Всероссийская молодёжная
научная конференция с международным участием

«XVIII Королёвские чтения»

посвящённая 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

7-9 октября 2025 года
Самара

Том 1



Самара 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)



XVIII КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЁЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, ПОСВЯЩЁННОЙ 80-Й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

7–9 октября 2025 года

Том 1

Одобрено редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве дополнительной учебной литературы для обучающихся по основным образовательным программам магистратуры и аспирантуры

САМАРА
Издательство Самарского университета
2025

УДК 629.7(062)+629.78(062)
ББК 05я431+06я431
В760

В760 **XVIII КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ:** материалы всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием, посвящённой 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне, 7–9 октября 2025 г.: В 2 томах. Том 1. − Самара: Издательство Самарского университета, 2025. – 430 с.

ISBN 978-5-7883-2228-5 (т. 1)
ISBN 978-5-7883-2227-8

В сборнике представлены тезисы докладов, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов по вопросам космической и авиационной техники, других наукоёмких отраслей промышленности и социально значимых научных направлений.

УДК 629.7(062)+629.78(062)
ББК 05я431+06я431

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель – проректор по цифровой трансформации	Пашков Д.Е.
Зам. председателя – начальник управления подготовки научных кадров	Кузин А.О.
Члены оргкомитета:	
– директор юридического института	Безверхов А.Г.
– директор департамента экономики и финансов	Благов А.В.
– директор института естественных и математических наук	Грисяк А.А.
– директор института экономики и управления	Иванов Д.Ю.
– директор института информатики и кибернетики	Куприянов А.В.
– председатель совета молодых учёных и специалистов	Матвеева И.А.
– начальник управления социальных проектов	Морозова С.А.
– директор социально-гуманитарного института	Нестеров А.Ю.
– директор института двигателей и энергетических установок	Смелов В.Г.
– директор института авиационной и ракетно-космической техники	Ткаченко И.С.
– помощник проректора, секретарь оргкомитета	Верховская Т.В.

ISBN 978-5-7883-2228-5 (т. 1)
ISBN 978-5-7883-2227-8
© Самарский университет, 2025

КАК НАУКА ПРИБЛИЗИЛА ПОБЕДУ НАД ФАШИЗМОМ: ОТКРЫТИЯ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Советский учёный Сергей Вавилов считал, что одним из многих просчётов, обусловивших провал фашистского похода на Советский Союз, была недооценка советской науки. Одновременно с развёртыванием фронтов Красной армии учёные, работающие по всем научным направлениям – от математики до медицины, в своих лабораториях открыли невидимый для непосвящённых свой фронт борьбы против фашизма. Вспомним учёных и их научные подвиги, которые приблизили Победу в Великой Отечественной войне.

Сергей Королёв



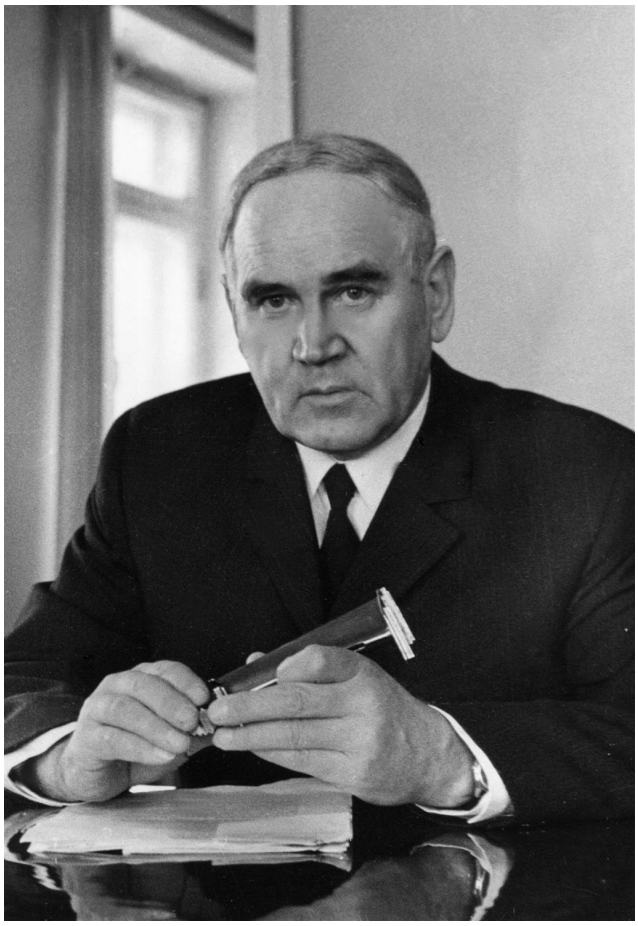
Основоположник советской космонавтики Сергей Королёв Великую Отечественную войну встретил в заключении. В 1938 году он был арестован по обвинению во «вредительстве» и приговорен к 10 годам пребывания в исправительно-трудовом лагере. Сначала Королёв отбывал наказание на Колыме, а после пересмотра дела в 1939 году стал трудиться в режимном конструкторском бюро. Там он вместе с Андреем Туполевым, который тоже был осужден, принимал участие в разработке и модернизации бомбардировщика Ту-2.

Одновременно учёный работал над проектом самолета с комбинированным винтовым и реактивным двигателем. Занимался Сергей Королёв и модернизацией лучшего в мире пикирующего бомбардировщика Пе-2.

После досрочного освобождения в 1944 году Королёв вошел в комиссию по исследованию трофейной немецкой техники, в частности – баллистических ракет.

Сконструированная в дальнейшем под его руководством баллистическая ракета-носитель Р-7 вывела на орбиту первый в мире искусственный спутник Земли, а чуть позже доставила в космос первого человека. Вера в науку и чувство патриотизма, которые были крепки несмотря на репрессии и аресты, позволяли учёным того времени оставаться исследователями, где бы они ни находились, и совершать открытия, меняющие мир к лучшему. Что касается самого Королева, то ничто не могло отвлечь его от главной цели – покорения космоса. «Каждая минута для дела», – говорил он. И одну за другой одерживал величайшие победы в следующих после войны противостояниях – в гонке вооружений, в битве за космос между СССР и США. «Отец» американской космической программы Вернер фон Браун как-то сказал, что Штаты не смогли опередить Советский Союз только потому, что у них «не было своего Королёва».

Николай Кузнецов



Николай Дмитриевич Кузнецов – выдающийся конструктор авиационных, ракетных и наземных газотурбинных двигателей.

Уже 23 июня 1941 года, на следующий день после начала Великой Отечественной войны, Кузнецов подал рапорт с просьбой направить его в действующую армию, однако получил отказ – он был нужен как преподаватель срочных курсов для авиационных техников при академии им. Жуковского. Только в июле 1942 года Кузнецов добился перевода на фронт старшим инженером в дивизию истребителей.

Но уже в октябре 1942 года его направили на уфимский авиационный завод №26 (сегодня ОДК-УМПО), где ОКБ главного конструктора В.Я. Климова должно было срочно запустить в серию двигатели ВК-107А.

Убедившись в высоком профессиональном уровне талантливого конструктора, в 1943 году В.Я. Климов назначил его своим первым заместителем.В 1946 году, когда Климов возглавил новое ОКБ в Ленинграде, Николай Кузнецов стал главным конструктором ОКБ завода № 26 в Уфе и приступил к работе над реактивным авиадвигателем РД-10. Уже в 1947 году истребители Як-15 с этим двигателем приняли участие в воздушном параде в Тушино.

В 1949 году Н.Д. Кузнецов назначен главным конструктором опытного завода № 2 в поселке Управленческий в Самарской области. За 45 лет предприятие под руководством Кузнецова создало 57 модификаций авиационных, ракетных, наземных двигателей.

Благодаря тщательным расчетам и упорному труду команды Кузнецова родился НК-12, который по сей день является самым мощным турбовинтовым двигателем в мире и используется на стратегических самолётах Ту-95. Под руководством Кузнецова был создан НК-144 – двигатель, который вывел пассажирский самолёт Ту-144 на сверхзвуковую скорость. Двигатели НК-22, НК-25 и НК-32 и сегодня поднимают в небо самолёты Ту-22М3 и Ту-160.

«Нужно всегда браться за работу, которая позволяет сделать шаг вперед. Иначе мы будем плестись в хвосте. Нечего бояться трудностей, в их преодолении наша жизнь», – эти слова Николая Дмитриевича Кузнецова могли бы стать девизом всей его биографии.

Андрей Туполев



Крупнейший авиационный конструктор прошлого века, один из отцов-основателей современного самолётостроения Андрей Туполев спроектировал более 200 проектов гражданских и военных самолётов, торпедных катеров и аэросаней. Именно на его самолётах советские летчики Валерий Чкалов и Михаил Громов выполнили рекордные перелеты в Америку.

Однако в том же году, когда Чкалов и Громов совершили свой беспосадочный перелет через Северный полюс в США, начался самый тяжелый период в жизни Андрея Туполева.

В 1937 году его арестовали по ложному обвинению во вредительстве и шпионаже.

В заключении он, вместе с другими репрессированными авиаконструкторами, работал в специальном ЦКБ-29 НКВД, прозванном «Туполевской шарашкой». Там он создал знаменитые самолёты-бомбардировщики Ту-2, Ту-4, Ту-16. Всего на фронтах Великой Отечественной войны были задействованы более 10 типов самолётов и торпедных катеров Туполева. Это стало огромным вкладом в авиацию Красной Армии, приблизило нашу страну к Победе.

Как-то раз Андрею Туполеву предложили написать книгу о своей жизни. Он ответил: «Я не пишу, а делаю». А делал, создавал и работал он, несмотря на разные периоды своей жизни – и в тюрьме, и на воле, до последних своих дней, оставив после себя не только материальное наследие, но и духовное - плеяду талантливых авиаконструкторов и ученых, продолживших дело его жизни.

Зинаида Ермольева



В годы войны солдаты умирали даже не столько от ранений, сколько от последующего заражения крови. Неоценимый вклад в спасение жизней советских солдат внесла врач-новатор, выдающийся микробиолог, талантливый педагог Зинаида Ермольева. Она создала первый отечественный антибиотик – пенициллин. Благодаря препарату к концу войны почти не было ампутаций и заражений крови. Смертность раненых и больных с началом его широкого применения в Красной армии снизилась на 80 %.

Позже под руководством Ермольевой были созданы и внедрены в производство многие новые антибиотики. Их появление навсегда изменило медицину.

Младший брат первого мужа Ермольевой, писатель Вениамин Каверин блестяще описал ее особый вклад в науку: «Я не буду заниматься отвлеченными размышлениями о сходстве между литературой и наукой. И все же одну черту необходимо отметить, потому что она глубоко характерна для Вас. И наука, и литература — это творчество, в основе которого лежит неустанный кропотливый труд — труд, поглощающий все силы ума и сердца. Но среди учёных и среди людей искусства есть люди, которые работают, как бы прислушиваясь к какой-то затаенной радостной ноте, подобно тому, как музыкант, настраивая свой инструмент, прислушивается к камертону. Вы относитесь к этим счастливцам... Во всем, что Вы делаете, о чем думаете, звучит эта, то далекая, то еле слышная, но отчётливая чистая нота. Вот почему Вы сделали в науке так много!» Отметим, что Вениамин Каверин посвятил Зинаиде Ермольевой свой роман «Открытая книга». Читая семьсот страниц его произведения, задаешься вопросом – может ли быть что-то лучше, чем радость интеллектуального труда.

Игорь Курчатов



Основоположник советской атомной энергетики, человек-легенда Игорь Курчатов занимает особое место в науке XX века. Ему принадлежит исключительная роль в создании ядерного щита Родины во время Великой Отечественной войны.

«Я счастлив, что родился в России и посвятил свою жизнь атомной науке великой страны Советов. Делайте в своей работе, в жизни только самое главное», – говорил Игорь Курчатов, посвятивший всю свою жизнь служению науке.

Начавшаяся война вынудила учёных прекратить все исследования по ядерной физике.

Однако после получения данных о развёртывании американцами работ по созданию атомной бомбы 28 сентября 1942 года Сталин подписал распоряжение о возобновлении работ по урану. Это дата считается стартом советского ядерного проекта.

Игорь Курчатов был назначен научным руководителем работ по использованию атомной энергии и ответственным за создание атомной бомбы. В 1944 году под его руководством был сооружён циклотрон и первый в Европе атомный реактор, а уже в 1949 году на Семипалатинском полигоне была испытана первая советская атомная бомба «РДС-1». Через четыре года, в 1953 году, прошло успешное испытание первой в мире водородной бомбы. Невиданной сложности задача, стоявшая перед советской наукой, была решена под руководством Игоря Курчатова в короткий промежуток времени, в темпе, удивившем весь мир. Мы смогли доказать, что нашу страну не победить.

Пётр Капица

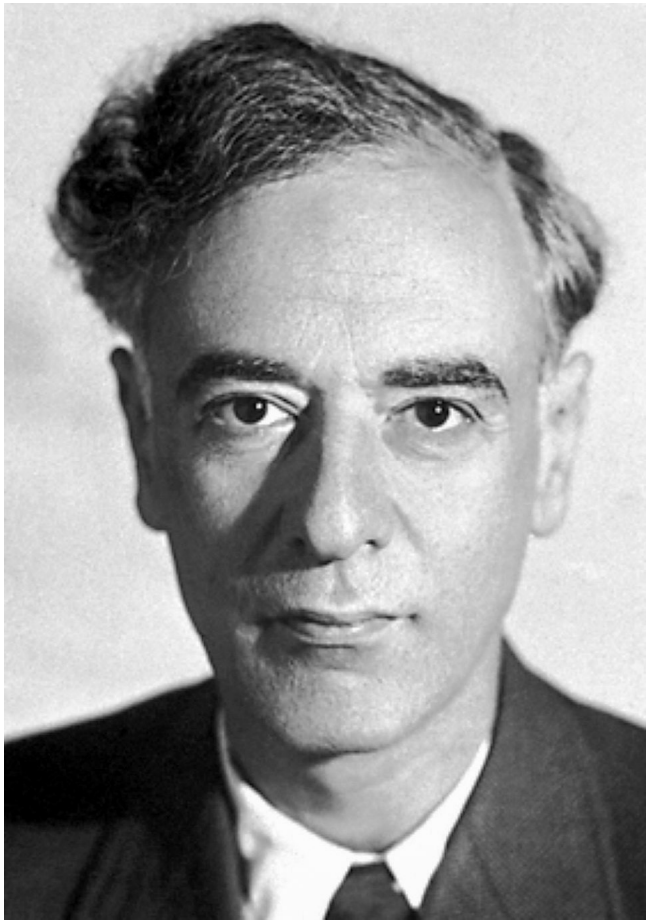


В годы Великой Отечественной войны великий учёный и инженер Пётр Капица создал турбинную установку для получения в больших масштабах необходимого промышленного жидкого кислорода для госпиталей и военных заводов. Это спасло жизнь сотням тысяч раненых. Незадолго до начала войны Пётр Капица совершил фундаментальное открытие – сверхтекучесть гелия. Суть его сводится к тому, что при переходе тепла от твёрдого тела к жидкому гелию на границе раздела возникает скачок температуры, получивший название скачок Капицы.

Величина этого скачка очень резко растет с понижением температуры.

Именно исследования сверхтекучести гелия и работы по созданию новых методов достижения низких температур помогли Петру Капице в тяжелейшие годы построить самую мощную в мире установку по промышленному производству жидкого кислорода. Пройдут десятки лет и в 1978 году Капица получит Нобелевскую премию по физике «за фундаментальные изобретения и открытия в области физики низких температур». Аплодисменты прозвучат в честь нового лауреата, члена многих академий мира, которому шёл тогда 85 год из отпущенных ему 90 лет жизни. А жизнь выдающегося физика была многокрасочна, извилиста и драматична. Он был не только гениальным экспериментатором, но и как отметил Лев Ландау, человеком, по поступкам которого можно было судить о его немалом мужестве, большой человечности и кристальной честности. Он всегда говорил, что думал, и делал, что считал нужным: вызволял ли из тюрьмы знаменитого Ландау, предотвращал ли исключение из академии наук Сахарова, боролся ли с лженаукой в лице Лысенко, спасая российскую генетику, конфликтовал ли с всесильным Берией, не раз обличая его в хамстве и невежестве.

Лев Ландау



«В огромном здании физики XX века для него не было запертых дверей», – говорили про Ландау, одного из самых ярких советских физиков. Квантовая механика, магнетизм, физика низких температур, физика атомного ядра, теория химических реакций – это далеко не все области, в которые внёс свой вклад академик Ландау. Он ни на минуту не сомневался в великих возможностях науки, ежедневно доказывая своими открытиями, что физика может объяснить любое увиденное в жизни явление.

Во время Великой Отечественной войны Лев Ландау разработал теорию движения квантовой жидкости.

За неё он впоследствии получил Нобелевскую премию. На этой теории, по сути, основана вся современная физика конденсированного состояния.

С 1943 года учёный вернулся к педагогической деятельности. Он стал преподавать на физико-техническом и физическом факультетах МГУ им. М.В. Ломоносова. Академик Ландау был не только великим учёным, но и великим учителем. Он создал в нашей стране школу теоретической физики. Среди его учеников – выдающиеся физики, сыгравшие важную роль в развитии науки.

Единственной ненаучной теорией Ландау была теория счастья. Он был уверен, что счастье не нужно искать где-то во внешнем мире, оно – в нас самих, в нашем отношении к жизни. По его мнению, для счастья необходимы три составляющие: работа, любовь и общение с людьми. Работу Ландау поставил на первое место. «Каждый имеет достаточно сил, чтобы достойно прожить жизнь, – говорил Ландау. – Все эти разговоры о том, какое сейчас трудное время, – просто хитроумный способ оправдать свое бездействие, лень и разные унылости. Работать надо, а там, глядишь, и времена изменятся. Ведь мы живем только один раз. Надо ловить каждый момент, каждую возможность сделать свою жизнь ярче и интереснее». Он так и прожил жизнь согласно своей формуле счастья.

Источники: Факультет журналистики МГУ имени М.В. Ломоносова (https://sciencemedialab.ru/news/19466), История ПАО «ОДК-Кузнецов» (https://uecrus.com/about/structure/pao-odk-kuznetsov/history/legendarnye-sotrudniki_ODK-Kuznezov)

Секция 1
Конструкция и проектирование
ракетно-космических систем

УДК 519.254

АНАЛИЗ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПО ДАННЫМ С ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ (ДУС)

© Белявская А.С., Советникова Е.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lsovetnikova04@bk.ru

Научный руководитель: Седельников А.В., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: датчик угловой скорости, анализ данных, ряд Котельникова, непрерывный сигнал, выбросы.

Угловая скорость является важнейшей эксплуатационной характеристикой малых космических аппаратов (МКА), поскольку именно от нее зависит поддержание требуемого пространственного положения спутника, необходимого для корректного функционирования целевой аппаратуры, в данном исследовании – гиперспектральных камер дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Без точного знания угловых скоростей невозможны передача достоверных сведений и проведение запланированных сеансов радиосвязи.

В работе анализируются компоненты вектора угловой скорости, значения которых получены с 4 датчиков угловой скорости, установленных на борту МКА HyperView-1G. По этим дискретным значениям проводится восстановление непрерывного сигнала с помощью ряда Котельникова [1]. Численное моделирование и построение графиков выполняется в Mathcad версии 15.

