмотрены пять критических случаев ветровой нагрузки (табл.1). По результатам можно сделать вывод, что стойка удовлетворяет условию прочности во всех пяти критических случаях.

Таблица 1. Коэффициенты запаса.

Основная опора					
Расчётный случай	1	2	3	4	5
η	2.21	1.55	2.37	1.49	1.83

Библиографический список

1. «Расчет на прочность деталей машин» И.А. Биргег. -М: - Машиностроение, 1993.
2. «Проектирование тонкостенных конструкций» В.Т. Лизин, В.А. Пяткин -М: - Машиностроение, 1994.

*А.М. Полякова, студ.; рук. Т.В. Шмелева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗОК НА ПРОЧНОСТЬ
РЕКЛАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Детальный расчет статической прочности монумента рекламной конструкции самолета ТУ-144 подразумевает сравнение аналитического и численного решения. Аналитическое решение производилось по стержневой методике. Учитывалось влияние на опоры ветровых, снеговых, тепловых и суммарных нагрузок, а также нагрузки от собственного веса самолета. Численный расчет проходил в программном комплексе MSC Patran/NASTRAN. По результатам можно сделать вывод, что стойка удовлетворяет условию прочности, полученные минимальные коэффициенты запаса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты запаса.

Расчетный случай	Коэффициент запаса прочности
Ветровые нагрузки	3,5
Нагрузка от собственного веса самолета	2,15
Снеговая нагрузка	2,9
Тепловые нагрузки	2,9
Суммарные нагрузки	1,4

Моделирование стойки производилось в программном комплексе САТИА. Для предоставления области решения используется расчетная сетка. Средства твердотельного моделирования включают в себя представление геометрии конструкции, основанное на использовании сплайновой технологии, геометрических примитивов и операций булевой алгебры.

Библиографический список

1. «Расчет на прочность деталей машин» И.А. Биргег. -М: - Машиностроение, 1993.
2. Спецификация ТУ.01.4200.000.000 «Опора передняя», ООО «НИК».

Ю.Д. Спасёнков, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЗЕРВУАРА С ГЕЛИЕМ

Для того, чтобы уменьшить энергозатраты ускорителя и повысить его эффективность, используют магнитные системы с сверхпроводящими материалами. При высоких магнитных полях температурный запас обмотки магнита (разность между критической температурой сверхпроводника и температурой жидкого гелия) составляет незначительную величину. В связи с этим возникает необходимость в создании эффективных криогенных систем для теплоотвода. Для решения этой задачи в подобных системах используется жидкий гелий для охлаждения сверхпроводящих устройств и экранно-вакуумная изоляция. На производственной территории необходимы резервуары для хранения гелия в газообразном состоянии.

Резервуар представляет собой емкость, изготовленную из нержавеющей стали 12X18Н10Т, узлы которой соединены сваркой. Прочностной анализ включает сравнение аналитического и численного решения. Была выполнена оценка прочности резервуара под внутренним давлением и найдены напряжения в кольцевом сечении (рис.1) и напряжения в диаметрально сечении (рис.2).

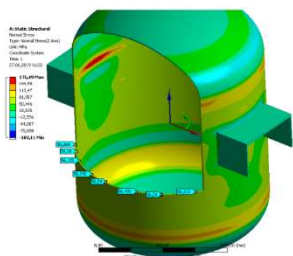


Рис. 1 Эпюра напряжений в кольцевом сечении

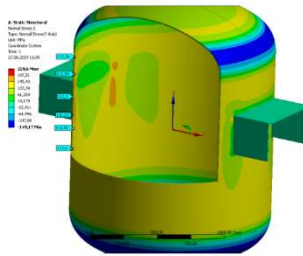


Рис. 2 Эпюра напряжений в диаметрально сечении

Проведенный анализ показал, что напряжения, возникающие при эксплуатации сосуда, значительно ниже предела текучести (235 МПа при температуре 20°С). Расхождение между аналитическим и численным расчетами менее 1%. Конструкция выдерживает заданные нагрузки с коэффициентом запаса прочности 2.1.

Библиографический список

1. Сайт ИФВЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ihep.su>
2. Сверхпроводящие магниты в ускорителях / Л.С. Ширшов– Препринт ИФВЭ 97-86. – Протвино, 1997. – 19 с.
3. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / В.И. Федосьев – 10-е изд., перераб. И доп. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. –592с.(Сер. Механика в техническом университете; Т.2).

*А.В. Чернов, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ШПИЛЬКИ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО МАГНИТА

Шпилька для подвешивания сверхпроводящего магнита является частью магнитной системы квадрупольного магнита для УНК и представляет собой однородный стержень, изготовленный из титанового сплава ВТ-5. Шпилька находится внутри вакуумного кожуха. С одной стороны она жёстко прикреплена к вакуумному кожуху, с другой к ней крепится сверхпроводящий магнит. При работе сверхпроводящий магнит охлаждается жидким гелием. При охлаждении магнита до рабочей температуры в шпильке возникает поле температуры с тремя характерными точками: 300 К (точка крепления к вакуумному кожуху), 80 К (точка крепления к теплому экрану), 4 К (точка крепления к гелиевому сосуду). Таким образом, шпилька должна выдерживать нагрузку от магнита, а при эксплуатации добавляется тепловая нагрузка.

В ANSYS Mechanical создана конечно-элементная модель, выполнена оценка прочности шпильки и найдена её деформация при условиях эксплуатации (рис.1; 2).

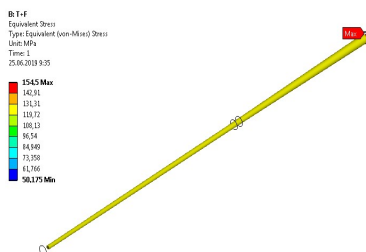


Рис.1. Распределение напряжений вакуумного кожуха, МПа

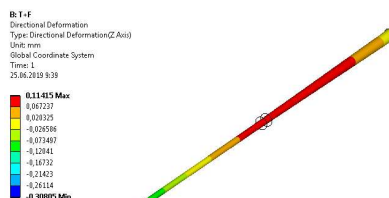


Рис.2. Деформации шпильки, мм

Величина максимальных напряжений в конструкции равна 154 МПа. Конструкция выдерживает заданные нагрузки с коэффициентом запаса прочности 6,1.

Библиографический список

1. Сверхпроводящие магниты в ускорителях / Л.С. Шишов – Препринт ИФВЭ 97-86. – Протвино, 1997. – 19 с.
2. Теплофизические свойства материалов при низких температурах: справочник / Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. — М.: Машиностроение, 1975. — 216 с.

*А.А. Лазарев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В БОЛТОВОМ СОЕДИНЕНИИ

Цель работы состояла в определении максимального значения нагрузки P , приложенной к нижней поверхности нижней плиты, при которой не возникает зазора между плитами при условии, что болт затянут с усилием предварительного натяжения 10 кН.

Необходимо произвести расчет с помощью программного обеспечения “Ansys” и аналитического метода.

Для компьютерного расчета в “Ansys” была создана модель болтового соединения с заменой резьбы на цилиндрическую поверхность, диаметр которой равен диаметру наружной резьбы по дну впадины. После создания конечно-элементной сетки была задана сила натяжения болта и нагрузка на нижнюю плиту. Многошаговый расчет показал напряжения и максимальное значение нагрузки P .

В ходе аналитического расчета были получены такие показатели, как момент на ключе для обеспечения усилия затяжки болта, напряжение (растяжения, кручения, среза резьбы) болта.

Для сравнения были выбраны такие показатели, как напряжение в цилиндрической части болта и резьбовой. Результаты, полученные с помощью “Ansys”, имеют погрешность менее 5% относительно аналитического расчета.

Библиографический список

- 1 Сайт ИФВЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ihep.su>
- 2 Программный комплекс Ansys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com>
- 3 Расчеты на прочность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://прочность.рф>

*А.В. Чернов, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИИ ГРУППОВОЙ УПАКОВКИ ПРОДУКТА В ТРАНСПОРТНЫЙ КОРОБ

В рамках творческого конкурса Всероссийской студенческой олимпиады по прикладной механике (ВСОПМ) 2019 года в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики на базе кафедры Мехатроники была поставлена задача – проработать конструкцию основных узлов автоматизированной линии упаковки, таких как:

- а) формирование блока продукта;
- б) укладка продукта в короба;

в) механизм фиксации клапанов (заклейка короба).

Для данной задачи разработана общая схема автоматизированной линии упаковки глазированных сырков (рис.1).

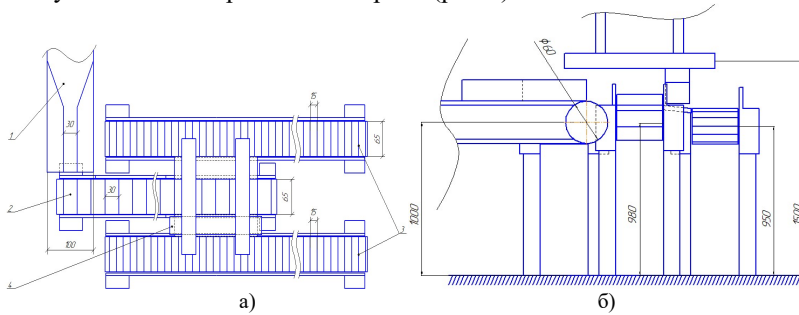


Рис.1. Общая схема транспортной системы: а-вид сверху, б-вид слева.
1-Ленточный конвейер; 2-пластинчатый конвейер; 3-пластинчатые конвейеры;
4-толкатель изделий в транспортируемый короб.