В ходе анализа были выделены временные отрезки в сеансах связи, внутри которых шаг измерений оставался практически неизменным. Далее получены графики восстановленных сигналов, по которым визуально определялись точки, значительно выбивающиеся из общей картины расположения точек на графике [2]. По результатам визуального анализа проведена оценка возможности удаления обнаруженных выбросов с целью минимизации ошибок последующей обработки и повышения общей точности проводимых расчетов [3].

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Проект FSSS-2023-0007).

Библиографический список

1. Басараб, М.А. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона: монография / М.А Басараб, Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.П. Яковлев; под общ. ред. В.Ф Кравченко. – М.: Радиотехника, 2004. – 72 с.

2. Седельников, А.В. Сравнение спектральных характеристик измеренного и восстановленного сигналов при оценке угловой скорости вращения опытного образца малого космического аппарата «Аист» с помощью данных о токе с панелей солнечных батарей / А.В. Седельников, Т.А. Ивашова, С.Л. Сафронов [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – № 2. – С. 1–8.

3. Carletta, S. Design and numerical validation of an algorithm for the detumbling and angular rate determination of a cubesat using only three-axis magnetometer data / S. Carletta, P. Teofilatto // Research article. – 2018. – P. 12.

УДК 629.78

ОРБИТАЛЬНЫЙ НАГРЕВ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© Вишневская В.Ю., Кауров И.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lera.sad00@mail.ru

Ключевые слова: орбитальный нагрев, космический аппарат, космическое пространство, тепловые нагрузки, солнечное излучение.

Орбитальный нагрев корпуса космического аппарата представляет собой процесс, при котором корпус подвергается воздействию тепловых нагрузок в условиях космического пространства. Это может привести к перепадам температур, которые могут вызвать деформацию корпуса и отказы оборудования. Одним из основных факторов является солнечное излучение. Спутник подвергается прямому тепловому потоку от Солнца на освещенном участке орбиты, в то время как на теневом участке этого потока нет [1].

Кроме того, важную роль в тепловом режиме космического аппарата играют материалы корпуса и их характеристики. Коэффициенты поглощения и излучения поверхности определяют, насколько эффективно аппарат поглощает солнечное излучение и отводит избыточное тепло в космическое пространство. Например, использование специальных покрытий с низким коэффициентом поглощения и высоким коэффициентом излучения позволяет снизить температурные перепады и минимизировать тепловые деформации конструкции. Это особенно важно для аппаратов, работающих на высоких орбитах, где перепады температур достигают экстремальных значений. Оптимизация теплового режима за счет выбора материалов и покрытий является ключевым аспектом при проектировании космических аппаратов для длительных миссий.

В работе проанализирован теплообмен космического аппарата, как обеспечивается тепловой режим космического аппарата [2]. Рассмотрены теплообмен космического аппарата с окружающим его пространства вне пределов атмосферы, влияние высоты орбиты на нагрев космического аппарата [3].

Смоделирована сборка корпуса космического аппарата. Приведены результаты исследования нагрева корпуса космического аппарата в зависимости от разных высот орбит и ее параметров. Рассмотрен нагрев корпуса космического аппарата в зависимости от высоты ее орбиты.

Можно сделать вывод: чем выше высота орбиты от поверхности Земли, тем больше перепад температур между сторонами, находящимися в тени, и сторонами, повернутыми к Солнцу. Также чем больше высота орбиты, тем меньше температура у сторон, находящихся в тени, температура сторон, повернутых к Солнцу, при этом изменяется мало.

Библиографический список

1. Салахутдинов, Г.М. Тепловая защита в космической технике / Г.М. Салахутдинов. – М.: Знание, 1982. –64 с.

2. Мучник, Г.Ф. Методы теории теплообмена. Ч. 2 / Г.Ф. Мучник, И.Б. Рубашов // Тепловое излучение. – М., 1974. – 272 с.

3. Цаплин, С.В. Теплообмен в космосе: учеб. пособие / С.В. Цаплин, С.А. Болычев, А.Е. Романов. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2018. – 92 с.: ил.

УДК 629.78

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ РАДИАТОРНОЙ ПАНЕЛИ

© Вязовик В.С., Кауров И.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: verotka.vyazovik@mail.ru

Ключевые слова: радиаторная панель, специальные покрытия, тепловые показатели, илучение Солнца, космический аппарат.

В течение всего времени эксплуатации космического аппарата рабочая температура каждого его элемента должна поддерживаться в заданном диапазоне, а также учитываться факторы функционирования и воздействия тепловых нагрузок в условиях космического пространства, такие как тепловое излучение Солнца, отраженное излучение от Земли, которые имеют широкий диапазон температур, переизлучение от элементов конструкции, тепловые нагрузки от работающей аппаратуры, а также стоит учитывать ориентацию космического аппарата – все эти факторы влияют на способность поверхности космического аппарата отражать и поглощать излучение. Из-за этого тепловая нагрузка будет иметь непостоянный характер [1].

В данной работе был проведен литературный обзор, в ходе которого были проанализированы данные по теории теплообмена. Были изучены виды теплопередачи и способы улучшения их эффективности, исследованы тепловые режимы. Исследована защита аппаратуры от теплового воздействия, в том числе различные способы защиты элементов от высокой температуры. Для улучшения эффективности излучательного метода теплопередачи необходимо изменение покрытия корпуса, которое должно быть заменено на покрытие на основе абсолютно черного тела. Абсолютно черное тело поглощает до 99 % падающего излучения [2].

В рамках исследования было произведено сравнение для трех покрытий, которые наносились на поверхность радиаторной пластины. Первое покрытие имело коэффициент черноты равный 0,7, второе – 0,85 (кварцевые стекла с напылением серебра), третье – 0,9 (черные краски). При сравнении данных покрытий выявлено, что при использовании покрытия с высоким коэффициентом черноты температура понижается значительнее, чем при применении покрытия с низким коэффициентом черноты. Разница составляла несколько градусов [3].

Библиографический список

1. Система обеспечения теплового режима космического аппарата. Расчет характеристик систем обеспечения теплового режима космических аппарата. – URL: https://vunivere.ru/work59556 (дата обращения: 21.05.2025).

2. Ларина, О.Е. Область применения тепловых труб в системе терморегулирования космического аппарата: магистерская диссертация: 27.04.03 / О.Е. Ларина. – Красноярск: СФУ, 2018. – 60 с.

3. Луми, А.Н. Определение эффективной теплопроводности сотопанели / А.Н. Луми. – Санкт-Петербуржский политехнический университет Петра Великого. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29671397_61469247.pdf (дата обращения: 21.05.2025).

УДК 621.452.32

КОСМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

© Горынина К.А., Сафронов С.Л.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: gorynina_03@mail.ru

Ключевые слова: космическое производство, модульная сборка, крупногабаритные конструкции, кристаллы, печать деталей, малогабаритные изделия.

Космическое производство – это процесс создания продукции в космическом пространстве, который использует особенности окружающей среды.

В работе обозначены основные направления данного производства, которые кратко перечислены ниже:

– модульная сборка;

– формирование крупногабаритных конструкций;

– выращивание кристаллов, синтезирование веществ;

– печать деталей;

– сборка малогабаритных изделий.

Также была рассмотрена история зарождения космического производства.

Далее в работе приведен анализ каждого из видов производства, а также их достоинства, недостатки и примеры реализации. С кратким содержанием этого анализа по каждому пункту можно ознакомиться ниже.

1. Модульная сборка на орбите – это способ сборки конструкции из более мелких составляющих в единое целое, модуль за модулем, прямо на орбите.

В работе представлены примеры станций, собранных посредством модульной сборки.

2. Формирование крупногабаритных конструкций – процесс развертывания крупногабаритной конструкции в космосе, то есть принятия ее конечного состояния для выполнения целевых задач.

К данному типу можно отнести развертывание панелей солнечных батарей, солнечного паруса, крупногабаритных антенн и т. д. прямо в космосе.

3. Печать деталей – это изготовление компонентов с помощью аддитивных технологий, в том числе трехмерной печати, непосредственно на орбите [1].

В работе представлены схемы разработок 80-х годов, основанные на печати деталей в космосе [2].

4. Выращивание кристаллов, синтезирование веществ – это процесс, в результате которого в условиях невесомости получают высококачественные кристаллы [3].

Однако в условиях невесомости выращивание кристаллов может оказаться неудачным из-за воздействия остаточных ускорений, вибрации механизмов и некоторых конвекционных явлений, которые незаметны в условиях земного притяжения.

Кристаллы, изготовленные из полупроводниковых материалов, зачастую производятся с помощью метода, который называется направленной кристаллизацией.

5. Сборка малогабаритных изделий.

Данное направление является довольно молодым и перспективным, так как в настоящее время активно разрабатываются и эксплуатируются малые космические аппараты для самых различных целей.

Сборка малых аппаратов на орбите позволит в первую очередь облегчить их массу и стоимость, так как не будет необходимости в прочной силовой конструкции для поддержания целостности аппарата при выходе из атмосферы.

Также автоматизированные технологии в космосе позволят ускорить процесс сборки и технического обслуживания, что продлит срок службы малого космического аппарата.

В работе можно ознакомиться с возможным вариантом реализации сборки малых аппаратов на примере полезной нагрузки ракеты-носителя, состоящей из блока выведения и системы сборки спутников, состоящей из унифицированных модулей будущих малых спутников и модуля сборки спутников. Далее представлен состав основного модуля станции (см. рисунок).

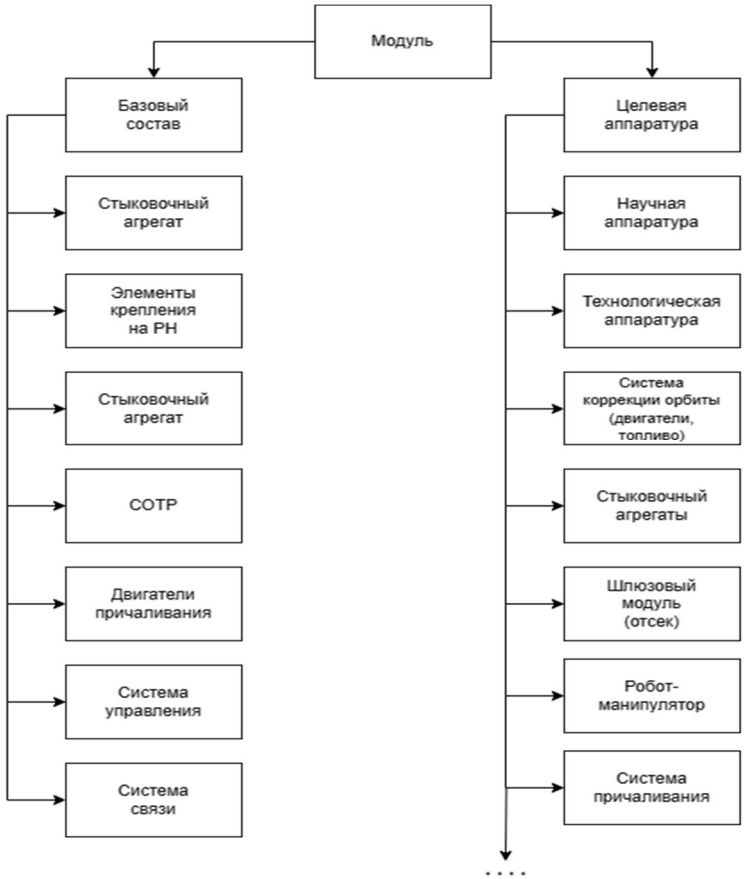


Рисунок – Состав основного модуля

Затем производится определение значений удельных массовых коэффициентов типового модуля, рассматриваются категории модулей по их назначению.

После чего приводится пример использования модели масс орбитальной станции с помощью массовых коэффициентов, определенных ранее, где вычисляются количество запусков и их примерная стоимость, необходимые для формирования орбитальной станции с заданными характеристиками. Анализ производится для ракета-носителей «Ангара-А5» и «Союз-5».

Библиографический список

1. Аддитивные технологии в космической отрасли: печать запчастей на орбите // Navimaks Group. – URL: https://navimaks3d.com/blog/additivnye-tekhnologii-v-kosmicheskoy-otrasli-pechat-zapchastey-na-orbite.

2. Кошелев, В.А. Строительство в космосе / В.А. Кошелев. – М.: Знание, 1984. – 59 с.

3. Новая космическая гонка за доступ к производству на орбите Земли // РБК Тренды. – URL: https://trends.rbc.ru/trends/innovation/65200a3d9a7947a83eaba621.

УДК 629.7.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПИКОСПУТНИКОВ

© Горячкина В.Е., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: 20032002good@gmail.com

Ключевые слова: пикоспутник, управление движением, испытания, момент силы трения.

Во время полета космического аппарата на орбите, необходимы системы, с помощью которых можно управлять его угловым движением. Системы управления движением (СУД) отрабатываются на специализированных стендах, которые имитируют полет спутника на орбите. Из-за конструкционных особенностей стендов испытаний может возникать трение в узлах подвеса или опоры. Кроме того, многие стенды, рассчитанные на наноспутники и более тяжелые аппараты, могут иметь собственный момент инерции, соизмеримый или превышающий соответствующие показатели у пикоспутников, например формата PocketQube или CubeSat 1U. В докладе описан предлагаемый стенд испытания СУД с малым моментом силы трения и моментом инерции [1; 2].

Целью работы являются разработка и экспериментальная отработка поворотной платформы стенда испытаний систем управления движением пикоспутников.

Рассматривалось два варианта реализации стенда: на струнном подвесе с подшипником, гидродинамическая платформа (ГДП). Был вычислен момент трения, который возникает в упорном подшипнике подвеса, и момент вязкого трения платформы о воду. В докладе приведен анализ зависимостей момента трения от массы аппарата для радиально-упорного, с цилиндрическими роликами, со сферическими роликами подшипников. Также приведен анализ зависимости момента трения от массы аппарата и момента трения от радиуса платформы. По результатам моделирования можно сделать вывод, что при использовании гидродинамической платформы момент трения будет на порядки ниже, чем у струнного подвеса с подшипником. На рисунке 1 приведены графики зависимости момента трения от массы испытываемого пикоспутника.

Платформа состоит из цилиндрического основания со съемными кольцами, с помощью которых можно регулировать грузоподъемность платформы; конической части для обеспечения устойчивости конструкции к наклону; стола для установки объекта испытаний; на столе нанесена разметка для измерения угловой скорости. 3D-модель стенда и фото прототипа, на котором проводились эксперименты, показаны на рисунке 2.

Для системы измерения угловой скорости использовался отражательный оптический датчик. В качестве электронного блока был использован бортовой компьютер конструктора пикоспутника MiniSat. Данные поступали на персональный компьютер через USB–UART-преобразователь. Разметка на столе наносилась с учетом размера минимального регистрируемого объекта, который может детектировать датчик. В докладе приведены обоснования параметров шкалы и алгоритмы определения угловой скорости платформы на основании срабатывания фотодетектора.

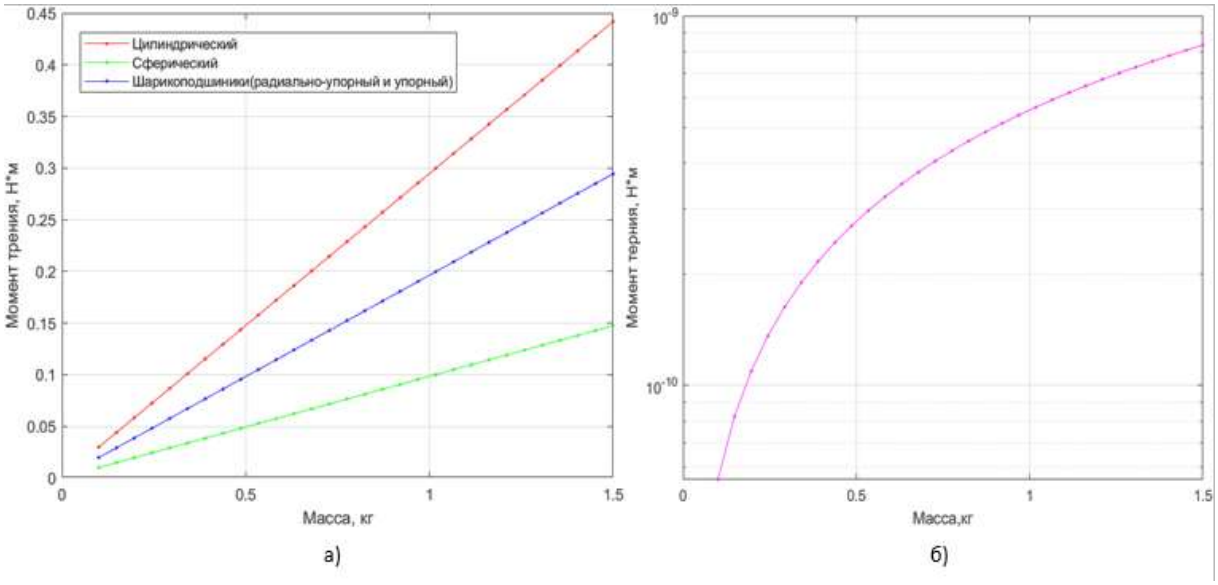


Рисунок 1 – Графики зависимости момента трения от массы испытываемого пикоспутника: а) зависимость момента трения от массы в подшипнике; б) зависимость момента трения от массы для ГДП; в) сравнение зависимостей момента трения для подшипника и ГДП



Рисунок 2 – а) трехмерная модель платформы; б) прототип платформы

На рисунке 3 показана схема подключения датчика к компьютеру.

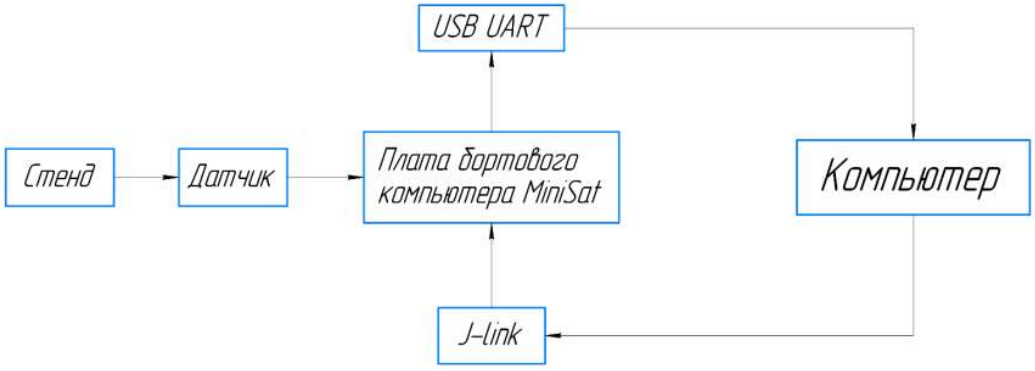


Рисунок 3 – Подключение датчика

В докладе представлены результаты экспериментальной отработки стенда. Было выявлено, что момент трения для экспериментальных значений выше, чем для теоретических. Но даже в этом случае его значение меньше, чем у подшипника для варианта с подвесом. Также в докладе представлены данные о зависимости момента трения от радиуса цилиндра для различных высот платформы уже с экспериментальными данными.

В результате работы изготовлена поворотная платформа стенда испытаний систем управления движением пикоспутников, проведена экспериментальная отработка платформы, выявлены особенности установки, позволяющие дальнейшую доработку, в частности доработку конструкции стенда для аппаратов с массой, превышающей 1,5 кг.

Библиографический список

1. Белоконов, И.В. Движение наноспутника относительно центра масс на околоземных орбитах / И.В. Белоконов, И.А, Тимбай. – М., 2020. – 128 с.

2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т.: Т. 2. Изд. 8 / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жесткова. – М., 2001. – 912 с.

УДК 539.422.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ

© Евтушенко М.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m.evtushenko.a@yandex.ru

Ключевые слова: слоистые композиты, критерии разрушения, направление нагружения, ANSYS.

В данной работе рассматриваются композиты с различными укладками однонаправленных слоев в условиях плоского напряженного состояния.

Для оценки прочности слоистых композитов обычно применяется структурно-феноменологическая модель [1]. Феноменологический подход используется для описания поведения однонаправленного монослоя, а структурный – для рассмотрения слоистого материала, составленного из разноориентированных монослоев [2].

К настоящему времени предложено множество разновидностей феноменологических критериев разрушения (прочности) для анизотропных материалов [3]. Наиболее популярными среди них являются критерий максимальных напряжений, а также квадратичные полиномиальные критерии, среди которых можно выделить критерий Цая-Ву [4; 5].

По характеристикам прочности однонаправленных (рисунок 1) и перекрестно армированных (рисунок 2) композитов были получены зависимости разрушающих напряжений растяжения и сдвига от направления нагружения в полярных координатах (точками на рисунках отмечены результаты, полученные в программе ANSYS).

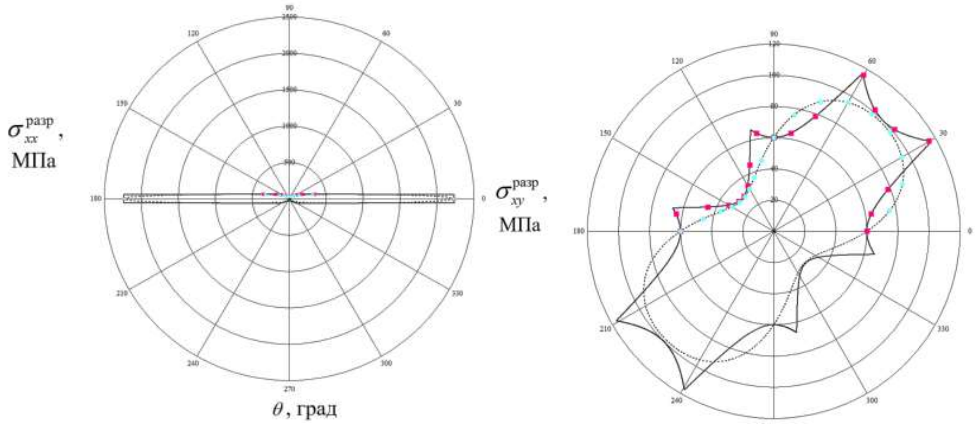


Рисунок 1 – Прочность однонаправленных углепластиков при: а) растяжении; б) сдвиге

Так, характеристики прочности слоистых композитов, рассчитанные с помощью разных критериев разрушения в зависимости от направления нагружения заметно отличаются друг от друга, особенно при сдвиге. При этом расчёты, выполненные с помощью программы ANSYS, подтверждают данные выводы.

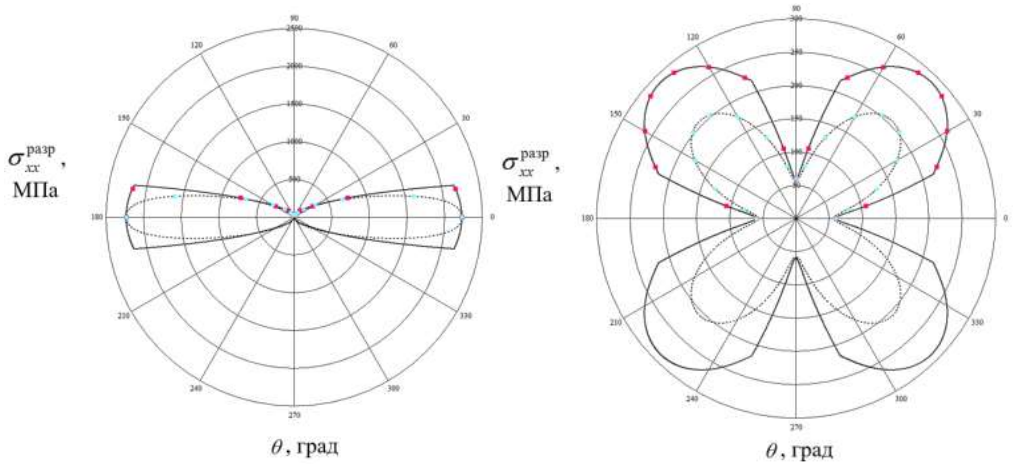


Рисунок 2 – Прочность перекрестно армированных углепластиков при: а) растяжении; б) сдвиге

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (номер проекта FSSS-2023-0007).

Библиографический список

1. Jones, R.M. Mechanics of Composite Materials / R.M. Jones // Taylor & Francis. – 2nd ed. – 1999. 538 p.

2. Фиалков, А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе / А.С. Фиалков – М.: Аспект Пресс, 1997. – 717 с.

3. Vinson, J.R. Strength and Failure Theories / J.R. Vinson, R.L. Sierakowski // Solid Mechanics And Its Applications. – 2008. – Vol. 105. – 457 p.

4. Jenkins, C.F. Report on materials of construction used in aircraft and aircraft engines / C.F. Jenkins // Great Britain Aeronautical Research Committee. – 1920. – 162 p.

5. Tsai, S.W. A General Theory of Strength for Anisotropic Materials / S.W. Tsai, E.M. Wu // Journal of Composite Materials. – 1971. – Vol. 5. – P. 58–80.

УДК 629.78.06

СОЗДАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НАНОКЛАССА

© Жалдыбина О.Д., Старостина Т.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: zhaldybina.od@ssau.ru

Научный руководитель: Сафронов С.Л., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: малый космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, радиолокационная аппаратура наблюдения, кубсат.

В настоящее время широкое распространение получили малые космические аппараты (МКА), направленные на решение задач дистанционного зондирования земной поверхности. Особую нишу занимают МКА, на борту которых располагаются оптико-электронная или радиолокационная целевые аппаратуры. Ключевым достоинством использования радиолокационной съёмочной аппаратуры является независимость от метеорологических условий, что позволяет вести съемку и в ночное время, и в условиях плотной облачности, характерной для таких регионов России, как Русская Арктика и Дальний Восток.

Применение МКА нанокласса (стандарт CubeSat) позволяет сократить сроки и снизить стоимость разработки малых космических аппаратов, благодаря использованию типовых элементов конструкции и компонентов бортовой аппаратуры.

Целью работы является создание радиолокационного малого космического аппарата нанокласса формата CubeSat 12U.

В рамках исследования решались следующие задачи:

– анализ основных характеристик космических аппаратов с радиолокаторами;

– формирование требований и постановка задачи проектирования МКА нанокласса;

– расчет целевых показателей радиолокационной аппаратуры высокого разрешения;

– определение состава и основных параметров приборов бортовых служебных систем;

– формирование проектного облика МКА типа CubeSat 12U.

В качестве целевой аппаратуры для МКА рассматривался радар с синтезированной апертурой с планарной антенной решеткой [1]. Основные проектные параметры аппаратуры наблюдения приведены в таблице.

На основе выполненных расчетов в программе твердотельного моделирования был спроектирован проектный облик МКА нанокласса формата CubeSat 12U [2], который представлен на рисунке.

В рамках работы рассматривался процесс создания проектного облика радиолокационного МКА нанокласса CubeSat формата 12U. Особенностью исследования является создание МКА массой до 25 кг и габаритами 200×200×300 мм, оснащенного радиолокационной съемочной аппаратурой.

Таблица – Основные проектные параметры радиолокационной аппаратуры

Характеристика	Детальный режим	Маршрутный режим
Длина антенны, м	1	
Ширина антенны, м	0,4	
Площадь АФАР, м^2	0,4	
Ширина луча по угломестной плоскости, град.	4,440	
Ширина луча по азимутальной плоскости, град.	1,776	
Коэффициент усиления антенны	5224	
Наклонная дальность, м	$7{,}071 \cdot 10^5$	
Размер апертуры, м	$1{,}846 \cdot 10^5$	$2{,}192 \cdot 10^4$
Время синтеза, с	24,291	2,884
Разрешение по азимуту/дальности, м	0,059	0,5

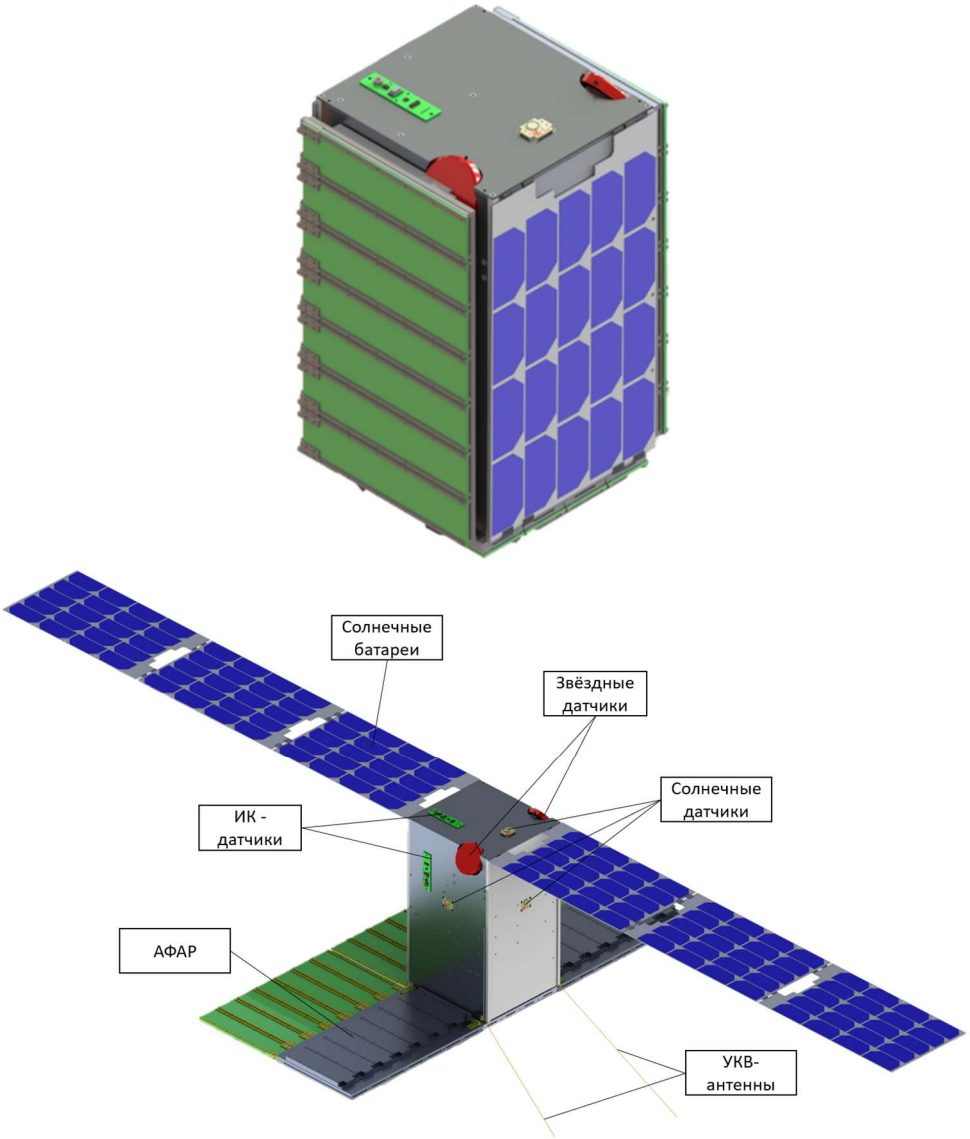


Рисунок – Проектный облик МКА нанокласса CubeSat 12U

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:
– проведен анализ существующих космических аппаратов радионаблюдения;
– сформированы требования к МКА;

– сформулирована математическая постановка задачи проектирования МКА нанокласса;

– проведен расчет целевых характеристик целевой аппаратуры;

– определен бортовой состав и основные параметры приборов обеспечивающих систем;

– разработана конструктивно-компоновочные схемы панелей МКА;

– построена трехмерная модель проектного облика МКА.

Библиографический список

1. Верба, В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.

2. Куренков, В.И. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли. Расчет основных характеристик и формирование проектного облика: учебное пособие / В.И. Куренков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 461 с.

УДК 629.7.018.4

ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРИНГЕРА ОТ ВЕЛИЧИНЫ РАДИУСНЫХ ПЕРЕХОДОВ

© Заляев Р.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: zalyaeffruslann@gmail.com

Ключевые слова: стрингер, радиус скругления, долговечность, сопротивление усталости.

В данной работе рассматривается алюминиевый перестыковочный стрингер хвостового отсека ракеты-носителя таврового сечения, воспринимающий циклическое нагружение в осевом направлении (рисунок 1). Подобные конструкции находят применение в сухих отсеках ракет и служат, в частности, для соединения панелей-секций в единый агрегат – сборочную единицу более высокого уровня [1].

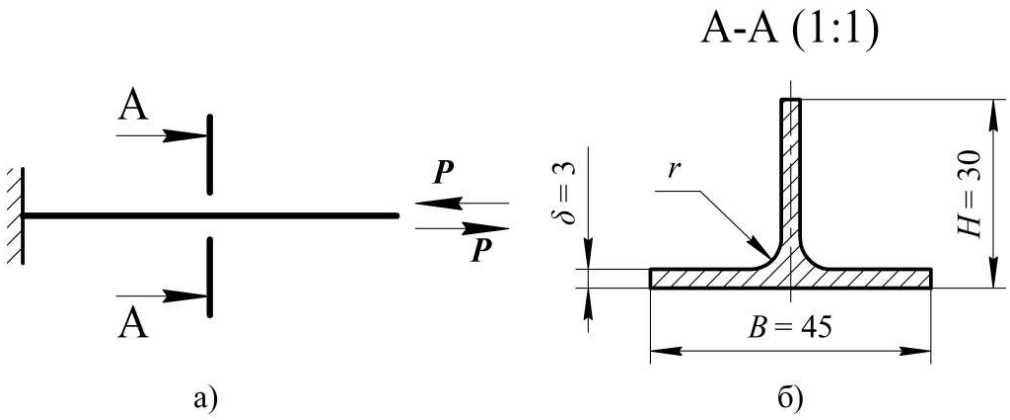


Рисунок 1 – Схема нагружения стрингера (а) и геометрия его поперечного сечения (б)

Цель работы – оценить влияние величины радиусного перехода на усталостную долговечность объекта исследования.

В качестве материала стрингера выбран профиль Д16чТ 420208×235 ОСТ1 90113-86. Испытания на выносливость моделировались в пакете SolidWorks Simulation [2] по симметричному циклу (рисунок 2).



Рисунок 2 – Конечно-элементная реализация закрепления и приложения нагрузок в пакете SolidWorks Simulation

Для оценки влияния величины радиуса скругления между горизонтальной и вертикальной полками стрингера на его долговечность осуществлtn переход к безразмерному параметру

$$\alpha = \frac{r}{\frac{H}{2} - \frac{\delta}{2}} = \frac{2r}{H - \delta},$$

само же влияние предложено количественно выразить коэффициентом

$$K_r = \frac{N(r)}{N(r=0)},$$

где N – число циклов нагружения до усталостного разрушения стрингера.

По результатам испытаний на выносливость (рисунок 3) выявлена следующая аппроксимирующая зависимость:

$$K_r(\alpha) = 0{,}4667\alpha^2 - 1{,}434\alpha + 1. \quad (1)$$

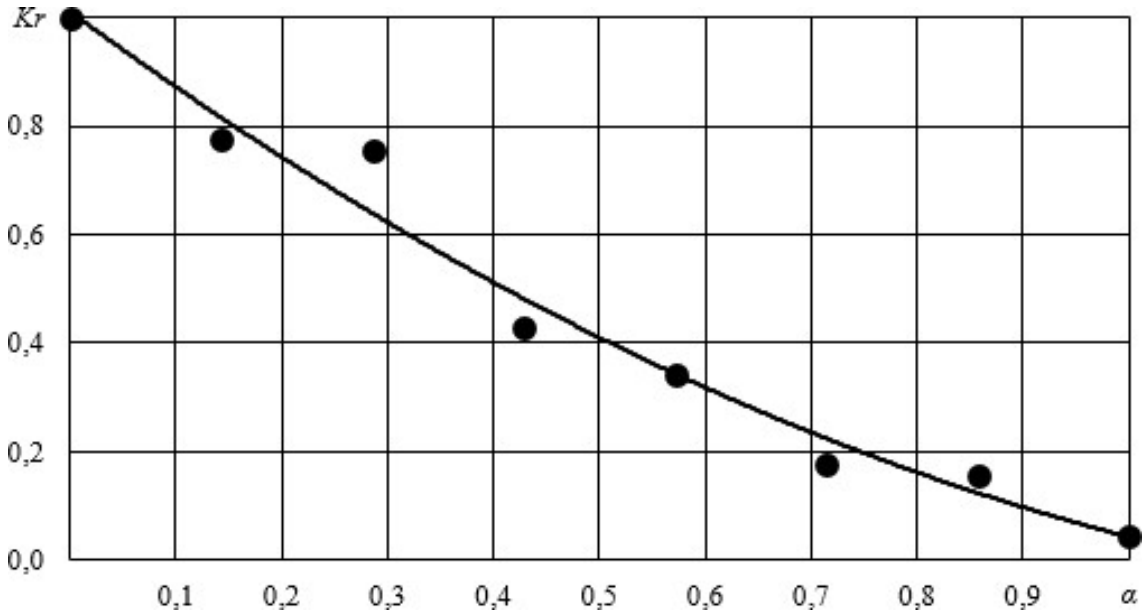


Рисунок 3 – Зависимость усталостной долговечности стрингера от величины радиуса скругления между полками

Полученная зависимость справедлива и для иных профильных металлоконструкций. Покажем это на примере источника [3]. В данной работе исследовалось усталостное нагружение секторов диска автомобильного колеса, изготовленного из литейного алюминиевого сплава А356Т6 (отечественный аналог – АК7пчТ6 ГОСТ 1583-93), по симметричному циклу.

Рассмотрим результаты исследования для равновеликих сечений 1 и 2 одной из секций (рисунок 4, относительные параметры α определялись как отношение радиуса скругления к половине ширины сечения): числа циклов до разрушения составили соответственно $N_1 = 3{,}8 \cdot 10^5$ и $N_2 = 3{,}6 \cdot 10^5$ [3].