В качестве прочностного расчёта было предложено рассчитать один из элементов пластинчатого конвейера 2 и 3, а именно – пластину (звено ходовой части конвейера).

Были поставлены задачи:

1. произвести расчёт пластины на изгиб аналитическим и численным способами (рис.2);
2. определить оптимальную толщину пластины;
3. выбрать материал пластины, исходя из физических свойств и экономических соображений.

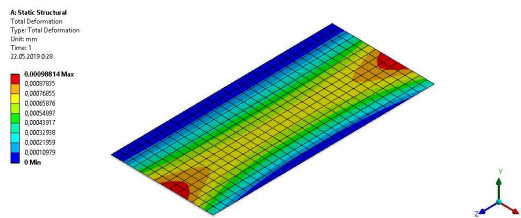


Рис.2. Эпюра прогиба пластины полученная при решении задачи в ANSYS.

Максимальное перемещение при численном расчёте – $98,814 \cdot 10^{-5}$ мм. Проведена оптимизация расчетной модели.

Библиографический список

1. ГОСТ 20-85. Ленты конвейерные резиноканевые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 20-76; Введ. 01.01.87 – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 34 с.
2. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учебное пособие для студентов вузов. – 2 изд., перераб. – М. : Высш. школа, 1982. – 264 с.

*Е.О. Земеров студ.; рук. Т. В. Шмелева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОГРУЗЧИКА

В процессе практики в ООО"Профессионал" проведено ознакомление с программным обеспечением и методами исполнения, используемыми в конструкторском отделе; освоение офисных программ Excel, Word; получение навыков чтения сборочных чертежей; получение базовых навыков работы с программами Компас 3D и Autodesk Inventor Nastran.

Выполнен прочностной расчет погрузочных вилок, определение геометрических характеристик погрузочных вилок из сборочного чертежа. Проведено проектирование модели погрузочных вилок в программном комплексе Компас 3D, статический анализ модели погрузочных вилок по МКЭ в программном комплексе Autodesk Inventor Nastran (рис.1).

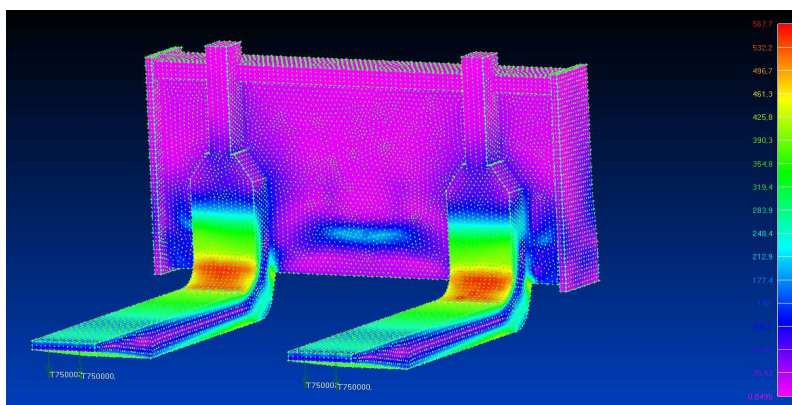


Рис. 1 Модель в напряженном состоянии

Определена максимальная нагрузка, действующая на рабочую поверхность погрузочных вилок, оценка возникающих напряжений в модели. Проведен кинематический анализ рычажного механизма бревнозахвата, определение геометрических характеристик бревнозахвата из сборочного чертежа, определено максимальное усилие на конце челюсти бревнозахвата.

*К.И. Филиппов, студ.; рук. М. А. Шилов, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В УСЛОВИЯХ РОСТА ТРЕЩИНЫ ПРИ ДОКРИТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Одним из современных подходов к построению моделей деформирования материала и критериев его разрушения является подход, который основан на анализе баланса энергии в материале в процессе его деформирования. Экспериментальное определение параметров напряженно-деформированного состояния деталей при докритических нагрузках процесс сложный. Он связан с трудностями в разработке диагностического оборудования, с необходимостью для исследования вывода рабочей детали из сборки и т.д. Однако, оценить ресурс детали при наличии в ней трещины по напряженно-деформированному состоянию (НДС) представляется возможным при использовании конечно-элементного (КЭ) моделирования. В настоящее время существует много программных комплексов, в которых такие расчеты можно провести. Одним из таких является программный продукт компании Simulia Abaqus. В нем можно выполнять статические и динамические расчеты. В работе использована студенческая версия программы Abaqus.

Целью работы стало создание конечно-элементной модели, позволяющей оценить параметры напряженно-деформированного состояния при докритических нагрузках. Для достижения поставленной цели решался ряд задач:

1. Создание конечно-элементной модели образца с трещиной;
2. Определение энергетического критерия разрушения для стали;
3. Проведение сравнительного анализа полученной модели и результатов эксперимента.

Постановка задачи. Пусть имеется стальной образец, выполненный по ГОСТ.

Модуль упругости $E = 2,1$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$, плотность стали $\rho = 7800$ кг/м³.

В механике разрушения одной из основных задач является определение коэффициента интенсивности напряжений. В нашем случае он определялся двумя способами – экспериментальным путем и с помощью моделирования.

Расчет в программном комплексе Abaqus проводили методом перемещений. Его результаты представлены на рис. 1.

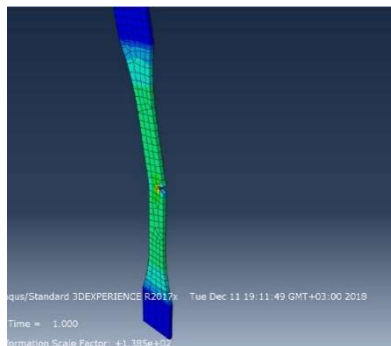


Рис. 1. Одноосное растяжение образца с боковыми трещинами

Сравнительный анализ результатов моделирования и экспериментальных данных показал, что разница численных значений составляет всего 7,5 %. Поэтому использование КЭ моделирования для оценки остаточного ресурса поврежденных деталей является возможным.

Библиографический список

1. Морозов Е.Н., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. – М.: Ленанд, 2010. – 456 с.

*П.В. Королёв, студент.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ СРЕДСТВАМИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработан алгоритм решения связанной термоупругой задачи циклического сжатия резинового цилиндра методом конечных элементов с использованием программного комплекса Abaqus Simulia. Приведены результаты численного эксперимента. Выполнен анализ полученных результатов, сделан вывод о необходимости учета диссипации энергии при исследовании материалов, работающих в условиях циклического нагружения.

Термоупругость учитывает связанность процессов упругого деформирования и теплопроводности [1]. Связанность полей оказывает существенное влияние на распределение деформаций и температуры при нестационарных процессах и импульсных нагружениях, особенно при резонансе [2]. В этой связи особый интерес представляют динамические задачи связанной термоупругости. При учёте связанности деформаций и температуры среда становится диссипативной, что, в частности, изменяет

характер волновых процессов: в термоупругой среде волны затухают и обладают дисперсией. Все эти особенности отражаются и на специфике численных моделей (например дифференциальные уравнения термоупругого движения оказываются несамосопряженными) [3]. За основу для разработки схемы численного эксперимента возьмем циклическое испытание на одноосное сжатие резинового цилиндра.

Анализ результатов показал, что в результате диссипации энергии при динамическом нагружении цилиндра, даже при малом количестве циклов, рост температуры внутри материала составил 1 градус, что позволяет говорить о значительном влиянии рассеивания энергии на свойства материала при больших значениях циклов нагружения.

Библиографический список

1. Боли, Б. Теория температурных напряжений / Б.Боли, Дж.Уэйнер // М.: Мир. - 1964. - 520 с.
2. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел / Г.Карслоу., Д.Егер // М.: Наука. - 1964. - 488 с.
3. Новацкий, В. Теория упругости / В.Новацкий // М.: Мир. - 1975. - 872 с.

*А. А. Губина, студ; рук. М. А. Шилов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛАСТОМЕРА И АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Существует много работ, описывающих контактные взаимодействия эластомеров (в производстве автомобильных шин). Традиционно используют упрощения и допущения для учета эффектов шероховатости поверхности (геометрические неровности, корреляции с параметрами поверхности, вероятностные и фрактальные неровности). Такие методы применяются как к аналитическим, так и к численным моделям, а иногда используются вместе.

Оценить напряжения, возникающие в области контакта шероховатых поверхностей, помогает конечно-элементная модель, рассчитанная в ABAQUS.

Рассматривается задача о контактном взаимодействии двух тел: шероховатого эластомерного образца (чья поверхность задавалась в форме $\sin$ -функции с варьированием амплитуды от 3 до 5 мкм) и абсолютно жесткой аналитической поверхности.

Выбрана модель Марлоу для определения свойств изотропного материала, коэффициент Пуассона $\nu = 0,495$. Нагружение: статическое. Шаг интегрирования: 0,001. Контактное взаимодействие: «поверхность-поверхность». Граничные условия: у эластомера отсутствует вращение и

перемещение относительно всех осей, поверхность перемещается вертикально вниз на 0,03 мм.