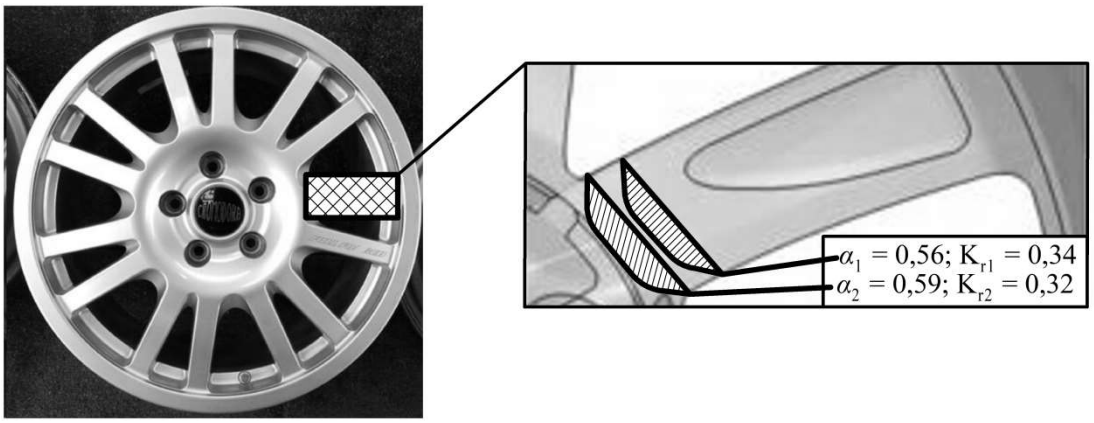


Рисунок 4 – Сечения для поверочного расчёта

Погрешность расчётов по зависимости (1) определим как

$$\Delta = \frac{K_{r1}}{K_{r2}} - \frac{N_1}{N_2} = \frac{0{,}34}{0{,}32} - \frac{3{,}8 \cdot 10^5}{3{,}6 \cdot 10^5} \approx 1{,}06\text{-}1{,}06 \approx 0.$$

Таким образом, полученная модель зависимости долговечности профиля от величины радиусов скругления (1) показала хорошую корреляцию с результатами натурных испытаний.

Библиографический список

1. Куренков, В.И. Основы проектирования ракет-носителей. Выбор основных характеристик и формирование конструктивного облика / В.И. Куренков. – Самара: СГАУ, 2015. – 448 с.

2. King, R.H. Finite Element Analysis with Solidworks Simulation / R.H. King // Cengage Learning. – 2018. – 432 p.

3. Tebaldini, M. Estimation of Fatigue Limit of a A356-T6 Automotive Wheel in Presence of Defects / M. Tebaldini, C. Petrogalli, G. Donzella, G. M. la Vecchia // Procedia Structural Integrity. – 2017. – Vol. 7. – P. 521–529.

УДК 621.814

УНИФИКАЦИЯ И МОДУЛЬНОСТЬ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Пономаренко Е.А.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: ponomarenko.ea@mail.ru

Научный руководитель: Бурунова В.Ю., преподаватель кафедры А1 «Ракетостроение»
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ключевые слова: унификация, модульность, модульность и унификация в ракетной технике.

Унификация и модульность – два важных принципа, определяющих эффективность, надежность и экономичность проектирования современных ракет и других летательных аппаратов (ЛА). Применение таких стратегий не только рационализирует этапы разработки и производства, но и значительно ускоряет внесение необходимых изменений и позволяет существенно продлить срок службы изделия, делая его более долговечным и адаптируемым к меняющимся требованиям.

Унификация предполагает использование идентичных или взаимозаменяемых компонентов, узлов, деталей и материалов в различных конструкциях летательных аппаратов, а также стандартизацию процессов производства и испытаний. Цель заключается в сокращении количества разрабатываемых типов элементов, оптимизации производственных затраты и упрощении обслуживания [1–3].

Основные преимущества унификации заключаются в значительном снижении затрат на производство и проектирование, что достигается за счет использования типовых технических решений и компонентов. Применение унифицированных элементов способствует повышению надежности изделий благодаря использованию уже проверенных компонентов и упрощенному обслуживанию.

К числу наиболее показательных примеров применения унификации в ракетной технике можно отнести:

– двигательные установки, такие как семейство двигателей РД-180;

– бортовые системы, включая применение унифицированных электронных блоков, датчиков, бортовых компьютеров и систем связи в различных типах летательных аппаратов;

– стандартизированные элементы конструкции (например, шпангоуты, нервюры, балки), а также материалы (сплавы алюминия, стали, титана);

– стандартные крепежные изделия, такие как винты, гайки, шпильки, заклепки, унифицированные по размеру и материалу.

Вместе с тем внедрение унификации сопряжено с рядом трудностей и ограничений. К ним относятся необходимость компромиссов, поскольку стандартизированные компоненты не всегда могут в полной мере соответствовать специфическим требованиям конкретных проектов, а внесение изменений в такие компоненты зачастую затруднено. Кроме того, первоначальные затраты на разработку унифицированных компонентов могут быть достаточно высокими. Еще одним существенным недостатком является возможная зависимость от ограниченного числа поставщиков стандартизированных компонентов.

Модульность заключается в разделении ЛА на функционально независимые и взаимозаменяемые модули (блоки, отсеки, агрегаты). Каждый модуль выполняет определенную функцию и имеет стандартизированные интерфейсы для взаимодействия с другими модулями. Цель – обеспечить гибкость, масштабируемость и возможность быстрого обновления ЛА.

Модульность обеспечивает высокую гибкость и адаптивность конструкции. Замена отдельных модулей позволяет оперативно изменять функциональность и характеристики летательного аппарата (ЛА) в соответствии с новыми задачами. Изменение размера и возможностей ЛА достигается простым добавлением или удалением модулей. Поскольку разработка и тестирование модулей проводятся независимо, снижается риск возникновения системных сбоев. Быстрая замена дефектного модуля обеспечивает локализацию неисправности и минимизацию времени простоя. Благодаря возможности параллельной разработки модулей значительно ускоряется процесс проектирования и производства. Модули, прошедшие испытания, могут быть повторно использованы в других летательных аппаратах, что снижает затраты и время на разработку новых систем. Наконец, модернизация летательного аппарата без полной замены конструкции становится возможной за счет замены устаревших модулей.

Примерами модульности могут служить такие объекты как:

– ракеты-носители, которые разделены по ступеням, каждая из которых представляет собой автономный модуль, выполняющий свою задачу;

– космические аппараты, которые часто имеют модульную архитектуру, состоящую из служебного модуля, целевого модуля (например, для связи или научных исследований) и адаптеров, соединяющих эти модули [4; 5].

Реализация модульного подхода, несмотря на очевидные преимущества, влечет за собой определенные технические сложности. В первую очередь это разработка унифицированных и надежных интерфейсов, обеспечивающих бесперебойную связь между модулями. Стремление к стандартизации компонентов для повышения взаимозаменяемости может привести к компромиссам в характеристиках, в частности к увеличению массы и габаритов летательного аппарата. Наконец, серьезной проблемой является обеспечение совместимости между модулями, разработанными разными производителями, что требует жестких стандартов и может ограничить выбор поставщиков, создавая зависимость от определенного круга компаний.

Библиографический список

1. ГОСТ 23945.0-80 «Унификация изделий. Основные положения».

2. ЖРД РД-180. – URL: http://www.lpre.de/energomash/RD-180 (дата обращения: 27.05.2025)/

3. Ноженкова, Л.Ф. Компоненты унификации модели бортовой аппаратуры космического аппарата / К.А. Ноженкова, О.С. Исаева, Е.А. Грузенко, А.И. Белорусов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11-2. – С. 284–288.

4. Проектирование ракеты-носителя российской разработки. – URL: https:// topwar.ru/222977-perspektivnye-rakety-nositeli-rossijskoj-razrabotki.html (дата обращения: 27.05.2025)

5. Унифицированные платформы космических аппаратов зарубежных государств. – URL: https://www.vesvks.ru/vks/article/unificirovannye-platformy-kosmicheskih-apparatov-z-16674 (дата обращения: 27.05.2025).

УДК 539.41

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ ТОПЛИВНОГО БАКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

© Советникова Е.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lsovetnikova04@bk.ru

Научный руководитель: Пересыпкин К.В., канд. техн. наук, старший преподаватель
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: метод конечных элементов, топливный бак ракеты-носителя, линейный статический расчет, нелинейный статический расчет.

С точки зрения расчета на прочность баки являются тонкостенными оболочками. Традиционно силовая работа топливных баков моделируется с помощью безмоментной теории осесимметричных оболочек [1], на основании которой определяются напряжения в большей части оболочки. В местах резкого изменения формы (стык днища с обечайкой) безмоментная теория неприменима из-за того, что деформации разных частей оболочки могут получиться несовместными. При использовании пластичных материалов различий в напряжениях, найденных по безмоментной теории и моментной теории, практически нет [2].

В данной работе рассматривается ракетный бак из пластического материала (алюминиевого сплава), который нагружен корпусными нагрузками в составе корпуса ракеты-носителя, давлением наддува и гидростатическим давлением.

По безмоментной теории подбираются толщины днищ и обечайки. Силовая работа бака моделируется методом конечных элементов в среде NX Nastran [3]. Проводятся расчеты напряженно-деформированного состояния бака в линейной и нелинейной постановке. Расчет в нелинейной постановке проводится как с учетом только влияния больших деформаций на свойства конструкции, так и с учетом влияния и больших деформаций, и пластичности в материале. Таким образом, расчеты отличаются друг от друга числом учитываемых аспектов силовой работы конструкции: в первом расчете учитываются лишь упругие свойства, во втором добавляется влияние деформаций на геометрическую форму конструкции, а в третьем – учет пластичности в материале.

Результаты этих расчетов сравниваются. Показывается, насколько изменяются деформации оболочки при учете разных аспектов ее силовой работы. Отмечается, что напряжения, полученные в конечно-элементном расчете при учете и больших деформаций, и пластичности близки к напряжениям, найденным по безмоментной теории.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Проект FSSS-2023-0007).

Библиографический список

1. Леонов, В.И. Строительная механика элементов конструкции летательных аппаратов в виде оболочек вращения: учебное пособие / В.И. Леонов. – Куйбышев: КуАИ, 1987. – 88 с.

2. Глушков, С.В. Прочность ракетно-космической техники: курс лекций / С.В. Глушков. – Самара: Самарский университет, 2024. – 29 с.

3. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran / С.П. Рычков. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.

УДК 629.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЯ МИКРОУСКОРЕНИЙ НА БОРТУ МКА ТН НА КАЧЕСТВО МОНОКРИСТАЛЛА

© Танеева А.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: taneeva.as@yandex.ru

Ключевые слова: монокристалл, малый космический аппарат технологического назначения, поле микроускорений.

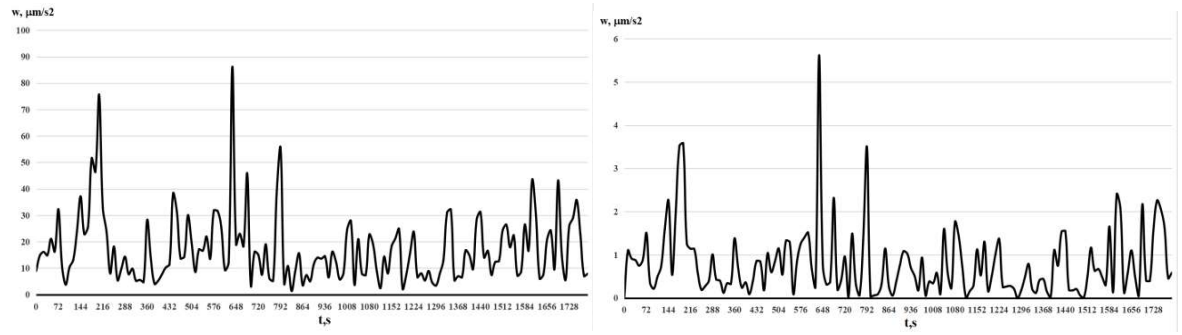
В данной работе рассматривается влияние поля микроускорений на качество материалов, полученных в космических условиях на борту малого космического аппарата технологического назначения.

Требования по микроускорениям являются важнейшими для успешной реализации экспериментов на борту космического аппарата технологического назначения [1]. Одним из возможных путей преодоления трудностей по обеспечению необходимого уровня микроускорений является использование микрогравитационной платформы для изоляции технологического оборудования [2].

В настоящее время существуют механические, поворотные, магнитные и комбинированные микрогравитационные платформы [3]. В работе рассматривается малый космический аппарат технологического назначения с автоматической поворотной виброзащитной платформой. Ее использование позволяет направлять фронт рост кристалла по вектору микроускорений, по оставшимся двум осям микроускорения необходимо снижать. Это связано с тем, что движения конвективного типа вызывают захват примеси при направленной кристаллизации. Во внутренней среде малого космического аппарата такие движения вызывает само поле микроускорений [4].

Поэтому оценка микроускорений в зоне технологического оборудования является показателем качества при направленной кристаллизации.

На рисунке *а* показан модуль микроускорений, рассчитанный в соответствие с моделью, представленной в [5] по измерениям угловой скорости малого космического аппарата без использования микрогравитационной платформы. На рисунке *б* показан модуль микроускорений при использовании платформы.



а) *б)*

Рисунок – Модуль микроускорений в точке М внутренней среды малого космического аппарата типа «Аист»: а) без использования поворотной платформы; б) при использовании платформы

Так, благодаря применению поворотной платформы становится возможным более, чем на порядок снизить микроускорения в зоне размещения технологического оборудования. Такой подход существенно улучшает качество монокристаллов, выращенных на борту МКА ТН.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (номер проекта FSSS-2023-0007).

Библиографический список

1. Taneeva, A.S. Analysis of the requirements for microaccelerations and the design appearance of a small spacecraft for technological purposes / A.S. Taneeva // E3S Web of Conferences. – 2023. – № 458(2).– P. 03006.

2. Qian, Y. Development of Active Microvibration Isolation System for Precision Space Payload / Y. Qian, Y. Xie, J. Jia, L. Zhang // Applied Science. – 2022. – № 12(9). – P. 45–48.

3. Wang, A. Dynamic Modeling and Control for a Double-State Microgravity Vibration Isolation System / A. Wang, S. Wang, H. Xia, G. Ma // Microgravity Science and Technology. – 2023. – № 35(1).– P. 9.

4. Polezhaev, V.I. Conjugate Problems of Transport Phenomena under Quasi-steady Microaccelerations in Realistic Spaceflight / V.I. Polezhaev, S.A. Nikitin // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2009. – № 1161 (1).– P. 570–583.

5. Sedelnikov, A.V. Estimation of the microaccelerations on an automatic rotary vibration isolation device / A.V. Sedelnikov, A.S. Taneeva, L.A. Manukyan // Space: Science & Technology. – 2025.

УДК 629.78.01

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© Учеватов В.И.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: uchevatovvi@gmail.com

Научный руководитель: Кольга В.В., д-р пед. наук, профессор
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

Ключевые слова: космический аппарат, спутник связи, полезная нагрузка, оптимизация массы.

Основной частью космических аппаратов (КА) является их полезная нагрузка (ПН), которая занимает от 20 до 30 % всей массы КА, а остальное – системы, необходимые для поддержания работоспособности и стабильного функционирования аппаратуры ПН. Тенденции развития космической техники движутся в направлении снижения массы обеспечивающих систем с целью увеличения устанавливаемой ПН, производительность и характеристики которой также улучшаются с течением времени. Большой вклад в снижение массы привнес переход на негерметичное исполнение корпуса, использование алюминиевых панелей с сотовым заполнителем, применение композиционных материалов, а также создание системы коррекции на базе электрореактивных двигателей (ЭРД). В свою очередь, для работоспособности ПН требуется наличие системы электропитания, способная выдавать требуемую мощность, а для того, чтобы не допустить перегрева оборудования требуется такая система терморегулирования, которая будет способна эффективно отвести тепло в условиях вакуума.

Инновационным решением, которое позволило увеличить количество устанавливаемой ПН, является довыведение с геопереходной орбиты на геостационарную при помощи ЭРД. При таком способе КА доставляется на высокоэллиптическую орбиту средствами выведения, а после отстыковки осуществляется формирование целевой орбиты при помощи собственных ЭРД [1]. Удельный импульс ЭРД значительно выше, чем у жидкостных, благодаря чему расходуется меньше топлива, но время поставки КА в точку стояния увеличивается из-за их низкого значения тяги. Использование такого способа позволило исключить объемную апогейную жидкостную двигательную установку из состава КА в пользу большего количества ПН. Довыведение стало более актуальным в последние годы и активно используется разработчиками спутников [2].

Большинство спутников имеет несущую конструкцию, представленную трубой в центре, вокруг которой монтируются силовые панели. Такая конструктивно-компоновочная схема имеет высокую прочность и удобна для установки больших емкостей с топливом. Однако с появлением довыведения актуальность в больших баках с жидким топливом пропадает, и внутри КА появляется много свободного пространства, которое не задействовано для установки оборудования. Данный недостаток может быть нивелирован при использовании в качестве силовой конструкции сотовых панелей,

скрепленных лонжеронами [3] или совокупности ферменной конструкции и сотовых панелей [4, с. 11]. Баки с топливом в таком случае располагаются не в центре, а вокруг центральной оси в количестве нескольких штук. Благодаря такой схеме можно повысить плотность компоновки оборудования и увеличить его количество.

На КА задачи по перемещению центра масс (ЦМ) в пространстве выполняются при помощи ЭРД, а для изменения положения вокруг ЦМ в основном выполняются при помощи однокомпонентных жидкостных двигателей. Несмотря на их тягу и высокую надежность, жидкий компонент имеет большую массу в сравнении с ксеноном и неравномерно распределяется в баках. В процессе его израсходования ЦМ может сместиться, и стационарно закрепленные ЭРД при маневрах коррекции могут создавать возмущающие угловые перемещения. Для решения этих задач были разработаны поворотные платформы для изменения направления вектора тяги двигателей и компенсирования ухода ЦМ, которые применяются и в настоящее время [5]. Такие платформы в дальнейшем получили развитие в качестве устройств для выполнения маневров коррекции, ориентации и довыведения [6]. Благодаря таким устройствам можно полностью исключить жидкие компоненты из состава КА и оптимизировать соотношение массы ПН к общей массе КА.

С каждым годом эффективность и энергопотребление бортового оборудования растут, а для обеспечения их работы требуется повысить выдаваемую мощность системы электропитания. Обеспечить энергетический баланс можно повышением суммарной площади солнечных батарей. Наиболее простым способом является повышение количества секций у батарей панельного типа, однако в настоящее время ведутся разработки по созданию солнечных батарей гибкого и веерного типов [7]. Батареи данных типов занимают меньший объем в сложенном состоянии и выдают больше мощности.

С ростом энергопотребления растет и тепловыделения бортовой аппаратуры. На КА тепло отводится при помощи встроенных в панели тепловых труб, которые отбирают тепло у приборов, а затем излучают его в космическое пространство. Размещение дополнительных раскрываемых радиаторов [8] позволяет увеличить эффективность системы терморегулирования и исключить перегрев оборудования и снизить температурные деформации конструкции КА.

Проведенный анализ тенденций развития КА показывает, что приведенные технические решения позволяют установить значительно больше ПН при неизменной или сниженной общей массе КА. Данные решения могут быть реализованы на последующих спутниках.

Библиографический список

1. Патент № 2619486 C2 Российская Федерация, МПК B64G 1/26. Способ выведения космического аппарата на геостационарную орбиту с помощью электрореактивных двигателей: № 2015133049: заявл. 07.08.2015: опубл. 16.05.2017 / А.А. Внуков, В.А. Кириллов, А.В. Яковлев [и др.].

2. Особенности довыведения космических аппаратов «Экспресс-АМУ3», «Экспресс-АМУ7» на геостационарную орбиту / Ю.М. Ермошкин, А.А. Внуков, Д.В. Волков [и др.] // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 696–707. – DOI: 10.31772/2712-8970-2022-23-4-696-707.

3. Патент № 231175 U1 Российская Федерация, МПК B64G 1/10. Космическая платформа для геостационарных космических аппаратов: № 2024129548: заявл. 02.10.2024: опубл. 14.01.2025 / Д.Н. Севастьянов, А.В. Яковлев, О.Н. Долгов [и др.].

4. Zhicheng, Z. Development and Recognition of DFH-4 Series Bus Satellites Marketing / Zhou Zhicheng, Tian Ye, Yu Hui // Aerospace China. – 2017. – Vol. 18, no. 1.

5. Thrust Pointing Adjustment of Electric Propulsion System / Zongliang Li, Jingchao Zhao, Zheng Peng [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – DOI: 10.1088/1742-6596/2569/1/012021.

6. Performance and Evolution of Stationary Plasma Thruster Electric Propulsion for Large Communications Satellites / R.L. Corey, N. Gascon, J.J. Delgado [et al.] // 28th AIAA International Communications Satellite Systems Conference. – Anahelm, 2010. – DOI: 10.2514/6.2010-8688.

7. Recent Advances in Space-Deployable Structures in China / X. Ma, T. Li, J. Ma [et al.] // Engineering. – 2022. – Vol. 17. – P. 207–219.

8. Design and application of deployable heat radiator / J. Li, Q. Zhao, H. Zheng [et al.] // International Conference on Aerospace and Mechanics. – 2024. – DOI: 10.1088/1742-6596/2882/1/012008.

УДК 629.7.021

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА

© Шилохвостова К.В., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kseniashilohvostova@yandex.ru

Ключевые слова: атмосферный аппарат, конструкция, Солнце, ракета.

В рамках чемпионата «Воздушно-инженерная школа» студенческие и школьные инженерные команды разрабатывают и запускают атмосферные аппараты на небольших ракетах. Одним из таких аппаратов стал аппарат для исследования Солнца. Для его создания потребовалась разработка конструкции.

Целью работы является разработка конструкции аппарата, удовлетворяющей требованиям чемпионата и обеспечивающей требуемые функциональные возможности и характеристики аппарата. Кроме того, необходимо разработать компоновку бортовых систем, обеспечить их защиту от внешних воздействий и перегрузок.

Ограничения, установленные чемпионатом:

1) Масса – не более 1,5 кг;

2) Высота – не более 220 мм;

3) Диаметр – не более 84 мм.

В ходе работы была разработана компоновка аппарата, включающая в себя бортовые системы и узлы механизмов. Затем была разработана 3D-модель конструкции аппарата, включающая в себя все узлы, детали и соединения. Сечение этой модели показано на рисунке 1.

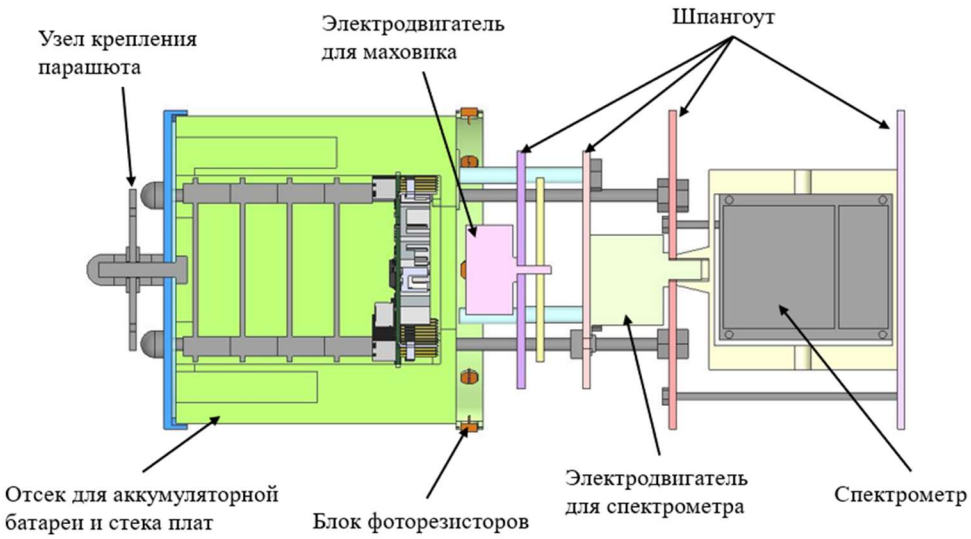


Рисунок 1 – 3D-модель разработанной конструкции аппарата

Конструкция аппарата состоит из четырёх основных блоков:

1) Узел крепления парашюта – обеспечивает надежное крепление парашюта с возможностью вращения;

2) Отсек для стека плат – обеспечивает защиту бортовой электроники и аккумуляторной батареи от механических повреждений при приземлении;

3) Маховик – стабилизирует положение продольной оси аппарата во время полета;

4) Спектрометр – производит исследование спектра Солнца.

Большинство деталей конструкции (кроме крепежа) были изготовлены в рамках данной работы с использованием различных технологических процессов. Так методом фрезеровки были изготовлены 4 шпангоута. Они служат для обеспечения конструктивной прочности, а также для крепления электродвигателей и оптопар. В качестве материала была выбрана стеклотекстолитовая пластина. Благодаря своей структуре она обладает значительно большей прочностью на изгиб, легкостью и устойчивостью перед высокими температурами, чем распространенные пластики для 3D-печати [1].

В конструкции присутствуют детали, такие как кольцо для фоторезисторов, рама, корпус для камеры и АКБ спектрометра и отсек для стека плат и АКБ, для изготовления которых была применена технология 3D-печати. Использовался PLA пластик.

Для защиты от внешних воздействий бортовой электроники аппарат закрывается накладками из листового полиэтилена.

Внешний вид аппарата в сборе без внешних накладок и спектрометра представлен на рисунке 2.

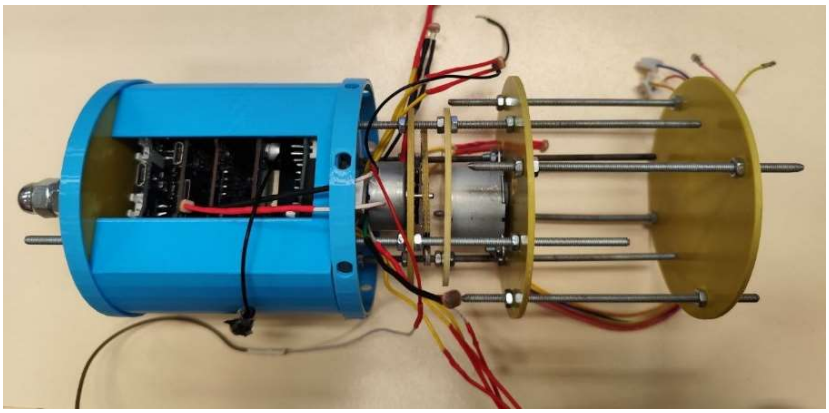


Рисунок 2 – Аппарат в сборе без внешних накладок и спектрометра

Характеристики аппарата в сборе: масса 590 г, высота 213 мм, диаметр 83 мм.

Были проведены испытания на продольную нагрузку на растяжение аппарата, путём подвешивания груза массой 10 кг к нижней части аппарата, что симулирует перегрузку порядка 18 g. В результате выявлено, что прочности конструкции достаточно для ожидаемых перегрузок.

Таким образом, в рамках данной работы была разработана конструкция атмосферного аппарата для исследования Солнца. Разработан и изготовлен ряд деталей, проведены прочностные испытания. Атмосферный аппарат с разработанной и изготовленной конструкцией будет запущен в рамках чемпионата «Воздушно-инженерная школа».

Библиографический список

1. Конструкция зонда школьного чемпионата CanSat // XV Королевские чтения: междунар. молодеж. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова. – 2019. – Т. 1. – С. 49 (дата обращения: 08.06.2025).

УДК 629.764

ЛЁТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАКЕТЫ С АКТИВНОЙ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКОЙ

© Яковлева П.С., Ануфриев Г.А., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: polina.ya03@yandex.ru

Ключевые слова: экспериментальная ракета, летные испытания, активная полезная нагрузка.

Активное развитие ракетно-космической области требует постоянного притока молодых, активных специалистов, способных решать в том числе нестандартные задачи. Большую роль в подготовке таких кадров играет участие в различных студенческих научных работ и конкурсах ракетно-космического направления [1]. И одним из вариантов проектов в данной области является разработка экспериментальных ракет с необычными миссиями.

В данной работе представлены результаты разработки и летных испытаний экспериментальной ракеты на твердотопливном двигателе – основной ракеты. Бортовая электроника основной ракеты сделана на основе конструктора пикоспутников MiniSat [2]. Активная полезная нагрузка основной ракеты включает в себя миниатюрную ракету с собственной электроникой на основе конструктора миниатюрных ракет MiniRocket и твердотопливного двигателя с системой детектирования выхода из основной ракеты и поджига собственного двигателя.

Для обеспечения безопасности полёта был разработан специальный алгоритм определения возможности запуска миниатюрной ракеты и последующего поджига её двигателя с трехфакторной проверкой допустимости инициации работы двигателя и двухфакторной проверкой на возможность выброса миниатюрной ракеты из отсека большой, которые позволяли производить запуск активной полезной нагрузки только при полностью безопасных условиях. В противном случае инициировалась работа системы спасения и ракета спускалась на парашюте вниз.

Летные испытания проводились во Владимирской области в рамках чемпионата Воздушно-инженерной школы. Во время полёта произошёл выпуск маленькой ракеты, но из-за большого угла наклона корпуса после выхода из отсека, не были соблюдены все критерии безопасности и поджиг двигателя не совершился. Все данные телеметрии двух ракет были обработаны и проанализированы на предмет корректности работы всех систем. Полученные графики представлены в докладе.

Таким образом, в рамках работы была создана экспериментальная твердотопливная ракета с активной полезной нагрузкой и проведены её лётные испытания. Необычность миссии позволила привлечь студентов в ракетомоделизм и получить ценные практические навыки.

Библиографический список

1. Яковлева, П.С. Проектирование экспериментальной ракеты с нестандартными стабилизаторами / П.С. Яковлева, А.А. Кумарин // Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием, посвящённой 35-летию со дня первого полета МТКС “Энергия – Буран”: в 2 т. – Самара, 2023. – Т. 1. – С. 50–51.

2. Яковлева, П.С. Разработка экспериментальной ракеты для вывода малых ракет и атмосферных спутников на высоту свыше 400 метров / П.С. Яковлева, Г.А. Ануфриев, А.А. Кумарин // Труды XVI общероссийской молодёжной научно-технической конференции, приуроченной к 90-летию Юрия Алексеевича Гагарина, летчика-космонавта СССР, Героя Советского Союза, первого человека, отправившегося в космическое пространство: в 4 т. – СПб., 2024. – Т. 1. – С. 220–224.

Секция 2
Перспективные материалы и технологии
изготовления изделий ракетно-космической техники

УДК 658.5.012.1

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

© Алексеев А.В., Тимонин Ю.А., Горшков А.В., Шульга А.С., Жуков В.В.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Shulga.AS@samspace.ru

Ключевые слова: реверс-инжиниринг, химический анализ материалов, испытания материалов, испытания на малоцикловую усталость, технологическая независимость, аддитивные технологии.

В данной работе рассмотрены вопросы изготовления деталей и составных частей испытательного и производственного оборудования иностранного производства в условиях действия антироссийских санкций.

В процессе разработки, опытной отработки и изготовлении изделий ракетно-космической и авиационной техники задействовано значительное количество производственного и испытательного оборудования: всевозможное станочное оборудования с различной степенью автоматизации, уникальные испытательные стенды и установки для проведения механических, климатических, термовакуумных и специальных испытаний. На сегодняшний день, в условиях действия антироссийских санкций, крайне остро встает вопрос о ремонте высокотехнологичного оборудования, в особенности, оборудования иностранного производства. В процессе эксплуатации данного оборудования происходит его естественный износ, а также, при интенсивных режимах работы, возможны аварийные выходы из строя его деталей и узлов. Долгосрочная эффективная эксплуатация рассматриваемого оборудования не представляется возможной без своевременного технического обслуживания, планово-предупредительного, а также аварийного ремонта. При этом эксплуатирующей организации необходимо иметь соответствующий запас ремонтных деталей и узлов. В условиях действия антироссийских санкций такая возможность сильно осложнена. При обеспечении непрерывности производственного цикла, возникает острая необходимость в своевременной поставке ремонтных деталей и узлов для иностранного оборудования, что на сегодняшний день связано с значительными временными потерями или вовсе не представляется возможным. В таких случаях, для обеспечения технологической независимости, крупные научно-производственные отечественные организации, одной из которых является АО «РКЦ «Прогресс», за собственные средства начинают решать стратегические задачи исследования, проектирования и изготовления необходимых деталей и узлов своими силами.

Учитывая, что зачастую на детали и узлы для оборудования иностранного производства отсутствует конструкторская документация, а также информация по применяемым материалам, для их изготовления собственными силами решаются следующие задачи:

– реверс-инжиниринг (определение геометрии деталей с учетом имеющегося износа);

– определение материалов (химический, спектральный и др. виды анализа);

– поиск и отработка материалов отечественного производства;

– разработка конструкторской документации на вновь изготавливаемые детали и узлы;

– разработка технологической документации для изготовления новых деталей и узлов, в том числе с применением CAD/CAE/CAM-подходов и аддитивных технологий.

В данном докладе представлены некоторые примеры разработки и изготовления элементов высокотехнологического оборудования, реализуемые в АО «РКЦ «Прогресс»:

– подвижные электродинамические катушки;

– гидростатические подшипники;

– детали и сборочные единицы оборудования.

Подвижная электродинамическая катушка (ПЭДК) с водяным охлаждением (рис. 1) испытывает при эксплуатации высокие механические нагрузки, носящие знакопеременный, циклический характер, в сочетании с температурными воздействиями. В процессе длительной интенсивной эксплуатации (более 10 лет) происходит износ и разрушение данного ответственного узла. Для определения геометрических параметров был выполнен необходимый реверс-инжиниринг данного узла:

– произведены измерения координат точек на поверхности ПЭДК (рис. 2) с применением передовых лазерных координатно-измерительных систем;

– выполнена обработка полученных результатов и определены фактические размеры;

– построена CAD-модель на основе результатов в ПО.



Рисунок 1 – Подвижная электродинамическая катушка



Рисунок 2 – Облако точек подвижной электро-динамической катушки



Рисунок 3 – Отработка образцов ПЭДК

Для определения материалов ПЭДК был проведен химический и спектральный анализ. Исходя из условий эксплуатации данного узла, подобраны и испытаны соответствующие композиции компаундов, стеклоткани, трубки охлаждающей, перфорированных листов из нержавеющей стали и др. На рисунке 3 представлены испытания образцов ПЭДК на малоцикловую усталость в условиях температурных воздействий. На сегодняшний день изготовлены опытные образцы ПЭДК, в настоящее время проходящие отработку.

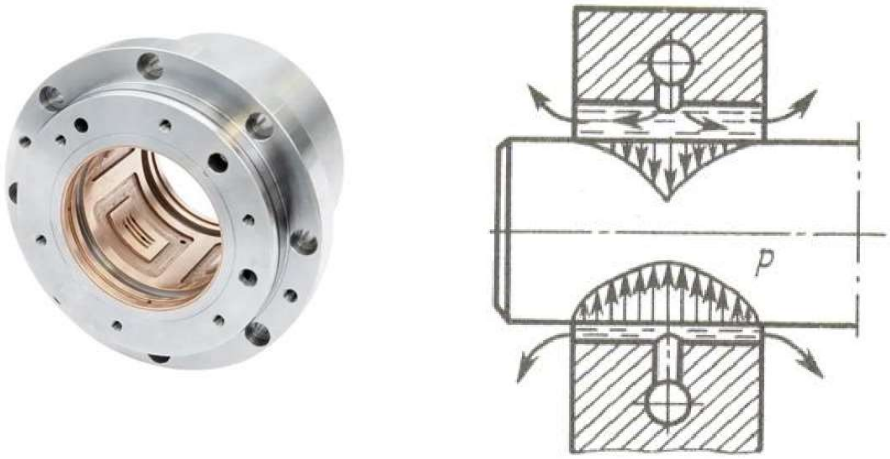


Рисунок 4 – Гидростатические подшипники

Одним из примеров востребованных ответственных элементов оборудования являются гидростатические подшипники.

В гидростатическом подшипнике (рис. 4) между поверхностями трения создается слой масляной пленки, исключающий контакт между данными поверхностями и обеспечивающий работу в режиме жидкостного трения.

Для обеспечения требуемых условий работы, на поверхность гидростатического подшипника наносятся специальные покрытия. Для этого в АО «РКЦ «Прогресс» был проведен ряд исследований, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы, а также имеются вновь изготовленные подшипники, штатно применяемые при эксплуатации высокотехнологического оборудования.

В АО «РКЦ «Прогресс» также активно практикуется реверс-инжиниринг, быстрое прототипирование и изготовление ремонтных деталей методом аддитивного формирования. Безусловными плюсами данного подхода являются кратчайшие сроки изготовления единичных деталей или малых партий, при низкой себестоимости и отсутствии необходимости изготовления дорогостоящей оснастки. Примеры выполнения подобных работ представлены на рисунке 5.

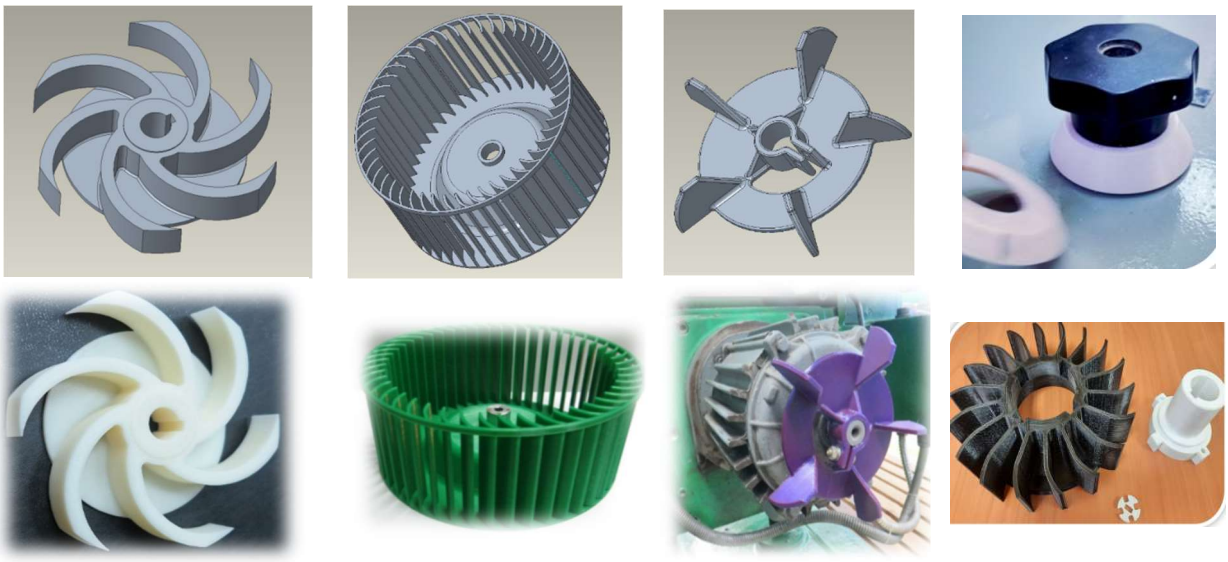


Рисунок 5 – Примеры ремонта оборудования с применением аддитивных технологий

На примере представленного положительного опыта АО «РКЦ «Прогресс», можно сделать выводы о целесообразности консолидированных усилий крупных организаций аэрокосмической отрасли, направленных на повышение технологической независимости при эксплуатации испытательного и производственного оборудования иностранного производства, в условиях действия антироссийских санкций. Также необходимо отметить потребность в современном высокотехнологичном оборудовании отечественного производства в целом. Решение обозначенных задач возможно при плотном взаимодействии производственных компаний с ведущими отечественными университетами и головными научно-исследовательскими организациями.