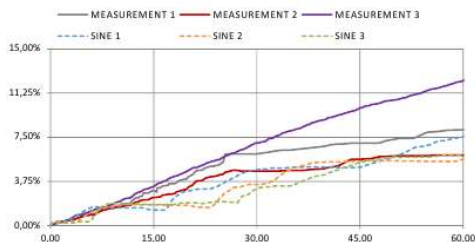


Рис.1 Зависимость отношения площади контакта к фактической площади от нормальной нагрузки.

Контактное взаимодействие моделировалось в соответствии с моделью Гринвуда и Уильямсона [1], согласно которой шероховатые поверхности принимаются состоящими из сферических неровностей постоянного радиуса, равного среднему радиусу кривизны исходных поверхностей.

Результаты моделирования контактного взаимодействия аналитической плоскости и шероховатого эластомера показали, что при нормальной нагрузке 60 Н напряжения достигают 7,4 МПа, площадь фактического контакта 0,377 мм². На рис. 1 видна зависимость отношения площади контакта к фактической площади от нагрузки.

Проведенное моделирование показало возможность использования периодической функции в моделировании шероховатой поверхности. С увеличением амплитуды периодической функции и нормальной силы **возрастает** отличие между площадью контакта и фактической площадью почти на 7 %.

Библиографический список

1. Мохель, А. Н. Контактное взаимодействие упругих тел при наличии двух резко различных по протяженности масштабов шероховатости их границ [Текст] / А. Н. Мохель, Р. Л. Салганик, А. А. Федотов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2008. – Т. 1. – № 4. – С. 61 – 68.

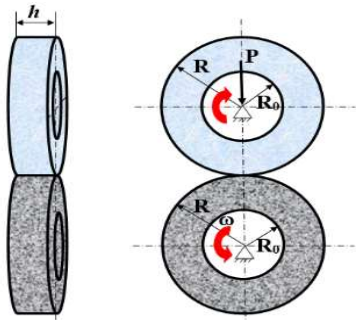
*А.А. Бритова, студ.; рук. М. А. Шилов, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗНОСА ЭЛАСТОМЕРОВ

Целью работы является анализ трибологических характеристик эластомерных материалов и установление возможности их модификации за счет введения углеродных наночастиц.

Исследование включало в себя: анализ проблем износа эластомерных материалов, разработку конечно-элементной модели пары тре-

ния, экспериментальное определение основных факторов, влияющих на износ, и сравнительный анализ результатов моделирования и эксперимента.



В результате получена конечно-элементная модель контактного взаимодействия пары трения. Проведенное моделирование дает возможность получения детальной информации о контактном взаимодействии материалов.

Проведенные эксперименты показали, что использование наночастиц в структуре эластомеров позволяет снизить износ эластомера при дан-

ных внешних факторах влияния.

Сравнительный анализ результатов моделирования и данных эксперимента показал, что модель может использоваться при оценке износа.

Библиографический список

1. Горячева И.Г., Маховская Ю.Ю., Морозов А.В., Степанов Ф.И. Трение эластомеров. Моделирование и эксперимент. – М.– Ижевск: Ин-ститут компьютерных исследований, 2017. – 204 с.
2. Мур Д. Трение и смазка эластомеров. – М.: Химия, 1977. – 262 с.
3. Shilov M.A., Korolev P.V., Fomin S.V., Maslov L.B. Study of pneumatic-tire nanostructured elastomers rolling wear / Liquid crystals and their application. 2019. Vol. 19 (2). pp. 72-76.

*П.В. Лебедев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ

Задачей работы является создание композитной модели наиболее важного элемента стремennого оборудования – налiчника универсально-го конского седла.

В работе кратко изложена технология изготовления композитных деталей и конструкций, а также рассмотрены технологические приемы их изготовления[1].

В налiчнике универсального конского седла выявлен дефект, появившийся в ходе его эксплуатации. Так как налiчник сделан из дерева, а эксплуатация седла подразумевает его использование при постоянной смене влажности и температуры, то в деревянной конструкции происхо-

дит преждевременное разрушение. Это говорит об актуальности задачи изготовления детали из более выносливого композитного материала.

Создание 3D модели осуществляется в программной среде КОМПАС 17V. По полученным входным данным и размерам создана тонкостенная модель наличника универсального седла(рис.1).

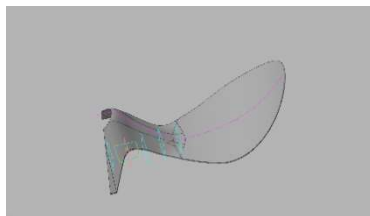


Рис.1. 3D модель наличника седла.

После выполнения этих этапов переходят в блок АСРPre, где создается композитная структура материала EpoxyCarbon. Задается материал слоя, количество слоев в пластине, направление в слоях и их очередность, а также сминание в слоях, если это подразумевается вариантом модели.

Библиографический список

- 1.Ставров, В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учеб. пособие / В. П. Ставров. - Минск: БГТУ, 2006.

*А.Д. Аксенов, студ; рук. М.А. Ноздрин, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНЫ

В работе ставится задача по разработке и исследованию экспериментального стенда поперечных колебаний пластины. Цель работы заключается в создании экспериментальной установки и ее последующее внедрение в учебный процесс по разделу: «Динамика стержней, пластин и оболочек».

Собрана экспериментальная установка, состоящая из звукового генератора, усилителя, пластины и электродинамического вибратора и измерены ее собственные частоты.

Численные расчеты производятся в программном комплексе «Ansys» путем построения первоначальной геометрии пластины и моделированием ее свободных колебаний в пространстве для нахождения форм собственных частот с учетом граничных условий. Найдены первые четыре

формы колебаний пластины для сравнения с аналитическим решением и экспериментом. Проведен сравнительный анализ методов по графику сходимости.

Из графика сходимости результатов следует вывод о неточности измерительного эксперимента. Следует либо доработать сам стенд, либо использовать другой метод измерения собственных форм колебаний пластины.

Дальнейшее развитие работы предполагает доведение стенда до внедрения в учебный процесс, в том числе при вариации граничных условий. Необходимо учесть повешенную массу вибратора и, главное, стержневую систему монтажа пластины.

Библиографический список

1. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
2. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. Киев, Будивельник, 1973. – 488с.

*Д.А. Бакаев, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ОТСЕКА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРОУДАРА

Отсек летательного аппарата состоит из следующих элементов:

- внешней оболочки, подкрепленной четырьмя рамами и восьмью продольными элементами;
- промежуточной оболочки, состоящей из двух стальных рам с прикрепленной к ним обшивкой;
- внутренней стальной оболочки с одним опорным поясом и круговым кольцом.

В работе рассматривается два расчетных случая.

1) Виброудар приложен к одному из торцов свободного от опор отсека (продольный виброудар).

При решении задачи необходимо определить собственные частоты отсека в продольном направлении в диапазоне частот до 2000 Гц, приложить к торцу отсека виброудар и определить значения виброударных ускорений в центральном сечении внутренней оболочки и на узлах крепления оболочек, а также механические напряжения в крепежных кронштейнах промежуточной оболочки.

2) Виброудар приложен в поперечном направлении к средним рамам отсека.

При решении задачи необходимо определить собственные частоты отсека в поперечном направлении в диапазоне частот до 200 Гц, найти значения виброударных ускорений и механических напряжений в центральном сечении внутренней оболочки.

Виброударное ускорение имеет вид переходного процесса сложного частотного состава. Виброудар можно описать следующими параметрами: максимальное значение ускорения $A_{\text{макс}}$; длительность действия виброудара t_d ; время нарастания ускорения до максимума t_n ; распределение суммарной энергии виброудара по частотным поддиапазонам $\Sigma = \frac{A_{\text{макс}}^2}{25}$.

Библиографический список

1. Рахматулин Х.А., Шемякин Е.И., Демьянов Ю.А., Звягин А.В. Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках./ Уч. пособие.- М., Университетская книга: Логос, 2008 – 624 с.
2. Проскурин А.В., Шлишевский А.В. Определение ускорений объекта испытаний закрепленного на брус, при воздействии ударных нагрузок./ вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение 2018, №5, с.83 - 91.

*А.М. Полякова, студ; рук. М.А. Ноздрин, доц., к.т.н.,
М.А. Шилов, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В работе ставится задача по разработке и проведению лабораторной работы по исследованию напряженного состояния образца поляризационно-оптическим методом. Цель работы заключается в создании экспериментальной установки и ее последующем внедрении в учебный процесс. Разработана экспериментальная установка, которая представлена на рис. 1.



Рис. 1. Лабораторная установка полярископа.

Численные расчеты производятся в программном комплексе Ansys путем построения первоначальной геометрии одного из исследуемых

образцов, а именно прямоугольника, и моделирования его нагружения с учетом граничных условий.

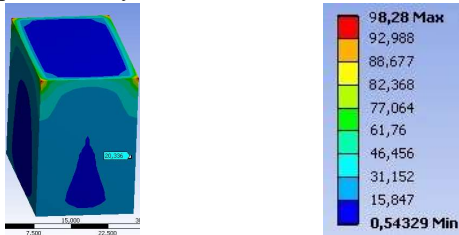


Рис. 2. Результаты численных расчетов нормальных напряжений

Сравнение результатов аналитического и численного расчетов максимальных напряжений:

Аналитическое значение напряжения:

$$\sigma = 84.324 \text{ МПа}$$

Численное значение напряжения:

$$\sigma = 98.98 \text{ МПа}$$

Наличие погрешности между значениями расчетов требует дополнительного исследования.

Библиографический список

1. Определение механических напряжений в прозрачных телах методом фотоупругости: методические указания по выполнению лабораторной работы. /Курск. гос. техн. ун-т; сост.: Л.А. Желанова, А.А. Родионов. – Курск, 2010. – 7 с.
2. Изучение поляризованного света и внутренних напряжений в твердых телах оптическим методом: методические указания к лабораторной работе. /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; сост.: Э.В. Сагитова. – Уфа, 2005. – 16 с.

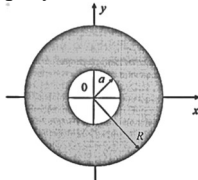
Д.О. Соловьев, А.А. Белов, студ.;
рук. М.А. Ноздрин к.т.н., доц.; М.А. Шилов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОМ ТЕРМОУПРУГОМ ДИСКЕ

При решении задач, возникающих при разработке новых конструкций турбин, двигателей и др., рассчитываются элементы этих конструкций, работающие в условиях неравномерного нагрева. [1].

Цель работы – расчет температурного поля и напряженного состояния полого диска с использованием теории термоупругости и сравнение с результатами конечно-элементного моделирования.

Рассматривается тонкий упругий полый диск из меди. В области радиуса a поддерживается темпера-



тура 25 С°. На внешней границе температура равна нулю. Геометрия тела представлена на рис.1.

В результате решения уравнения теплопроводности получено распределение температур в диске.

Рис.1. Модель диска

Распределение радиальных напряжений получено в результате решения уравнения (1), с учетом отсутствия напряжений на границах диска.

$$\sigma_r(r) = -\alpha \cdot \frac{E}{r^2} \cdot \int_a^r T(r) \cdot r \, dr + \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left[C1 \cdot (1+\nu) - C2 \cdot \frac{(1-\nu)}{r^2} \right] \quad (1)$$

Составляющая диска в программном комплексе Comsol. Результаты вычислений, полученные разными способами, представлены на рис.2.

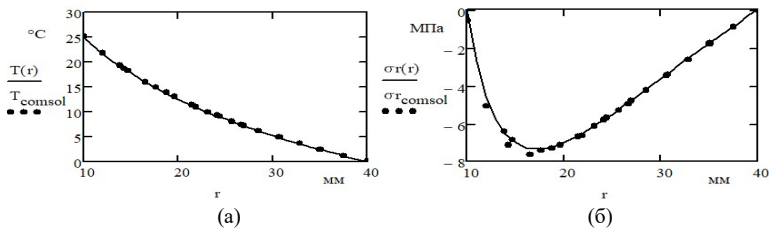


Рис.2. Результаты расчета аналитическим и конечно-элементным методом температуры (а), радиальных напряжений (б)

Результаты, полученные двумя методами, отличаются не более чем на 5%.

Библиографический список

1. Коваленко А.Д. Введение в термоупругость. – Акад. наук УССР. Ин-т механики. – Киев : Наукова думка, 1965. – 204 с.

СЕКЦИЯ 25
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Председатель –
д.т.н., профессор **Мизонов В. Е.**

Секретарь –
д.т.н., доцент **Митрофанов А. В.**

*Н.А. Мишуров, магистр.; рук. В.П. Жуков, д.т.н, проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ГРАНИЦЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

При проектировании теплообменного оборудования не всегда удается определить фазовое состояние теплоносителей в каждой ступени теплообменника при различных режимах его работы.

Целью исследования является определение точки начала фазового перехода в теплоносителе и моделирование процесса теплообмена в поверхностном теплообменном аппарате при скользящей границе фазового перехода.

Считается, что каждый теплоноситель в каждой ступени теплообменника может находиться в одном из трех состояний: перегретый пар (П), насыщенный пар (Н) и вода (В). Поэтому возможны девять различных сочетаний фазовых состояний теплоносителей: П-П, П-Н, П-В, Н-П, Н-Н, Н-В, В-П, В-Н, В-В, для описания которых достаточно четырех моделей [1]:

Модель 1. Фазовый переход теплоносителей отсутствует (П-П, П-В, В-П, В-В).

Модель 2. Фазовый переход только горячего теплоносителя (Н-В, Н-П).

Модель 3. Фазовый переход только холодного теплоносителя (В-Н, П-Н).

Модель 4. Фазовый переход холодного и горячего теплоносителей (Н-Н).

Данные модели представляют собой системы дифференциальных уравнений, которые описывают изменение параметров горячего и холодного теплоносителя вдоль поверхности теплообмена.

В ходе исследования был разработан алгоритм, который позволяет рассчитать параметры теплоносителей при любых заданных режимных условиях теплообмена при скользящей границе фазового перехода в поверхностном подогревателе.

Полученные результаты могут быть применены в процессе проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования.

Библиографический список

1. Жуков, Владимир Павлович. Системный анализ энергетических тепломассообменных установок / В.П. Жуков, Е.В. Барочкин; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново: Б.и., 2009.—176 с.

**А.П. Коренов, магистр.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В СПИРАЛЬНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ С УТОЧНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ТЕПЛООБМЕНА

Рассматривается задача теплопередачи в спиральном теплообменном аппарате с уточной площадью поверхности теплообмена. В настоящее время расчёт теплообменников подобного типа выполняется по упрощенной методике: виток спирали заменяется на окружность, что может сказываться на точности расчёта. В данной работе рассматривается расчёт теплообменника при определении длины стенки через интегральную формулу для длины спирали. Найденная длина стенки умножается на высоту теплообменника и находится площадь теплообмена.

Особенности расчёта теплообмена в спиральном аппарате:

- 1) спираль мысленно разрезают через каждый оборот и выпрямляют;
- 2) на входе в каждый канал поток разбивается на две половины, которые относят к прилегающей стенке канала;
- 3) на выходе из канала две половины потока объединяются в один поток, температура которого усредняется с учетом расходов и температур объединяемых потоков.

Результаты расчета показали, что с каждым новым витком растёт расхождение площадей стенок, полученных приближённым и предложенным автором методами. Это расхождение площадей обуславливает различие температур на выходе из теплообменника. С увеличением числа витков разница температур на выходе из теплообменника снижается до незначительной величины.

Предложенный уточненный метод расчёта спиральных аппаратов целесообразно использовать при небольшом числе витков спирали и будет весьма полезным для повышения точности в расчётах теплообменников с большим числом витков.

Библиографический список

1. Жуков, Владимир Павлович. Системный анализ энергетических тепломассообменных установок / В.П. Жуков, Е.В. Барочкин; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново: Б.и., 2009.—176 с.

*А.В. Плаксин, студ.; рук. А.В. Митрофанов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ЦИЛИНДРЕ

Представлены методы и некоторые результаты численного решения нестационарных уравнений теплопроводности с использованием явной разностной схемы. В качестве объекта моделирования рассмотрен цилиндрический реактор, равномерно нагреваемый по наружной поверхности. Подобные реакторы используются для проведения химико-энергетических процессов, например, пиролиза биотоплив, что определяет актуальность задачи.

Расчетная схема проиллюстрирована рисунком 1. Реактор представлен набором из n цилиндрических слоев одинаковой малой, но конечной толщины Δr . Внутри каждого слоя температура в радиальном направлении полагается монотонной. С торцов цилиндра поступление или отдача теплоты считаются невозможными. На наружной боковой поверхности цилиндра температура полагается постоянной: 500°C (граничные условия первого рода).

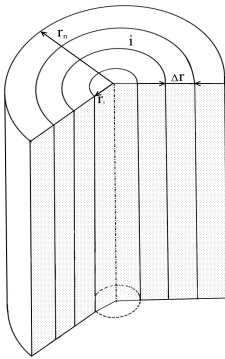


Рис.1. Расчетная схема процесса

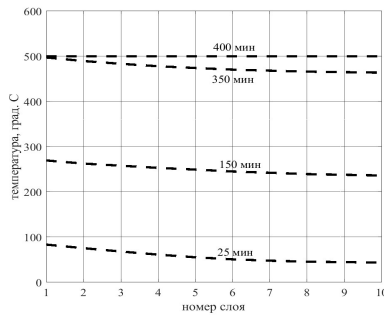


Рис.2. Результаты расчета радиального профиля температуры (1 слой – прилегающий к наружной поверхности, 10 слой – к оси цилиндра)

Результаты расчетов показаны на рисунке 2: представлены радиальные температурные профили в цилиндре в различные моменты времени (в начальный момент времени температура в цилиндре равна 20°C). Как видно, модель дает качественно-непротиворечивое решение, что позволяет ее рассматривать в качестве достоверного элемента поверочных расчетов оборудования.