Библиографический список

1. Кугаевский, С.С. Реверс-инжиниринг и быстрое прототипирование в машиностроении: учебно-методическое пособие / С.С. Кугаевский; М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2023. – 98 с.

2. Водин, Д.В. Применение 3D-принтеров и 3D-печати для создания прототипа технических систем. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн / Д.В. Водин, М.В. Соколов // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Вып. 2: в 2 т. Т. I / под общ. ред. В.А. Немтинова; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов: Изд-во: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016.

3. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

4. ГОСТ Р 575989-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2.

5. Балашов, А.В. Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью / А.В. Балашов, М.И. Маркова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №. 1 (52).

УДК 621.7.06

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБРАЗЦОВ РКТ НА УДАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

© Баюшев С.В., Курунтяев П.А., Шульга А.С., Горбунов А.В., Жуков В.В.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Shulga.AS@samspace.ru

Ключевые слова: ударная прочность, жесткость, испытательная оснастка, метод конечных элементов, трансцендентный анализ, импульс.

В данной работе рассмотрены существующие проблемы и варианты их решения в части отработки прочности объектов РКТ на ударные воздействия. Представлен образец специального оборудования для испытаний крупногабаритных объектов ракетно-космической техники на ударные воздействия.

На сегодняшний день в связи с увеличением габаритов изделий РКТ и нагрузок, воздействующих на них, требования к проведению ударных испытаний накладываются на крупногабаритные узлы и агрегаты. Использование имеющегося парка оборудования для реализации ударных воздействий при отработке крупногабаритных сборок не предоставляется возможным. Таким образом перед Испытательным центром АО «РКЦ «Прогресс» был поставлен вопрос о возможности реализации подобных испытаний и необходимости разработки, изготовления и пуска в эксплуатацию новой установки ударной для испытаний крупногабаритных образцов РКТ на ударные воздействия.

После проработки схемы и способа реализации ударного воздействия на крупногабаритные объекты, была разработана эскизная модель установки ударной. Схема и состав установки ударной, вновь разработанной в Испытательном центре АО «РКЦ «Прогресс», представлена на рисунке 1.

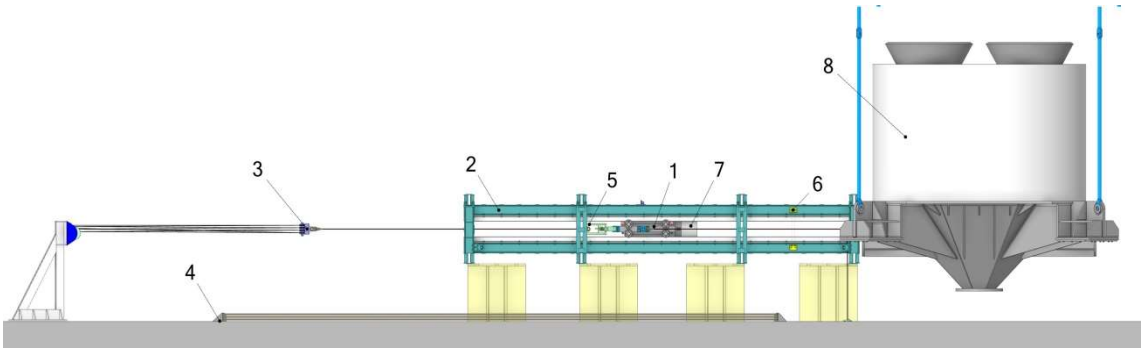


Рисунок 1 – Схема установки ударной:
1 – каретка ударная; 2 – рама несущая; 3 – система натяжения; 4 – система разгона; 5 – бомбовый замок; 6 – датчик скорости; 7 – комплект прокладок, 8 – объект испытаний

На основе представленной выше модели была разработана конечно-элементная модель и произведена серия расчетов на трансцендентный анализ [1–4] для выбора необходимых параметров установки ударной. Были подобраны материалы для прокладок, а также их конструкционные размеры: толщина и площадь поперечного сечения.

В настоящее время установка ударная изготовлена, прошла метрологическую аттестацию в соответствии с требованиями государственных стандартов и находится в эксплуатации. Внешний вид изготовленной установки дарной представлен на рисунке 2.





Рисунок 2 – Установка ударная

На рисунке 3 представлен реализуемый в момент испытаний ударный спектр в месте закрепления объекта испытаний на оснастке в соответствии с программой и методикой испытаний.

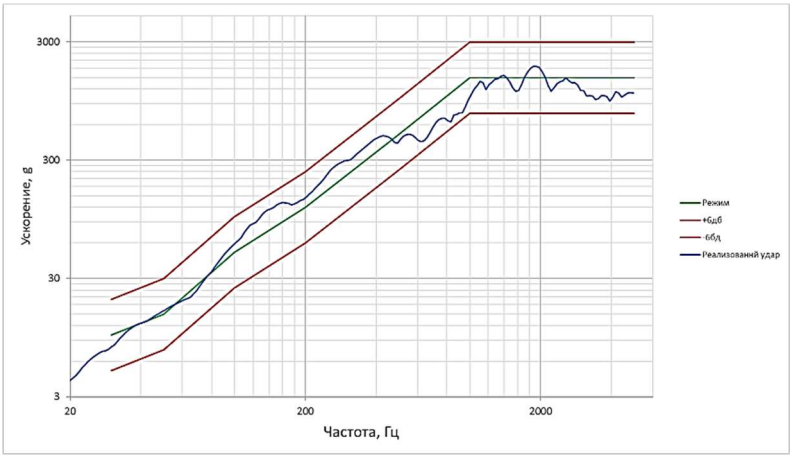


Рисунок 3 – Реализуемый ударной спектр в месте крепления ОИ

Вновь разработанная и изготовленная установка ударная аттестована, и уже имеется положительный опыт ее применения при экспериментальной отработке крупногабаритных изделий РКТ. Необходимо отметить, что представленный подход с созданием уникальных испытательных стендов под крупногабаритные объекты, особенно с учетом использования в перспективе возвращаемых ступеней ракет-носителей, должен получить дальнейшее развитие.

Библиографический список

1. Бруяка, В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: справ. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

2. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, А.Б. Чигарев, Е.М. Морозов, М.А. Ольферьева. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

3. Скворцов, Ю.В. Использование МКЭ-пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твёрдого тела: интерактив. мультимед. пособие в системе дистанц. обучения «Moodle» / Ю.В. Скворцов, С.В. Глушков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (6,1 Мбайта). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

4. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров: справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

УДК 658.5.012.1

ПРОЧНОСТНЫЕ КРИОГЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДСЕ РН С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ АВТОМАТИЗАЦИИ

© Глазецкий А.А., Кветкин А.А., Горбунов А.В., Шульга А.С., Жуков В.В.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Shulga.AS@samspace.ru

Ключевые слова: криогенные емкости, ракетно-космическая техника, прочностные криогенные испытания, испытания на разрушение.

В данной работе рассмотрены вопросы разработки, изготовления и практического применения стенда для прочностных испытаний погружных криогенных баллонов, применяемых в РКТ.

АО «РКЦ «Прогресс», являясь одним из мировых лидеров в разработке и производстве ракет-носителей, имеет значительный опыт применения криогенных шар-баллонов, работающих под высоким давлением. Шар-баллоны, интегрированные в систему наддува топливных баков, обеспечивают хранение сжатых инертных газов в криогенном виде и своевременное вытеснение данными газами топлива в ходе работы РН. В номенклатуре изготавливаемых в РКЦ ракет-носителей используются широкая линейка титановых шар-баллонов объемом от 50 до 130 литров. Данные баллоны являются погружными и работают в криогенной среде при температуре 77 К. Шар-баллон (ШБ) представляет собой конструкцию из двух титановых полусфер (рисунок 1), сваренных по экватору с применением электродуговой или электронно-лучевой сварки.

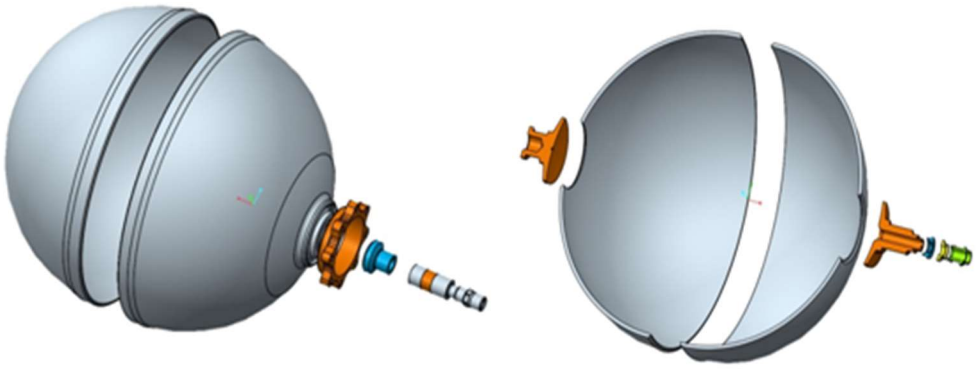


Рисунок 1 – Шар-баллон погружной

Испытания изделий космической отрасли отличаются от испытаний других изделий машиностроения своими особенностями, заключающиеся в том, что к ним предъявляются повышенные требования по точности воспроизведения условий и значений величин заложенных в программу испытаний. Как и другие узлы и агрегаты РКТ, погружные криогенные ШБ, являясь сложным и ответственным изделием, на стадии разработки и серийного производства требуют соответствующей экспериментальной отработки. В связи с необходимостью отработки в кратчайшие сроки и с высоким качеством больших партий серийно изготавливаемых ШБ, было принято решение о переходе от проведения данного вида испытаний в смежных организациях к созданию в АО «РКЦ «Прогресс» собственного Стенда криогенных

прочностных испытаний деталей и сборочных единиц РН с высокой степенью автоматизации. Разработка и создание данного Стенда были поручены Испытательному центру РКЦ.

Задачи, решаемые при создании Стенда:

– обеспечить возможность воспроизведения условий работы ДСЕ при криогенных температурах, под высоким давлением до 1000 кгс/см^2;

– обеспечить безопасность, эффективность, экономичность за счет соответствующих строительных конструкций и высокой степени автоматизации процесса подготовки и проведения испытаний.

Для воспроизведения условий работы погружных титановых ШБ с целью экономии материальных затрат и обеспечения безопасности при проведении испытаний было принято решение о замене жидкого кислорода и газообразного гелия, используемых в штатной эксплуатации, на испытания в среде жидкого азота. Значения температуры кипения при атмосферном давлении жидкого кислорода составляет 90 К, а жидкого азота 77 К. Данные значения являются относительно близкими, поэтому и свойства испытываемых материалов ШБ при указанных температурах также близки между собой [1; 2].

В предложенном решении ШБ при помощи специальной технологической оснастки размещается внутри броне-ванны (криостат). Испытательный объем заполняется жидким азотом, при этом во внутреннюю полость баллона подается жидкий азот под избыточным давлением с предварительным отделением газообразной фазы (рисунок 2). При работе с жидким азотом продукт его испарения вытесняет кислород, что является опасным фактором по содержанию газов рабочей зоны, при работе с открытой брено-ванной в процессе проверки изделия на почность до разрушения. В целях обеспечения требований безопасности в рабочей зоне проведения испытаний и в зоне расположения оператора (пультовая находится на удалении от испытательного зала), предусмотрены газоанализаторы и принудительная вентиляция зала, работаюшие в автоматическом режиме [3].

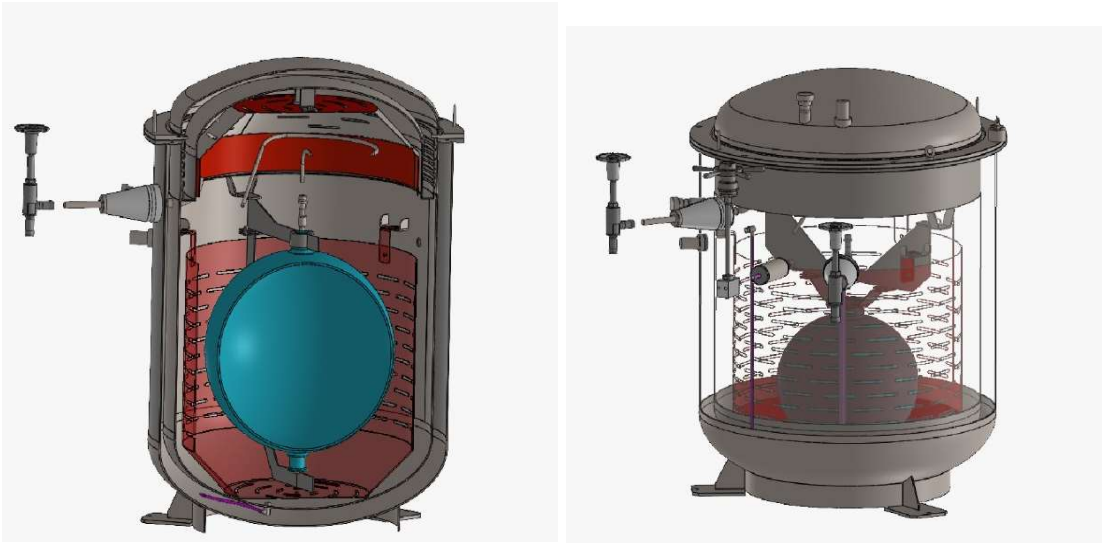


Рисунок 2 – Размещение объекта испытаний внутри броне-ванны (криостат)

Для создания требуемого Стенда в РКЦ был отремонтирован отдельный корпус с прокладкой внутри него соответствующих коммуникаций. Общий вид испытательного зала вновь изготовленного Стенда представлен на рисунке 3.



Состав Стенда:
– три независимых броневанны (криостаты);
– накопительная емкость;
– система хранения и подачи жидкого азота;
– система создания избыточного давления жидкого азота;
– автоматизированная система управления;
– система активной и пассивной безопасности.

Рисунок 3 – Внешний вид зоны проведения испытаний Стенда

В процессе создания нового Стенда удалось реализовать ряд новых технологических решений, позволяющих с высокой точностью (до 5 кгс/см^2 без ограничения по времени) воспроизводить условия по созданию избыточного давления жидкого азота, величиной до 1000 кг/см^2. Указанную точноть, превышающую по данному параметру имющиеся в РФ Стенды аналоги, удалось получить благодаря в том числе применению современных отечественных жидкостных криогенных насосов высокого давления и автоматизированной системы управления, с исключением процесса предварительной подачи газообразного азота в объект испытаний под высоким давлением, с последующей конденсацией газа в парожидкостную фазу. Общий вид криогенных насосов 400 и 1000 кгс/см^2, а также пример диаграммы работы криогенного насоса представлены соответственно на рисунках 4 и 5.



Рисунок 4 – Криогенные насосы высокого давления

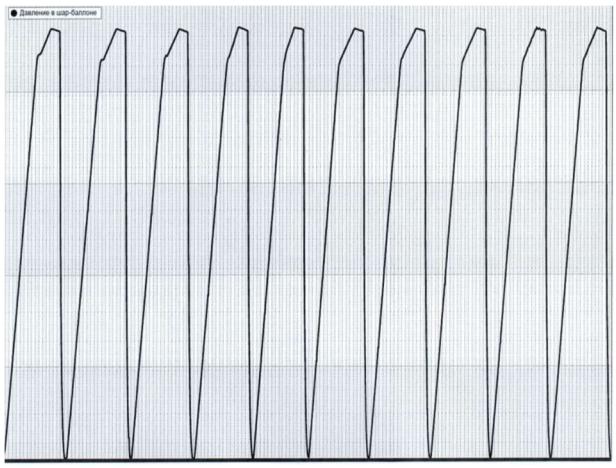


Рисунок 5 – Пример диаграммы нагружения

На рисунке 6 представлено рабочее место оператора Стенда с вновь разработанным специализированным программным обеспечением, имеющим частотное и ПИД регулирование процессов проведения испытаний, автоматизированную регистрацию параметров испытаний и защиту от аварийных ситуаций.

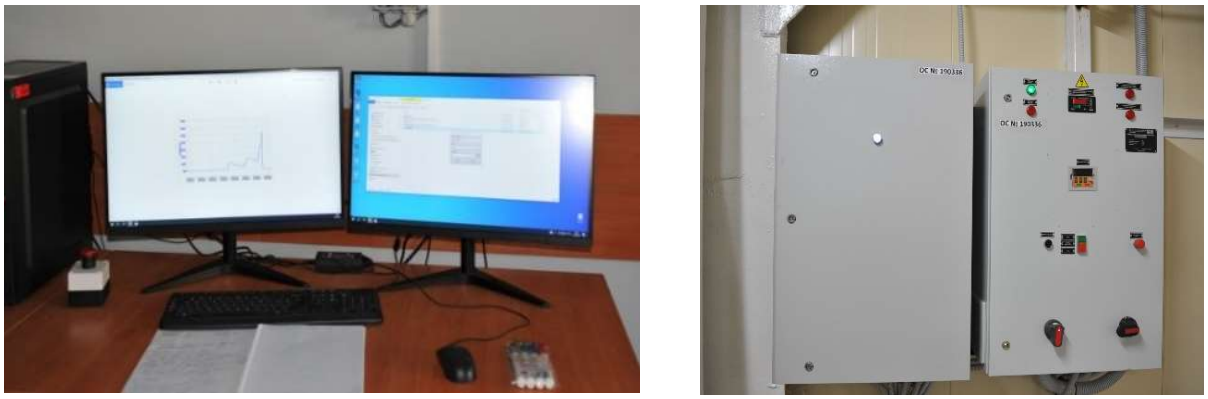


Рисунок 6 – Автоматизированная система управления и регистрации

Проверка партии ШБ проводится путем испытаний выборочных образцов методом нагружения их внутренней полости избыточным давлением в криогенной среде с коэффициентами 1,5 и 2,0 от рабочего значения, а также и до разрушения образцов давлением величиной до 1000 кгс/см^2. После проведения испытаний делается заключение о годности партии к установке на летное изделие, исходя из анализа величины давления разрушения и характера структуры разлома шар-баллона (рисунок 7).



Рисунок 7 – Внешний вид ШБ после испытания на прочность до разрушения

На сегодняшний день Стенд изготовлен, прошел метрологическую аттестацию в соответствии с требованиями государственных стандартов и находится в эксплуатации. Необходимо отметить, что работа по созданию Стенда выполнена в рамках новой модели индустриализации России, учитывающей выход из интеграции с глобальным рынком после 2022 года и создания нового уровня технологической самодостаточности, в том числе для обеспечения национальной безопасности. Все узлы, агрегаты и материалы, примененные в Стенде прочностных криогенных испытаний ДСЕ РН, являются продуктами отечественного производства.