И.В. Кудрявцев, студ.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ЗАГРУЗКИ СМЕСИТЕЛЯ НА СТЕПЕНЬ ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ПОДАЧИ СЫРЬЯ

Рассматривается задача о затухании проходящего через однородную цепь Маркова синусоидального сигнала, приложение которой имеет важное значение при исследовании подавления пульсаций подачи ключевого компонента в смеситель непрерывного действия. Цепь характеризуется числом ячеек m , симметричными вероятностями чисто стохастического (диффузионного) переноса d и вероятностями несимметричного (конвективного) переноса v , направленного в сторону возрастания номера ячеек цепи. Все операторы и параметры состояния цепи подробно описаны в работе [1]. Эволюция состояния цепи описывается рекуррентным матричным равенством

$$\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}^k + \mathbf{S}_{in}^k + \mathbf{S}_{out}^k, \quad (1)$$

где $\mathbf{S}^k$ – вектор вероятностей состояния в k -ом временном состоянии (k – номер временного перехода), $\mathbf{S}_{in}^k$ – вектор порождения вероятности, содержащий ненулевой элемент только для первой ячейки, меняющийся по синусоидальному закону, $\mathbf{S}_{out}^k$ – вектор гибели частиц в последней ячейке (расход выхода компонента из смесителя), являющийся объектом исследования, $\mathbf{P}$ – матрица переходных вероятностей, являющаяся математическим образом смесителя.

В численных экспериментах было показано, что частота выходного сигнала всегда совпадает с частотой входного сигнала, а его амплитуда заметно убывает с ростом числа ячеек цепи, то есть с объемом рабочего пространства смесителя.

Библиографический список

1. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е. Введение в теорию цепей Маркова и ее инженерные приложения: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново, 2010. – 80 с.

Е.В. Басова, асп.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Теоретическому и экспериментальному исследованию теплопередачи путем теплопроводности посвящено множество исследований, в которых в настоящее время основное внимание уделяется нелинейной теплопроводности, когда свойства материала меняются при изменении температуры, а окружающие условия с течением времени. Одной из причин возникновения нелинейности являются возможные фазовые переходы в материале, например, его плавление или сушка. Задачи моделирования таких процессов также поставлены и решены во многих работах. Однако подавляющее большинство из них относится к фазовым переходам в однослойном, а не многослойном материале.

Для решения поставленной задачи используется метод математического моделирования. Модель использует математический аппарат теории цепей Маркова. Она адаптирована к многослойной среде, в отдельных слоях которой могут происходить фазовые переходы. Перенос теплоты теплопроводностью и тепловые процессы при фазовых превращениях описаны классическими уравнениями теплового баланса. Изучение влияния параметров на протекание процесса выполнено численными методами.

Разработанная математическая модель позволяет описывать переходные тепловые процессы в многослойной среде с возможными фазовыми переходами в отдельных слоях. Приведены результаты расчета кинетики теплового процесса нагрева трехслойной стенки, в которой легкоплавкий промежуточный слой окружен двумя тугоплавкими слоями. Полученные результаты физически не противоречивы и подтверждают работоспособность модели.

Разработанная модель нелинейной теплопроводности в многослойной среде с фазовыми переходами может быть успешно использована для расчета разнообразных физико-химических процессов в слоях: сушки, промерзания и оттаивания, химических процессов (например, пиролиза) и других.

И.С. Прытков, студ.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОЦЕСС В ЦЕПИ МАРКОВА С ПЕРИОДИЧЕСКИ МЕНЯЮЩИМСЯ ВЫХОДОМ В ПОГЛОЩАЮЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

Рассматривается процесс в цепи Маркова, в которой вероятность выхода в поглощающее состояние меняется по синусоидальному закону (рис.1). Цель исследования – описать кривую отклика на единичный импульс в первой ячейке

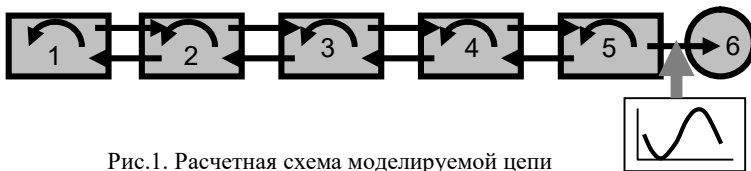


Рис.1. Расчетная схема моделируемой цепи

Эволюция состояния описывается рекуррентным матричным равенством $S^{k+1}=PS^k$, где k – номер временного перехода (номер шага матрицы), S – текущий вектор состояния – распределение вероятностей состояния по ячейкам цепи, P – матрица переходных вероятностей.

Поток вероятности в поглощающее состояние (кривая отклика) рассчитывается по формуле $q(k+1)=S_5^{k+1}p_{65}(k)$, где $p_{65}(k)$ – переменная вероятность выхода в поглощающую ячейку, подчиняющаяся в нашем случае синусоидальному закону. Пример расчета кривой отклика показан на рис.2.

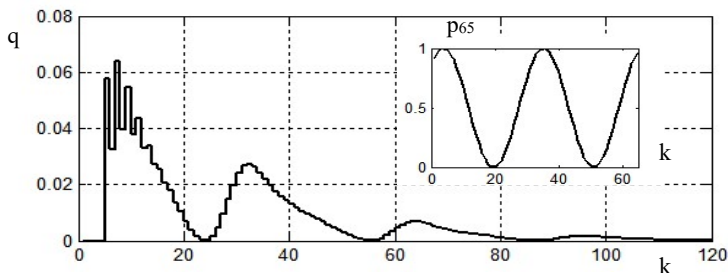


Рис.2. Пример расчетной кривой отклика

С одной стороны, она существенно отличается от обычной колоколообразной кривой, но с другой стороны, показывает возможности управления выходом в абсорбирующую ячейку.

И.А. Ахалкова, асп.; рук. А.В. Митрофанов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ПРОТЕКАНИЯ ЭНДО- И ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

При реализации многих химико-энергетических процессов возникает ситуация, когда в пространстве одного реактора параллельно происходят два процесса, один из которых требует затрат энергии, а другой – сопровождается ее выделением. Примером может служить пиролиз влажного сырья, когда процесс сушки можно рассматривать как эндотермическую «реакцию», описываемую кинетическим уравнением (обычно первого порядка), в то время как целевой процесс термической конверсии топлива – это экзотермическая химическая реакция.

В качестве объекта моделирования рассмотрен цилиндрический реактор, нагреваемый по наружной поверхности. Расчетная схема проиллюстрирована рисунком 1. Реактор представлен набором из n цилиндрических слоев малой, но конечной толщины Δr . На наружной боковой поверхности цилиндра температура постоянна. Для управления такими процессами важно прогнозировать временные интервалы их совместного/раздельного протекания. На рисунке 2 представлены дифференциальные кривые убыли массы для процессов обезвоживания (линия 1) и для термической конверсии (линия 2). Как видно эти процессы идут параллельно, внося существенный вклад в убыль массы частиц, только на участке с 200 до 335 мин, соответственно, только на этом временном интервале будет наблюдаться и более сложная тепловая картина.

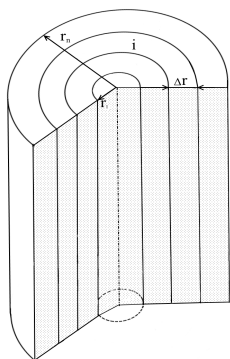


Рис.1. Расчетная схема процесса

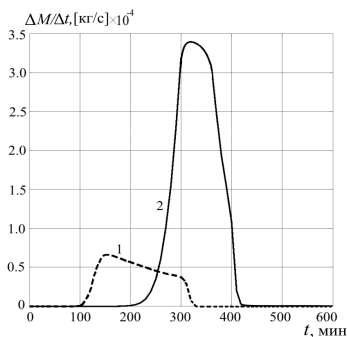


Рис.2. Дифференциальные кривые уменьшения массы навески: линия 1 – для процесса сушки частиц, линия 2 – для процесса термической конверсии частиц

**Ю.Л. Ставцева, студ.; рук. А.В. Огурцов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В РАЗНОРОДНЫХ СРЕДАХ С ПОМОЩЬЮ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Целью исследования является моделирование и расчет температурного поля в многослойной среде с различными тепловыми свойствами материалов каждого слоя. Моделирование теплообмена осуществляется без учёта конвективной составляющей.

Предлагаемая математическая модель процесса основана на теории цепей Маркова. Многослойная среда представлена совокупностью малых, но конечных, ячеек, каждой из которых поставлены в соответствие доли содержащейся в них теплоты, переносимые в соседние ячейки, окружающие данную ячейку. Эти доли пропорциональны коэффициенту теплопроводности и обратно пропорциональны теплоёмкости, плотности материала и размеру ячейки.

Считается, что тепловые свойства равномерно распределены по объёму слоёв материала. Результирующее распределение температур строится в поперечном направлении, поэтому модель базируется на одномерной цепи.

Для решения задачи используется метод, основанный на представлении текущего распределения теплоты по высоте слоёв в виде конечного вектора состояния – организованной в вектор-столбец совокупности содержания теплоты по всем ячейкам. Параллельно рассчитывается вектор-столбец температур каждой ячейки. Каждый последующий вектор является произведением матрицы переходных вероятностей на предыдущий вектор. Матрица переходных вероятностей построена в соответствие с физическими обоснованиями данного процесса, её элементы зависят от теплоёмкости, коэффициента теплопроводности, плотности материала, а также от квадрата размера ячейки и времени перехода. Рекуррентные матричные равенства позволяют проследить всю эволюцию распределения температуры и теплоты с начального до установившегося состояния, которое может быть стационарным и нестационарным.

**В.В. Осинкин, студ.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИСХОДНОГО ПОРОШКА И МЕСТА ЕГО ПОДАЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Концентрация исходного порошка и место его подачи являются существенными режимными параметрами процесса разделения сыпучих материалов, влияющими на эффективность аэродинамической классификации [1].

Целью расчетных исследований является определение влияния концентрации и места подачи исходного порошка на показатели классификации материала.

Объектом исследования является математическая модель гравитационного классификатора.

Построение математической модели гравитационного классификатора выполняется на основе кинетического уравнения Больцмана, которое позволяет описывать эволюцию распределения частиц по выбранным фазовым координатам при одновременном протекании нескольких процессов [2].

Для численного решения уравнения Больцмана используется метод расчета [3], который синтезирован из двух известных методов: метода конечных объемов и матричного метода, построенного на основе теории цепей Маркова.

Проведенные расчетные исследования позволили определить влияние концентрации и места подачи исходного порошка на эффективность аэродинамической классификации, дать рекомендации по подбору режимных параметров работы гравитационного классификатора для получения продуктов с заданными свойствами.

Библиографический список

1. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г., Барочкин Е.В. Аэродинамическая классификация порошков. ПресСто, ИГЭУ. 2014.
2. Жуков В.П., Беляков А.Н. Моделирование и расчет совмещенных процессов на основе уравнения Больцмана. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2010. Т.53. Вып.11. С.114-117.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Расчет многомерных совмещенных процессов измельчения, классификации в сыпучих средах №2010612671 от 19 апреля 2010 года». Авторы: Беляков А. Н., Жуков В.П., Власюк А. А., Барочкин А. Е.

К.Н. Бубнов, магистр.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.;
А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОУСТАНОВКИ Т-100/120-130

В соответствии с единой методологией матричной формализации была [1] разработана математическая модель турбоустановки Т-100/120-130. Главной отличительной особенностью турбоустановки типа Т от моделируемой нами ранее турбоустановки типа ПТ [1] является возможность осуществлять работу в режимах с одно- и двухступенчатым подогревом сетевой воды. Данная особенность обуславливает необходимость учета при написании математической модели влияния режимов работы турбоустановки в зоне нерегулируемого давления, т.е. в зоне естественного повышения давления (ЕПД) в камере теплофикационного отбора, на внутренний относительный КПД проточной части цилиндра низкого давления (ЦНД), когда поворотная диафрагма в камере теплофикационного отбора находится в полностью открытом положении. Полученные на основе разработанной математической модели первичные результаты продемонстрировали, что аналитическая зависимость внутреннего относительного КПД, используемая для турбоустановки типа ПТ, в диапазоне изменения массового расхода от линии, которой соответствует минимальный пропуск пара в конденсатор, до границы ЕПД в полной мере обеспечивает сходимость экспериментальных данных с фактическими. Однако в диапазоне от границы ЕПД до линии, которой соответствует максимальный расход свежего пара, возникают существенные расхождения между ними. Данные расхождения можно объяснить нарушением равномерности потока по высоте проточной части ступеней ЦНД, т.е. возникновением явления отрыва потока от периферийного меридианного обвода последних ступеней ЦНД, что в конечном итоге приводит к снижению внутреннего относительного КПД проточной части ЦНД.

Таким образом, для уменьшения отклонения экспериментальных данных от фактических была предложена новая аналитическая зависимость внутреннего относительного КПД проточной части ЦНД от объемного расхода пара.

Библиографический список

1. Учет эффективности отсеков проточной части турбоустановок при расчетном анализе их энергетических характеристик / К.Н. Бубнов, А.Е. Барочкин, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Вестник ИГЭУ. – 2019. – №. 3. – С. 62-68. .

*А.М. Забиронин, магистр.; рук. В.П. Жуков, д.т.н, проф.;
А.Н. Беляков д.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЖПРЕДМЕТНЫХ СВЯЗЕЙ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Установление межпредметных связей в образовательных технологиях является актуальной задачей, решение которой призвано повысить качество образования. В предлагаемой работе сделана попытка количественно оценить влияние межпредметных связей на качество образовательного процесса. Расчетный анализ выполнен на основе разработанной ранее матричной модели образовательной технологии [1]. Для учета влияния межпредметных связей сделано предположение, что наличие таких связей может учитываться в модели через показатель степени межпредметных связей k , который соответствует степени матрицы обучения. Значение этого показателя в расчете может варьироваться от единицы ($k=1$), при котором межпредметные связи в технологии отсутствуют, до двух ($k=2$), при котором устанавливается сильная межпредметная связь, которая аналогична проведению двух занятий по традиционной технологии без межпредметных связей. Очевидно, что действительное значение показателя степени межпредметных связей находится в указанном диапазоне, а конкретное его значение зависит от реализуемой образовательной технологии. В качестве критериев оценки образовательной технологии выбраны два показателя: доля отличников (F_1) и удельные затраты на обучение (F_2). Результаты расчетного анализа, полученные для студентов с разными исходными знаниями изучаемых курсов, показали, что у студентов с отличными исходными знаниями межпредметные связи практически не изменили их знаний, при этом затраты на обучение также с появлением межпредметных связей изменились незначительно. Наиболее интересные результаты получились для студентов с неудовлетворительными исходными знаниями. При увеличении степени межпредметных связей с 1 до 2 качество обучения (критерий F_1) выросло на 16%, а затраты на обучение (критерий F_2) при этом сократились на 13%. Полученные результаты свидетельствует об существенном потенциале межпредметных связей при совершенствовании образовательных технологий.

Библиографический список

1. Жуков В.П. Разработка фонда оценочных средств и оценка сформированности компетенций на основе матричной модели процесса обучения // Вестник ИГЭУ. – 2017. – №. 5. – С. 53-58. DOI: 10.17588/2072-2672.2017.5.053-058

*Е.В. Шадрина, студ.; Ю.С. Волгина, студ.; рук. В.А. Огурцов, д.т.н,
проф. (ИВГПУ, г. Иваново)*

СЕПАРАЦИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ГРОХОТАХ С ПОЭТАЖНОЙ КОМПОНОВКОЙ СИТ

На сегодняшний день требования к качеству сыпучих строительных материалов, а также к повышению уровня энергетической эффективности производства возрастают. Вместе с этим увеличивается потребность внедрения новых технологий с целью фракционирования сыпучих материалов.

Грохочение с целью получения продукта с заданной крупности, производится на грохотах- устройствах с поэтажной компоновкой сит для разделения частиц по размерам.

Надситовым продуктом на верхнем сите являются крупные частицы, которые возвращаются в технологический процесс на последующее дробление. В верхнем сите происходит отсев фракций требуемого размера и некондиционных мелких частиц. На нижнем сите надрешетным продуктом являются частицы товарного сыпучего материала, а подситовым – мелкие некондиционные частицы.

Кинетика процесса грохочения на нижнем сите более закрыта даже визуально в отличие от верхнего и определяется интенсивностью извлечения частиц товарного класса меняющейся по длине грохота [].

Средняя скорость транспортирования материала по верхнему и нижнему ситам одинакова, но соотношение размеров частиц к размеру отверстий разные, поэтому процесс проникновения частиц через отверстия сита на верхнем и нижнем ярусе проходит по-разному. Процесс миграции частиц по слою на каждом ярусе имеет свои особенности: загрузка сыпучим материалом просеивающих поверхностей проходит по-разному и высота слоя на ситах формируется по-разному. В работе произведено совместное рассмотрение этих процессов позволяющее описать физическую картину рассева сыпучих материалов на разных ярусах многоситового грохота и определить основные характеристики работы аппарата: эффективность грохочения, производительность грохота и степень засоренности товарного продукта некондиционными частицами.

Библиографический список

1. Вайсберг, Л.А. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Л.А. Вайсберг, А.Н. Картавый, А.Н. Коровников // Под ред. Л.А. Вайсберга. СПб.: Изд – во ВСЕГЕИ. - 2005. - 252 с.

Содержание

Секция 20. Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Алексеев А.А.</i> Использование библиотеки Simulink control design для настройки регуляторов системы управления электроприводом; рук. Куленко М.С.	5
<i>Буцкий А.А.</i> Electric drive of the circulation pump for nuclear power station; рук. Ширяев А.Н.	6
<i>Виноградов Н.Д.</i> Development and analysis of modified pid controller; рук. Лебедев С.К.	7
<i>Горбунов А.А.</i> Сравнительная характеристика способов частотного регулирования асинхронного электропривода; рук. Черников В.Г., Калашников В.И.	8
<i>Горелкин Р.О.</i> Устройство сбора информации и связи контроллеров испытательного стенда; рук. Чистосердов В.Л.	9
<i>Горелкин Р.О.</i> Результаты приемо-сдаточных испытаний комплектов тягового электрооборудования карьерного самосвала; рук. Гнездов Н.Е.	10
<i>Ермаков К.К.</i> Разработка модели системы управления манипулятором специального назначения; рук. Вилков П.В.	11
<i>Зайцев Д.С.</i> Разработка алгоритмов управления вентильно-индукторным двигателем на основе нечёткой логики; рук. Куленко М.С.	12
<i>Зайцев Д.С.</i> Исследование возможности применения искусственной нейронной сети в системах управления бездатчикового вентильно-индукторного двигателя; рук. Куленко М.С.	13
<i>Клоков А.О.</i> Исследование электропривода разрывной машины; рук. Ширяев А.Н.	14
<i>Коротков А.А.</i> Электропривод насосного агрегата; рук. Ширяев А.Н.	15
<i>Курников К.Д.</i> Метод расчёта параметров асинхронных электроприводов; рук. Хитров А.И.	16
<i>Магомедов А.М.</i> К исследованию электропривода сетевого насоса; рук. Захаров А.М., Захаров М.А.	17
<i>Магомедов А.М.</i> Electric drive of the line pump; рук. Захаров А.М.	18
<i>Петров Т.И., Холикова А.Р.</i> Топологическая оптимизация синхронных двигателей; рук. Сафин А.Р.	19