Библиографический список

1. ГОСТ РВ 0008-002-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования, применяемого при оценке соответствия оборонной продукции. Организация и порядок проведения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 59 с.

2. Файнштейн, В.И. Кислород, азот, аргон – безопасность при производстве и применении / В.И. Файнштейн. – М.: Интермет Инжиниринг, 2014. – 224 с.

3. Новые направления криогенной техники: сб. пер. с англ. / под ред. проф. М.П. Малкова. – М.: Мир, 1966.

УДК. 621

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

© Де Алваренга Роберто

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация*

e-mail: imp@ssau.ru

Научный руководитель: Глущенков В.А., канд. техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: порошковая композиция, уплотнение, гибридная технология, волочение, магнитно-импульсный обжим, статико-динамическое деформирование, плотность упаковки.

В работе рассмотрены и проанализированы существующие технологические схемы уплотнения порошковых композиций (ПК). Отмечены некоторые проблемы и ограничения, возникающие при их реализации: неравномерность уплотнения по сечению, получение длинномерных изделий, высокое энергопотребление и другие.

Предложены новые гибридные технологии уплотнения, сочетающие статическое и динамическое нагружения. Эти технологии обеспечивают нужную степень уплотнения ПК в металлической оболочке и включают две операции – волочение и магнитно-импульсный обжим в разной последовательности (рисунок 1).

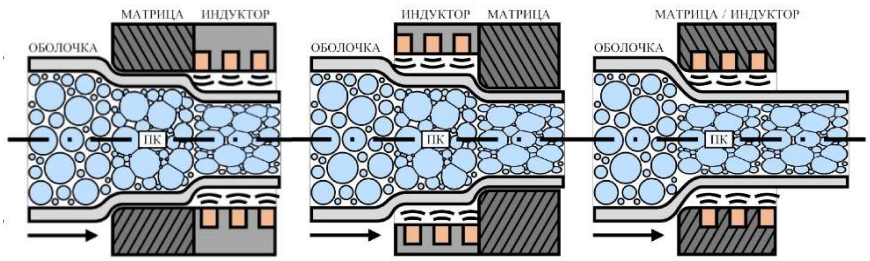


Схема I
Волочение – магнитно-импульсный обжим

Схема II
Магнитно-импульсны обжим – волочение

Схема III
Одновременное волочение и обжим

Рисунок 1 – Технологические схемы гибридной технологии уплотнения ПК в металлической оболочке

Для визуализации таких процессов разработана компьютерная модель и осуществлено ее использование для анализа тех явлений, которые сопровождают процесс совместного деформирования оболочки и порошковой композиции. Предложена пошаговая методика моделирования, учитывающая силы инерции при импульсном нагружении. С целью оптимизации расчетов и сокращения времени обработки вычислительного моделирования были интегрированы методы IMPLICIT и EXPLICIT в комплекс LS DYNA [1; 2].

В результате моделирования получены графики изменения плотности ПК на всех этапах гибридной технологии, при различной последовательности выполняемых операций и при различных геометрических размерах оснастки и энергиях обжима (рисунок 2).

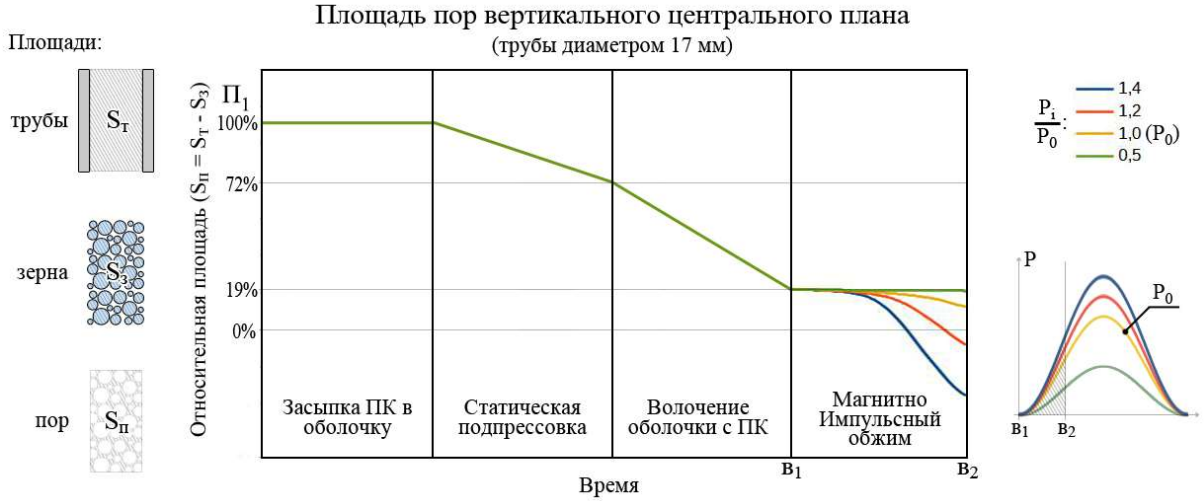


Рисунок 2 – Изменение плотности уплотнения ПК на всех этапах процесса уплотнения по схеме I

Таким образом, появилась возможность выбора той или иной технологической схемы гибридной технологии для конкретного производства, возможность прогнозирования достигаемой плотности порошковой композиции, ее распределения по сечению и длине.

Библиографический список

1. Гиршов, В.А. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие / В.А. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. – 385 с.

2. Анциферов, В.Н. Перспективные материалы и технологии порошковой металлургии: учеб. пособие / В.Н. Анциферов. – Пермь: Изд-во перм. нац. ислед. политехн. ун-та, 2014. – 109 с.

УДК 621.793

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ОКСИДА ВАНАДИЯ

© Долгушин Я.В.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

e-mail: d.yroslav@mail.ru

Научный руководитель: Крит Б.Л., д-р техн. наук, доцент
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

Ключевые слова: ванадий, оксид, плазма, электролит, оксидирование.

Ванадий представляет собой металл серебристо-серого оттенка, который при воздействии окружающей среды покрывается пленкой из оксидов ванадия. Различные оттенки этой пленки обусловлены разной толщиной оксидного слоя [1].

Ванадий образует многочисленные соединения с кислородом, из которых наиболее важными являются оксиды: монооксид ванадия VO (или V_2O_2), полуторный оксид V_2O_3, диоксид ванадия VO_2 (или диоксид диванадия V_2O_4) и пятиокись V_2O_5 [2]. Количество публикаций, которые посвящены различным оксидам ванадия, стремительно растёт. Это обусловлено возможностями практического применения этих материалов.

Целью данной работы является изучение особенностей оксида ванадия, препятствующие направленному синтезу определённого оксида ванадия и делающие его перспективным материалом для использования в различных устройствах, а также предложена технология плазменно-электролитной обработки (ПЭО) для синтезирования оксида ванадия.

Основная проблема, которая препятствует синтезу определённого оксида ванадия, заключается в высокой чувствительности системы V-O к содержанию кислорода. Это обусловлено тем, что ванадий имеет степени окисления +2, +3, +4, +5, и образует ряд фаз, в которых ванадий присутствует одновременно в различных степенях окисления [3].

Большинство имеющихся оксидов ванадия демонстрируют фазовый переход полупроводник-металл (ППМ). При данном переходе происходит резкое, но обратимое изменение сопротивления материала. Температуры, при которых происходит этот переход, лежат в диапазоне от -150 до 400 °C, а амплитуды этого перехода варьируются от 10 до 10^{10} раз. Этот фазовый переход обратим и сопровождается изменением кристаллографических, магнитных, оптических и электрических свойств [4].

В таблице представлены параметры решетки, а также основные характеристики VO_2 для разных фаз [5].

В настоящее время разработано значительно количество вариантов применения тонких плёнок диоксида ванадия VO_2: датчики, актюаторы, мемристоры и переключатели. Основная проблема при создании устройств на основе диоксида ванадия VO_2 – сложность синтеза плёнки с заданными параметрами фазового перехода ППМ.

Оксиды ванадия (в частности VO_2) применяются в качестве катодного материала в перезаряжаемых магниевых батареях и перезаряжаемых цинк-ионных батареях [6]. Перезаряжаемые магниевые аккумуляторы являются одним из наиболее перспективных устройств хранения энергии нового поколения. В последние годы перезаряжаемые цинк-ионные батареи выделяются среди многочисленных металл-ионных батарей. Благодаря своим

преимуществам (низкой стоимости, экологичности и безопасности) перезаряжаемые цинк-ионные батареи можно рассматривать как альтернативу литий-ионным батареям.

Таблица – Характеристики VO_2 при разных фазах ППМ

Характеристики	Полупроводниковая фаза	Металлическая фаза
Температура	Ниже 340К	Выше 340К
Тип решетки	Моноклинная	Тетрагональная
Расстояние V-V вдоль оси *c*	0,265 нм и 0,312 нм	0,288 нм
Коэффициент линейного расширения	$6{,}4\times10^{-6}$ $К^{-1}$	$17{,}1\times10^{-6}$ $К^{-1}$
Подвижность электронов	~0,5 см/(Вс)	1–10 см/(Вс)
Эффективная концентрация носителей	$\sim10^{23}$ $см^{-3}$	$10^{18} – 10^{19}$ $см^{-3}$
Показатель преломления	2,5	2,0

Нанесение тонких пленок представляет собой важный процесс в современной науке и технике, который используется для создания слоев материала с небольшой толщиной на поверхности подложки. Нанесение тонких пленок играет ключевую роль в создании и улучшении различных устройств и систем.

Существует несколько различных технологий и методов нанесения тонкопленочных покрытий, а также целый ряд инструментов и оборудования, которые можно использовать для оптимизации или улучшения процесса осаждения тонких пленок. Среди методом нанесения покрытий всё большую популярность набирают технологии плазменно-электролитной обработки. Применение технологии ПЭО на поверхностях деталей позволяет формировать многофункциональные покрытия, улучшающие их коррозионную стойкость, износостойкость и другие характеристики [7].

Плазменно-электролитная обработка в основном сосредоточена на алюминиевых и магниевых сплавах, для которых она хорошо работает. Однако данный метод можно применять и к другим металлам (в частности, было много работ с титаном и его сплавами). Но существуют и другие металлы, (известные как вентильные металлы), для которых возможна ПЭО-обработка. Все вентильные металлы имеют высокостабильные оксиды. Однако, это не единственная важная характеристика, и в литературе мало ясности относительно конкретного набора свойств, которые делают металл более или менее подходящим для ПЭО-обработки.

Таким образом, изучение свойств оксида ванадия и возможностей метода плазменно-электролитной обработки показывает необходимость разработки новых, эффективных технологических процессов формирования тонких плёнок оксида ванадия методом ПЭО.

Библиографический список

1. Борисенко, Л.Ф. Ванадий (минералогия, геохимия и типы эндогенных месторождений) / Л.Ф. Борисенко – М.: Недра, 1973. – 192 с.

2. Амелина, Г.Н. Частные реакции ванадия / Г.Н. Амелина – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 22 с.

3. Bahlawane, N. Vanadium oxide compounds: Structure, properties, and growth from the gas phase / N. Bahlawane, D. Lenoble // Chem. Vap. Depos. – 2014. – Vol. 20, № 7–9. – P. 299–311.

4. Pergament, A. Oxide Electronics and Vanadium Dioxide Perspective: A Review / A. Pergament, G. Stefanovich, A. Velichko // J. Sel. Top. Nano Electron. Comput. – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 24–43.

5. Stefanovich, G. Electrical switching and Mott transition in VO_2 / G. Stefanovich, A. Pergament, D. Stefanovich //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2000. – Vol. 12, №. 41. – P. 8837.

6. Liu, Y. Review of vanadium-based electrode materials for rechargeable aqueous zinc ion batteries / Y. Liu, X. Wu // Journal of Energy Chemistry. – 2021. – Vol. 56. – P. 223–237.

7. Ракоч, А.Г. Микродуговое оксидирование лёгких сплавов / А.Г. Ракоч, И.В. Бардин // Металлург. – 2010. – № 6. – С. 58–61.

УДК 621.384.659

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭСР НА ПОВЕРХНОСТИ КА В УСЛОВИЯХ ИМИТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

© Дубровский М.В., Тиньгаев В.С., Шульга А.С., Жуков В.В.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Shulga.AS@samspace.ru

Ключевые слова: факторы космического пространства, испытания, потоки заряженных частиц, имитатор потока электронов, электростатический разряд, космический аппарат.

В данной работе рассмотрены вопросы создания стенда для исследования процессов возникновения электростатического разряда (ЭСР) на поверхности элементов космических аппаратов (КА) в условиях имитации космического пространства.

Космическое пространство – экстремальная среда, в которой КА подвергаются воздействию множества факторов, включая вакуум, значительные перепады температур, интенсивное ионизирующее излучение и др. В результате взаимодействия с плазмой космической среды происходит накопление заряда на поверхности КА, которое в свою очередь приводит к возникновению ЭСР. Накоплению заряда способствуют следующие явления: солнечный ветер – поток заряженных частиц, испускаемых Солнцем; магнитосфера Земли – воздействие радиационных поясов; фотоэмиссия- выбивание электронов с поверхности КА ультрафиолетовым излучением Солнца (рис. 1).

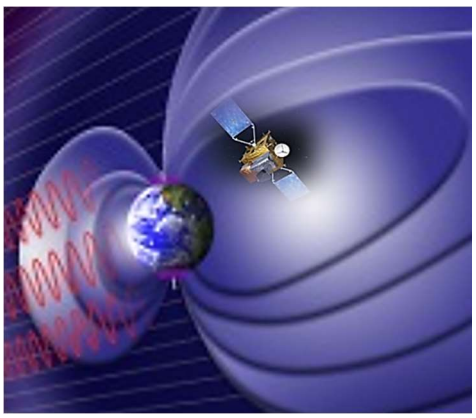


Рисунок 1 – Воздействие факторов космического пространства на аппарат

Когда накопленный заряд достигает критического значения то происходит электростатический разряд, который представляет собой кратковременный импульс тока, возникающий в результате пробоя диэлектрической прочности материала поверхности КА. Как следует из физики протекания процесса ЭСР – представляет серьезную угрозу для работоспособности КА, например, повреждение чувствительных электронных компонентов, что приводит к нарушению их функционирования и в последствии приводит к полному отказу работы ответственных приборов. Так же ЭСР может создавать электромагнитные помехи, которые нарушают работу бортовых систем связи, навигации, управления. Многократные ЭСР могут приводить к деградации материалов поверхности КА, ухудшая их тепловые и оптические свойства. Понимание механизмов их возникновения и потенциальных последствий – необходимо для разработки эффективных мер защиты, направленных на минимизацию рисков и обеспечение долговечной эксплуатации КА в экстремальных условиях космического пространства [1–4].

Для исследования процессов возникновения ЭСР на базе Испытательного центра АО «РКЦ «Прогресс» разработан, создан и аттестован Имитатор потока электронов (ИПЭ), с энергией до 50кэВ, в составе стенда физического моделирования факторов космического пространства (Стенд ФМ ФКП). Данный имитатор, позволяющий моделировать накопление

обьемных зарядов в диэлектрических материалах КА, работающих на низких орбитах до 1500 км, не имеет аттестованных аналогов на территории РФ. Схема и внешний оборудования представлены на рисунке 2.

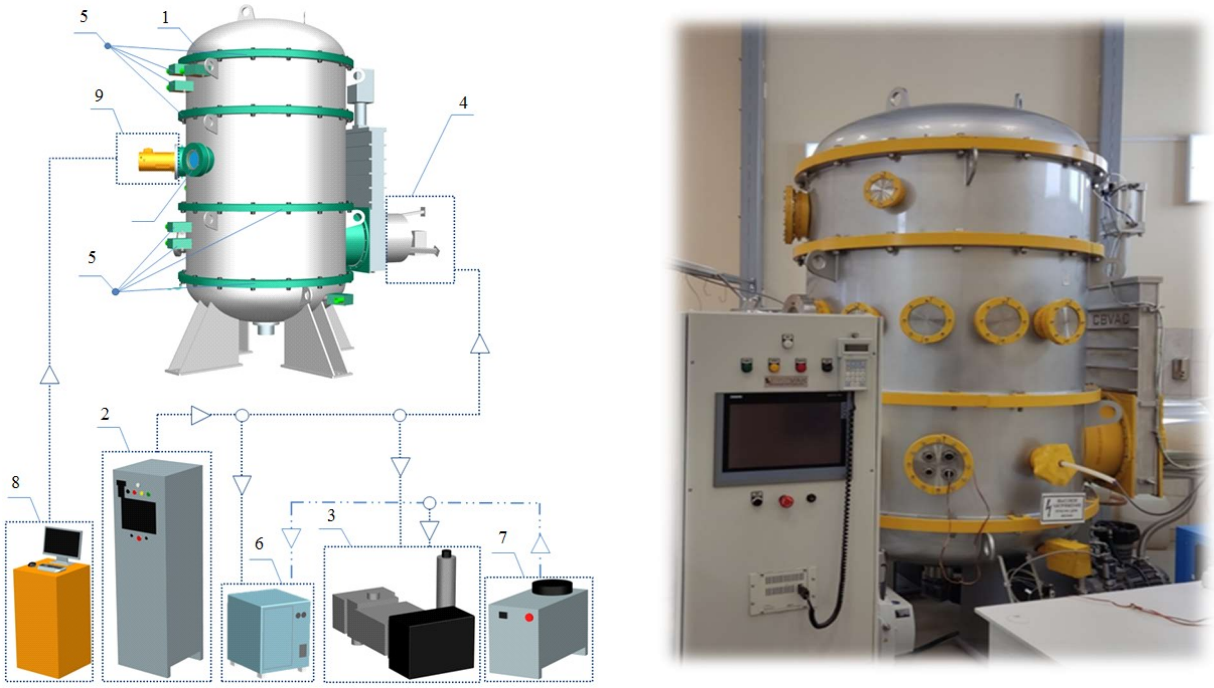


Рисунок 2 – Схема и общий вид стенда ФМ ФКП

ИПЭ включает в себя стойку управления (поз. 8 рис. 2) и электронную пушку (поз. 9 рис. 2). Электронная пушка представляет собой источник потока электронов вместе с фокусирующим устройством, формирующим растр пучка. Защиту операторов от негативного воздействия заряженных частиц обеспечивает свинцово-стальная защита (поз. 5 рис. 2), расположенная на тонкостенных элементах конструкции камеры [5; 6].

На рисунке 3 представлена схема воздействия на объект испытаний (ОИ) и собственно ИПЭ. Измерение величины заряда на корпусе ОИ (поз. 1 рис. 3), который в свою очередь, изолирован от земли высоковольтными диэлектрическими изоляторами (поз. 3 рис. 3), осуществляется киловольтметром (поз. 2 рис. 3). Характеристики разрядов, возникающих при засветке объектов, регистрируются чувствительным элементом (поз. 4 рис. 3), который подключен к осциллографу (поз. 5 рис. 3) через делитель. ИПЭ позволяет воздействовать на объект испытаий потоком заряженных частиц с энергией в диапазоне от 5 до 50 кэВ, током электронов в пучке от 1 до 200 мкА и максимальным пятном в режиме «Прожектор» диаметром 600 мм на расстоянии 1000 мм от источника (рис. 4). В режиме сканирования, также представленном на рисунке 4, ИПЭ позволяет работать электронным пучком с диаметром пятна от 5 мм.