<i>Пыхов Д.В.</i> Синхронный векторно-управляемый электропривод подачи станков фрезерной группы; рук. Спичков Ю.П.	20
<i>Синяков Д.А.</i> К разработке системы технического зрения квадрокоптера; рук. Захаров А.М., Захаров М.А.	21
<i>Чепига А.А.</i> Оценка энергоэффективности работы ветроустановки в режиме максимальной мощности; рук. Анучин А.С.	22
<i>Чепига А.А.,</i> Корытченкова Е.Е. Моделирование технологии vehicle-to-grid в энергосистеме с альтернативными источниками энергии; рук. Калашников В.И.	23
<i>Шалов И.Е.</i> Электропривод робота-червя; рук. Захаров М.А.	24

Секция 21. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

<i>Кравале И.А.</i> Полевой анализ электромагнитных свойств асинхронных двигателей с совмещенной обмоткой типа «Славянка»; рук. Казаков Ю.Б.	27
<i>Егоров И.С.</i> Взаимодействие цепочечных агрегатов в магнитоуправляемых коллоидах; рук. Морозов Н.А.	28
<i>Плаксин А.В.</i> Модели трансформатора с сердечником из аморфной стали; рук. Тихонов А.И.	29
<i>Голубкина М.И.</i> Статические и динамические характеристики контактора постоянного тока; рук. Морозов Н.А.	30
<i>Семко А.А.</i> Внешние электромагнитные поля как индикатор состояния электрической машины.; рук. Морозов Н.А.	31
<i>Корепов А.П.</i> Анализ характеристик асинхронного двигателя с чередующимися пазами на роторе; рук. Казаков Ю.Б.	32
<i>Киселев М.А.</i> Анализ магнитных систем в двигателях постоянного тока с постоянными магнитами	33
<i>Каржевин А.А.</i> Разработка модели и динамических режимов в трансформаторе Скотта; рук. Тихонов А.И.	34
<i>Большакова Е.А.</i> Возможности использования отечественных асинхронных двигателей в других странах мира; рук. Морозов Н.А.	35

<i>Ступенков Р.В.</i> Разработка САПР трансформаторов с сердечником из аморфной стали; рук. Тихонов А.И.	36
<i>Брыксин Д.А.</i> Обзор и проектирование электрических машин возвратно-поступательного движения; рук. Караулов В.Н.	37
<i>Середа К.В.</i> Синхронный генератор на постоянных магнитах с гладким якорем для ветроустановок малой мощности; рук. Шишкин В.П.	38
<i>Белов В.С.</i> Анализ работоспособности МЖГ с щеточной конструкцией полюсной приставки; рук. Страдомский Ю.И.	39
<i>Ануфриков А.</i> Значение тепловых расчётов для электрических машин; рук. Страдомский Ю.И.	40
<i>Ладин Д. А.</i> Проектирование и поверочный электромагнитный расчёт вентильно-индукторного двигателя; рук. Караулов В.Н.	41

Секция 22. Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы

<i>Кудрявцев И. В.</i> Синтез адаптивной САУ в замкнутом контуре с эталонной моделью в реальных координатах; рук. Анисимов А. А. ...	45
<i>Роцин Г.Н.</i> Исследование методов оптимизации и настройки мехатронных систем; рук. Анисимов А. А.	46
<i>Смирнова Е.П.</i> Синтез цифровой системы управления электромеханическим объектом; рук. Аполонский В.В.	47
<i>Соколов К.Е.</i> Синтез робастных систем с регуляторами состояния на основе грамианного подхода; рук. Анисимов А.А.....	48
<i>Ермаков А.А.</i> Двухосевой перьевой плоттер; рук. Аббясов А.М.	49
<i>Кузьмин Д.М.</i> Контроллеры движения; рук. Аполонский В.В.	50
<i>Курятников А.А.,</i> Тихомирова И.А. Особенности процесса экстремизации; рук. Ершов Д.С.	51
<i>Подшивайлов И.О.</i> Датчики и связь для дронов; рук. Терехов В.Г. ...	52
<i>Харченко И.В.</i> Нейроуправление; рук. Аполонский В.В.	53
<i>Галимуллин Н.Р.</i> Управление электродвигателями с помощью индуктивных датчиков; рук. Ахметвалеева Л.В.	54
<i>Берестинов А.А.,</i> Кулганатов А.З. разработка лабораторного стенда на базе одноплатного микрокомпьютера raspberry pi 3 по изучению промышленных интерфейсов рук. Нестеров А.С.	55

<i>Журавлев И.А., Сергеев И.Д.</i> Движущаяся платформа для посадки летающего дрона; рук. Капитонов А.А.	56
<i>Журавлев И.А.</i> Бесконтактный метод определения угловой скорости вращающегося цилиндра; рук. Николаев Н.А.	57

Секция 23. Технология машиностроения

<i>Соловьева Е.В.</i> Активация смазочно-охлаждающих технологических средств; рук. Полетаев В.А.	61
<i>Никифоров Д.Н.</i> Актуальность разработки подъемных устройств для ремонта пожарных автомобилей; рук. Киселев В.В.	62
<i>Николаев К.В.</i> Проектирование и анализ рабочего стола винтового конвейера в Autodesk Inventor; рук. Хамитова Д.В.	63
<i>Шуваева В.В., Рябичев А.С.</i> Поверхностное упрочнение деталей машин; рук. Крапостин А.А.	64
<i>Рябых И.А.</i> Факторы, ограничивающие роботизацию в России; рук. Богданов А.Н.	65
<i>Масляев А.А.</i> Магнитно-импульсное упрочнение резцов; рук. Павлюкова Н.Л.	66
<i>Курицын С.А.</i> Прогнозирование стоимости изделий машиностроения на ранних стадиях проектирования; рук. Копосов В.Н.	67
<i>Никифоров Д.Н.</i> Оценка влияния смазочных материалов на надежность узлов пожарной автомобильной техники; рук. Киселев В.В. ...	68
<i>Баранов Б.Ш.</i> Повышение стойкости штампов для листовой штамповки; рук. Полетаев В.А.	69
<i>Тютюкин И.Ю.</i> Исследование потерь на трение в цилиндрической зубчатой передаче; рук. Степанова Т.Ю.	70
<i>Лисичникова Д.А.</i> Металлоплакирующие смазочные материалы; рук. Соловьева Е.В.	71
<i>Парасич И.А.</i> Разработка устройства для эвакуации легковых автомобилей при пожарах на стоянках и парковках; рук. Топоров А.В. ...	72
<i>Проскуров А.С., Силантьев Д.С.</i> Обеспечение долговечности зубчатых колес; рук. Ведерникова И.И.	73
<i>Шереметов А.С.</i> Способ термообработки сварного шва прямошовных электросварных труб котлов типа КВГМ-50; рук. Полетаев В.А.	74
<i>Марков И.С.</i> Применение компьютерной инженерии для построения цифровых производств в машиностроении; рук. Павлюкова Н.Л.	75
<i>Ложкомоев С.В.</i> Измерение воздушного зазора ротор-статор элект-	

трических машин; рук. Полетаев В.А.	76
<i>Проскуров А.С.</i> , Новиков Д.Е. Современные методы упрочнения металлов; рук. Ведерникова И.И.	77
<i>Чистов А.П.</i> Обоснование выбора метода улучшения процесса литья при изготовлении заготовки корпусной детали; рук. Копосов В.Н. ...	78
<i>Квасов М.В.</i> Защитный буфер для соединительных рукавных головок; рук. Пучков П.В.	79
<i>Воронцова Е.М.</i> Повышение качества измерения параметров зубчатых колес; рук. Полетаев В.А.	80
<i>Гришкин В.А.</i> Мобильная эстакада для ремонта грузовых автомобилей; рук. Легкова И.А.	81
<i>Бушуев А.Н.</i> Применение аддитивных технологий при изготовлении изделий из металла; рук. Павлюкова Н.Л.	82
<i>Парасич И.А.</i> Повышение эффективности применения ручного насоса для привода ГАСИ; рук. Топоров А.В.	83
<i>Круглов Д.В.</i> Выбор рациональных компоновочных решений автоматизированных систем складского обеспечения ГПС; рук. Копосов В.Н.	84
<i>Лелетич В.С.</i> , Пятанин М.И. Повышение износостойкости направляющих металлорежущих станков; рук. Ведерникова И.И.	85
<i>Попов К.Е.</i> Повышение надежности устройств с нанодисперсной магнитной жидкостью; рук. Власов А.М., Полетаев В.А.	86
<i>Соловьева Е.В.</i> Влияние смазок на структуру и фазовый состав поверхностного слоя чугуна; рук. Павлюкова Н.Л.	87
<i>Зайцев Д.Д.</i> Создание прицепного пожарного модуля для тушения степных пожаров; рук. Покровский А.А.	88
<i>Карпова А.В.</i> Сверление глубоких отверстий в деталях из труднообрабатываемых материалов; рук. Полетаев В.А.	89
<i>Лелетич В.С.</i> , Колотилов А.К. Проблемы повышения точности обработки на металлорежущих станках; рук. Ведерникова И.И.	90
<i>Болдырев Е.О.</i> Техническое решение по безопасности гаража пожарно-спасательной части; рук. Кропотова Н.А.	91
<i>Власов С.В.</i> Повышение качества изготовления ковшей экскаваторов; рук. Полетаев В.А.	92
<i>Колесникова А.Д.</i> , Уваров Е.С. Проблемы сварки адаптеров ковша экскаватора; рук. Веденикова И.И.	93

<i>Кадыров Р.Р.</i> Выбор метода дробления стружки при механической обработке деталей; рук. Полетаев В.А.	94
<i>Бык Н.О.</i> Робототехнический разведывательный комплекс МРДМ-1; рук. Пучков П.В.	95
<i>Карташов Р.Е.</i> Исследование влияния лазерного упрочнения на состояние поверхностных слоев твердосплавных пластин марки Т15К6; рук. Полетаев В.А.	96
<i>Сухов И.А.</i> Современные многокоординатные обрабатывающие центры; рук. Павлюкова Н.Л.	97
<i>Зайцев Д.Д.</i> Повышение безопасности проведения ремонта двигателей за счет разработки нового приспособления; рук. Покровский А.А.	98
<i>Хлынин А.Ю.</i> Пост технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей – надежность техники; рук. Кропотова Н.А.	99
<i>Ляхова К.М.</i> Разработка приспособления для пожарного автомобиля; рук. Иванов В.Е.	100
<i>Колосов В.С.</i> Создание передвижной станции для ремонта пожарных автомобилей; рук. Зарубин В.П.	101
<i>Ляхова К.М.</i> Передвижная установка каркасного типа для сушки пожарных рукавов; рук. Иванов В.Е.	102
<i>Елгаев К.С.</i> Создание участка ремонта пожарных рукавов в пожарно-спасательной части; рук. Зарубин В.П.	103
<i>Колесникова А.Д.</i> Модернизация станков автоматов с автоматической системой смазывания и охлаждения зоны резания и механизмов; рук. Егоров С.А.	104
<i>Шуваева В.В.</i> Увеличение срока службы зубчатых колес; рук. Вендерникова И.И.	105

Секция 24. Динамика и прочность сложных механических систем

<i>Суркова П.В.</i> Конструктивно-прочностная оптимизация пола багажника автомобиля; рук. Л. Б. Маслов.....	109
<i>Долунц Г.В.</i> Разработка концепта сверхзвукового пассажирского самолета; рук. Маслов Л.Б.....	110
<i>Чекрыгина А.О.</i> Предварительный расчет на прочность элементов фюзеляжа самолета; рук. Ноздрин М.А.....	111
<i>Долунц Г.В.</i> Прочностной расчет плоскости крыла авиамодели CAN-ADAIR 215 CL; рук. Ноздрин М.А	112
<i>Старостина В.М.</i> Моделирование и анализ конструкции четырехлучевого квадрокоптера; рук. Зарубин З.В.....	113

<i>Земеров Е.О.</i> Расчет на прочность поперечного рычага передней подвески автомобиля; рук. М.А. Ноздрин.....	114
<i>Соловьев Д.О.</i> Конечно-элементное моделирование индивидуального эндопротеза тазобедренного сустава; рук. Маслов Л.Б.....	115
<i>Маслова И.Л.</i> Компьютерное моделирование ходьбы пациента с восстановленным тазобедренным суставом; рук. Маслов Л.Б.....	116
<i>Спасёнков Ю.Д.</i> Исследование механических характеристик ортеза при многократном температурном нагружении; рук. Ноздрин М.А....	117
<i>Дмитрюк А.Ю.</i> Концепция движения волнообразного робота; рук. Зарубин З.В.....	118
<i>Бритова А.А.; Смирнов И.С.</i> Термоупругие напряжения в зажатой пластине; рук. Ноздрин М.А., Шилов М.А.....	119
<i>Зволинская А.Р.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния обтекателя летательного аппарата; рук. Крайнова Л.Н.....	120
<i>Старостина В.М., Зуев В.А.</i> Расчет термоупругих напряжений в полом шаре; рук. Ноздрин М.А., Шилов М.А.....	121
<i>Шмелев А.С., Филиппов К.И.</i> Расчет термоупругих напряжений в трубе; рук. Ноздрин М.А.....	122
<i>Дмитрюк А.Ю.</i> Выполнение прочностного и вибрационного анализа лопатки осевого компрессора; рук. Маслов Л.Б.....	123
<i>Кузьмичева М.Д.</i> Прочностной и вибрационный анализ лопатки четвертой ступени компрессора ОК2100; рук. Маслов Л.Б.....	124
<i>Чекрыгина, А.О.</i> Анализ прочности лопатки десятой ступени компрессора ОК2100.; рук. Маслов Л.Б.....	125
<i>Аксенов А.Д.</i> Расчет статической прочности монумента рекламной конструкции самолета ту-144; рук. Шмелева Т.В.....	126
<i>Полякова А.М.</i> Расчет влияния нагрузок на прочность рекламной конструкции; рук. Шмелева Т.В.....	127
<i>Спасёнков Ю.Д.</i> Расчёт напряжений резервуара с гелием; рук. Ноздрин М.А.....	128
<i>Чернов А.В.</i> Расчет на прочность шпильки для сверхпроводящего магнита; рук. Ноздрин М.А.....	129
<i>Лазарев А.А.</i> Расчет напряжений в болтовом соединении; рук. Ноздрин М.А.....	130
<i>Чернов А.В.</i> Эскизное проектирование линии групповой упаковки продукта в транспортный короб; рук. Ноздрин М.А.....	130
<i>Земеров Е.О.</i> Прочностной расчет узлов погрузчика; рук. Шмелева Т.В.....	132

<i>Филиппов К.И.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния в условиях роста трещины при докритических нагрузках; рук. Шилов М.А.....	133
<i>Королёв П.В.</i> Исследование термоупругих свойств резины средствами конечно-элементного моделирования.; рук. Маслов Л.Б.....	134
<i>Губина А.А.</i> Контактное взаимодействие шероховатой поверхности эластомера и абсолютно жесткой поверхности; рук. Шилов М.А.....	135
<i>Бритова А.А.</i> Исследование процессов износа эластомеров.; рук. Шилов М.А.....	136
<i>Лебедев П.В.</i> Разработка композитных элементов стременной системы; рук. Ноздрин М.А.....	137
<i>Аксенов А.Д.</i> Исследование поперечных колебаний пластины; рук. Ноздрин М.А.....	138
<i>Бакаев Д.А.</i> Определение динамической реакции отсека на воздействии виброудара; рук. Колобов А.Б.....	139
<i>Полякова А.М.</i> Исследование напряженного состояния образца поляризационно-оптическим методом; рук. Ноздрин М.А., Шилов М.А....	140
<i>Соловьев Д.А., Белов А.А.</i> Исследование напряжений в полом термоупругом диске; рук. Ноздрин М.А., Шилов М.А.....	141

Секция 25. Математические методы в технике и технологиях

<i>Мишууров Н.А.</i> Моделирование процесса теплообмена при скользящей границе фазового перехода; рук. Жуков В.П.	145
<i>Корепов А.П.</i> Моделирование процесса теплопередачи в спиральном теплообменном аппарате с уточной площадью теплообмена; рук. Жуков В.П.	146
<i>Плаксин А.В.</i> Численное решение задачи нестационарной теплопроводности в цилиндре; рук. Митрофанов А.В.	147
<i>Кудрявцев И.В.</i> Влияние загрузки смесителя на степень подавления пульсаций подачи сырья; рук. Мизонов В.Е.	148
<i>Басова Е.В.</i> Модель теплопроводности в многослойной среде с фазовыми переходами; рук. Мизонов В.Е.	149
<i>Прытков И.С.</i> Процесс в цепи Маркова с периодически меняющимся выходом в поглощающее состояние; рук. Мизонов В.Е.	150
<i>Ахалкова И.А.</i> Математическая модель совместного протекания эндо- и экзотермического процессов в реакторе периодического действия; рук. Митрофанов А.В.	151
<i>Ставцева Ю.Л.</i> Расчет теплообмена в разнородных средах с помощью цепей Маркова; рук. Огурцов А.В.	152
<i>Осинкин В.В.</i> Влияние концентрации исходного порошка и места его	

подачи на эффективность аэродинамической классификации; рук. Беляков А.Н.	153
<i>Бубнов К.Н.</i> Моделирование и анализ энергетических характеристик турбоустановки Т-100/120-130; рук. Жуков В.П., Барочкин А.Е.	154
<i>Забиронин А.М.</i> Оценка влияния межпредметных связей на качество образовательных технологий; рук. Жуков В.П., Беляков А.Н.	155
<i>Шадрина Е.В.; Волгина Ю.С.</i> Сепарация сыпучих материалов на грохотах с поэтажной компоновкой сит; рук. В.А. Огурцов.....	156

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2020»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 4

*Составители: Макаров А.В., Шмелева Т.В.
Компьютерная верстка Шмелевой Т.В.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать 30.04.2019. Формат 60х84 1/16 .
Печать офсетная. Усл. печ. л. .
Тираж 45 экз. Заказ №
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