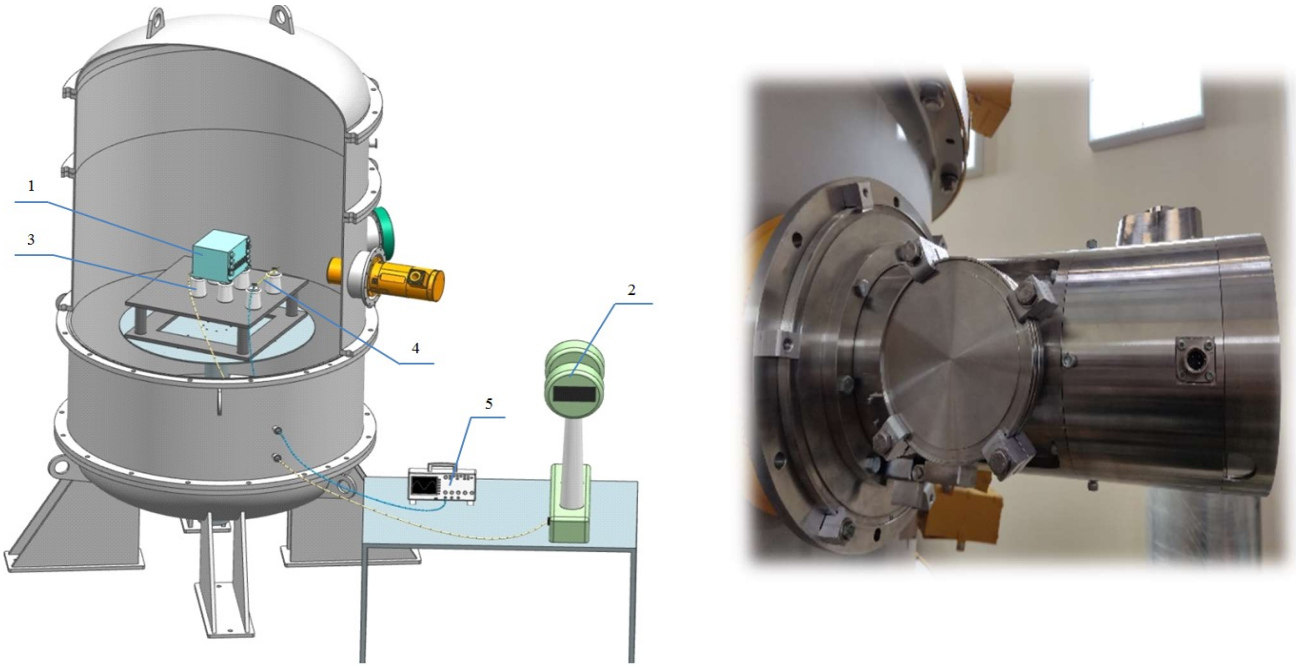


Рисунок 3 – Имитатор потока электронов и схема проведения испытаний

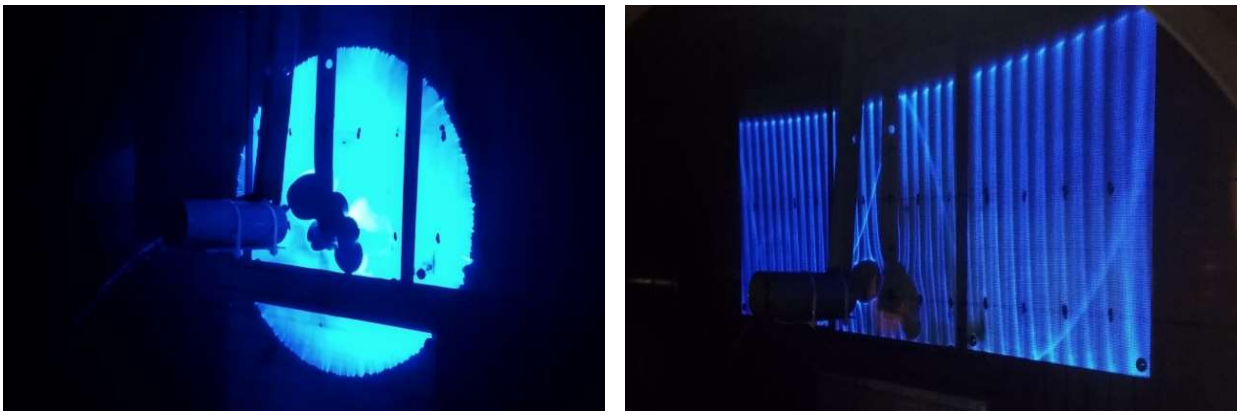


Рисунок 4 – Работа в режиме «Прожектор» и режиме «Сканирование»

Благодаря возможностям представленного оборудования, РКЦ имеет инструмент для исследований процессов возникновения ЭСР на образцах как имеющихся материалов и покрытий, так и новых, в том числе созданных методом аддитивного формирования. Имеются соответствующие патенты на способы и устройство. Также данные исследований позволяют выявлять слабые места в конструкции вновь разрабатываемых КА для их дальнейших доработок по направлению защиты от ЭСР.

Библиографический список

1. Безродных, И.П., Радиационные эффекты в космосе. Часть 1. Радиация в околоземном пространстве / И.П. Безродных, А.П. Тютнев, В.Т. Семенов. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2014. – 106 с.

2. Севрук, О.А. Имитаторы космического пространства / О.А. Севрук // Инженерно-педагогическое образование XXI веке: материалы VIII Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов БНТУ, 17–18 мая 2012 г. / Белорусский национальный технический университет; гл. ред С.А. Иващенко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 1. – С. 111–114.

3. Исайченко, В.И. Испытательный стенд для моделирования факторов космического пространства «Прогноз-2» / В.И. Исайченко, А.М. Владимиров // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль:

электронное приборостроение, технологии, безопасность» (Томск, 23–27 мая 2016 г.): в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2 – [4 с.].

4. Жуков, В.В. Создание стенда физического моделирования факторов космического пространства / В.В. Жуков, А.В. Горшков, А.С. Шульга, Е.В. Кудашов, И.А. Грачев, А.А. Демидов // Актуальные проблемы ракетно-космической техники (VII Козловские чтения), Самара, 31 августа 2021 г. – Самара, 2021. – С. 279–282.

5. Патент 2791950 C1 Российская Федерация, МПК G01R 31/305. Способ определения стойкости элементов конструкций или радиоэлектронного оборудования низкоорбитальных космических аппаратов к воздействию факторов космического пространства и устройство для его реализации / А.А. Сочивко, В.Г. Бобрышев, А.А. Васюшина [и др.]; заявитель и патентообладатель АО «РКЦ «Прогресс» – №2022108341; заявл. 28.03.22; опубл. 14.01.23.

6. Патент 2833418C1 Российская Федерация, МПК G 01R 29/20. Способ определения коэффициента трансформации тока в напряжение электромагнитной наводки во фрагментах бортовой кабельной сети и устройство для его осуществления / А.С. Шульга, В.С. Тиньгаев, Р.А. Помельников [и др.]; заявитель и патентообладатель АО «РКЦ «Прогресс» – №2024105671; заявл. 04.03.24; опубл. 21.01.25, Бюл. № 3.

УДК 620.22

ВЫБОР МЕТАЛЛОПОРОШКОВОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И СВОЙСТВ ПОРОШКА

© Еремицкая К.Е.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: ksenyaeremitskaya@gmail.com

Научный руководитель: Кузина А.А., канд. техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: металлопорошковый композит, аддитивные технологии, свойства, форма частиц.

В работе рассматриваются основные группы металлопорошковых композиций (МПК), используемых в аддитивном производстве, поскольку качество получаемой продукции зависит от множества факторов, включая химический состав порошка, его форму, сыпучесть, плотность, а также тепловые и механические свойства.

Наиболее распространёнными материалами для аддитивного производства являются [1; 2]:

1) нержавеющие стали (AISI 316L, 12Х18Н10Т),
2) никелевые сплавы (Inconel 718, Hastelloy X),
3) титановые сплавы (Ti-6Al-4V),
4) алюминиевые сплавы (AlSi10Mg),
5) кобальт-хромовые сплавы (CoCrMo).

Форма частиц играет ключевую роль в процессе наплавки (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние формы частиц на свойства порошка

Форма частиц	Основные характеристики
Сферическая	Наилучшая сыпучесть, плотная упаковка, минимальная пористость. Используется в SLM, EBM, ПЛВ
Неправильная (угловатая)	Снижает сыпучесть, увеличивает пористость, но может обеспечить лучшее сцепление между частицами
Ламеллярная (пластинчатая)	Характерна для механически размолотых порошков, используется редко

Наибольшее применение находят металлические порошки сферической формы, полученные методом газового или плазменного распыления. Такие частицы обеспечивают хорошую сыпучесть, равномерное распределение по слоям, минимальную пористость после наплавки (см. рис.).

Следует учитывать загрязненность порошка неметаллическими включениями (например, оксидами, сульфидами и др.), что может вызвать дефекты типа трещин, расслоений или снижения коррозионной стойкости. Поэтому к МПК предъявляются жёсткие требования к содержанию примесей.

Гранулометрический состав также оказывает существенное влияние на качество изделия. В зависимости от технологии аддитивного производства размер частиц может варьироваться в пределах 40-200 мкм. Более крупные частицы могут плохо расплавляться, вызывая дефекты типа несплавлений; слишком мелкие – ухудшают сыпучесть.

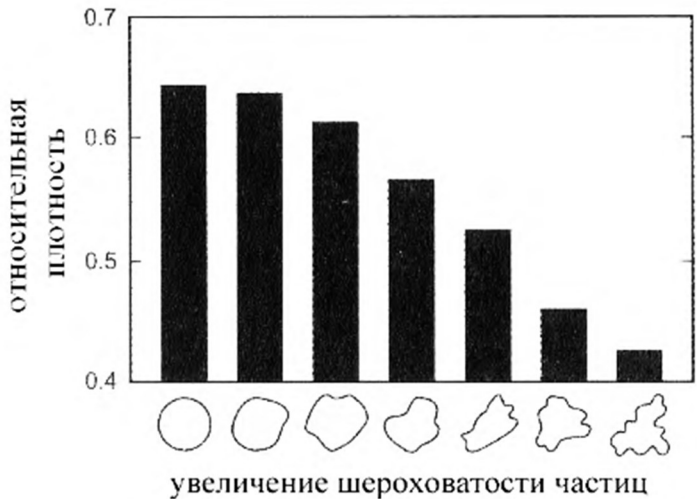


Рисунок – Влияние формы частиц на плотность упаковки порошка [4]

Для обеспечения высокой точности геометрии и качества поверхности необходимо учитывать [5]:

1) коэффициент усадки материала,
2) температуру плавления,
3) теплопроводность,
4) склонность к трещинообразованию.

Эти параметры влияют на выбор мощности лазера и режима охлаждения.

При использовании разных типов порошков наблюдаются различия в микроструктуре (табл. 2). Микроструктура зависит не только от химического состава, но и от параметров режима наплавки: мощности лазера, скорости процесса и расхода порошка.

Таблица 2 – Структура различных МПК

Материал	Структура	Особенности
12Х18Н10Т	Аустенитная	Мелкозернистая, с характерной направленной кристаллизацией
Inconel 718	Дуплексная (γ + γ')	Высокая прочность за счёт упрочняющей фазы γ'
Ti-6Al-4V	α+β	Высокая усталостная прочность, чувствительность к перегреву
AlSi10Mg	Эвтектическая	Высокая жидкотекучесть, склонность к окислению

В данной работе приведены сравнительные данные по применению различных материалов при прямом лазерном выращивании и селективном лазерном сплавлении. Представлены рекомендации по выбору оптимального порошка для достижения заданных геометрических и физико-механических характеристик.

Таким образом, можно сформировать ряд рекомендаций, благодаря которым будет строиться выбор и дальнейшее практическое использование МПК для изготовления ответственных конструкций:

1. Выбор МПК должен основываться на комплексной оценке формы частиц, гранулометрического состава, химической чистоты и термических свойств.
2. Металлические порошки сферической формы обеспечивают наилучшие результаты по сыпучести и плотности упаковки.
3. Необходимо учитывать коэффициент усадки материала при моделировании детали.
4. Использование оптимального размера частиц в зависимости от технологии аддитивного производства: СЛС – 40-63 мкм; ПЛВ – 63-200 мкм.

5. Рекомендуется использовать порошки с минимальным содержанием неметаллических примесей.

Библиографический список

1. 3D-печать: выбор материалов и технологии. – URL: https://blog.iqb.ru/3d-printing-materials/?ysclid=mc1ujy9z25783561429 (дата обращения: 10.06.2025).

2. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения для аддитивных технологий / Е.Н. Каблов // Металлы. – 2020. – № 3. – С. 12–20.

3. ГОСТ Р 58017-2018. Порошки металлические. Методы определения формы частиц. – М.: Стандартинформ, 2018.

4. Гиршов, В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии: учебное пособие / В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 385 с.

5. Конструктивно-технологическое проектирование изделий аддитивного производства. – СПб.: ИЛИСТ, 2022. – 125 с.

УДК 621.7.019.12

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ «ОТВОД»

© Исаев А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

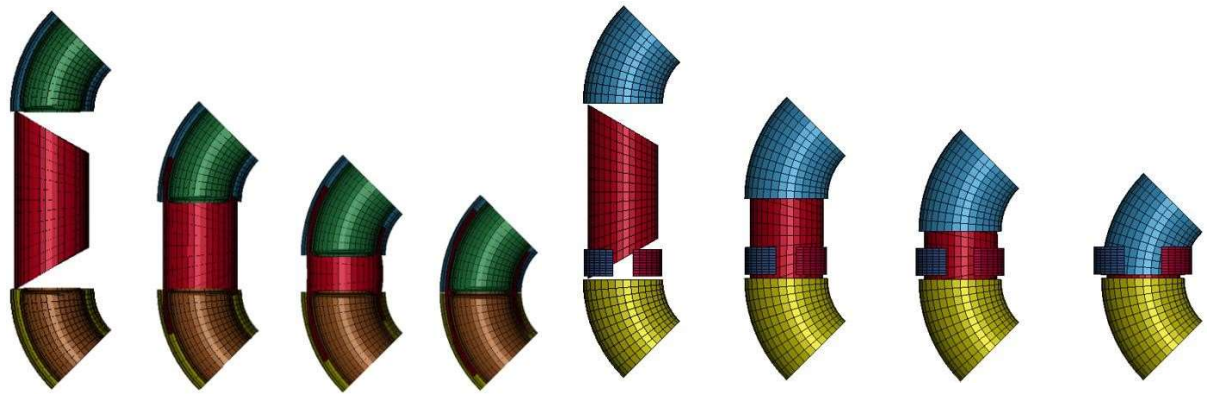
e-mail: andrewg200107@mail.ru

Научный руководитель: Николенко Кон.А., канд. техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: отвод, формообразование с подпором, секционная матрица, моделирование в LS-DYNA, предельные возможности процесса.

Крутоизогнутые отводы – элементы трубопроводов, необходимые для изменения направления потока жидкости или газа и создание компенсационного изгиба. Отводы изготавливаются согласно ГОСТу 17375-2001 [1].

В программе LS-DYNA [2] проведено моделирование процесса холодной штамповки детали «Отвод» в инструментальном штампе. Схема этапов формообразования представлена на рисунке 1.



а) б)

*Рисунок 1 – Схема формовки отводов на разных этапах
а) без держателя; б) с держателем*

Моделирование процесса формовки с использованием держателя и без выполнено для заготовок толщиной 3мм. Полученные результаты представлены в виде эпюр интенсивности напряжений, деформаций и изменений толщин для заключительной стадии процесса (рис. 2).

Полученные эпюры показывают, что использование держателя положительно влияет на стабильность процесса предотвращает появление гофр.

Для оценки вероятности разрушения получены эпюры штамповки отводов толщиной 3 мм с использованием держателя в соответствии с кривой предельной пластичности (рис. 3).

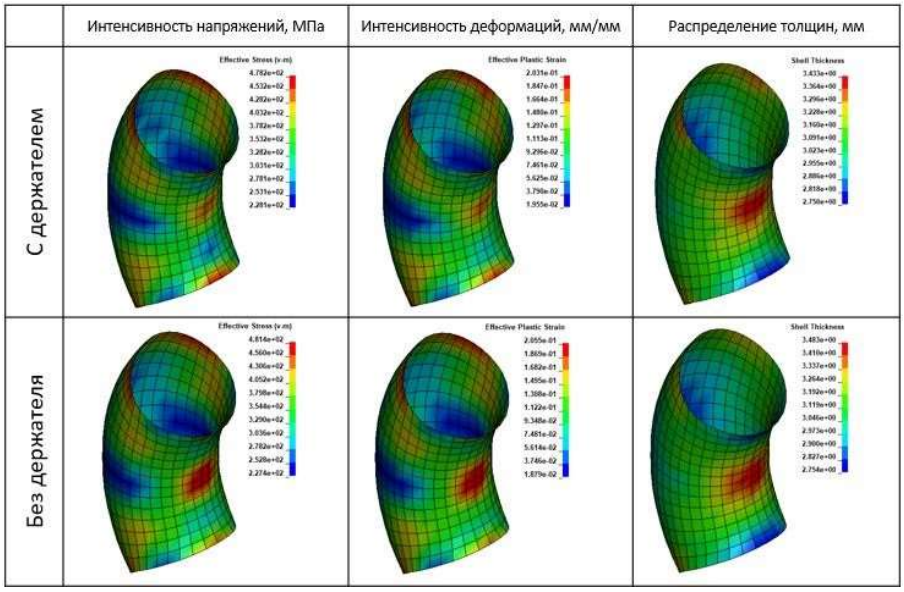


Рисунок 2 – Эпюры интенсивности напряжений, деформаций и изменения толщины

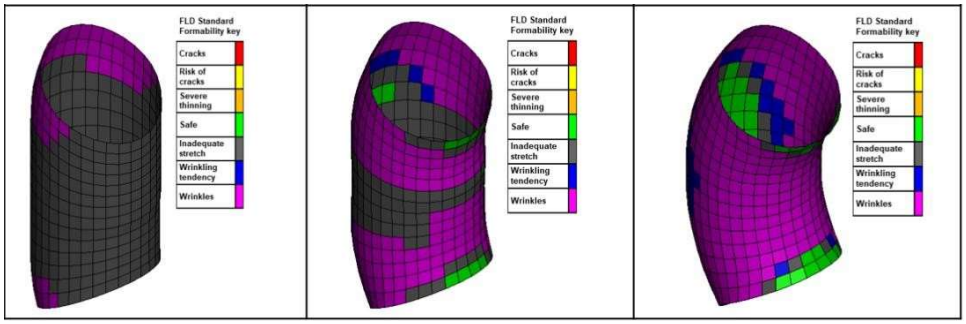


Рисунок 3 – Эпюры вероятности гофрообразования и разрушения заготовки на разных стадиях формообразования.

Согласно эпюрам, заготовка толщиной 3 мм во время штамповки с держателем испытывает безопасное растягивающее напряжение без риска разрушения материала.

Библиографический список

1. ГОСТ 17375-2001 Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D. – Введ. 2003-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 18 с.

2. Маслов, В.Д. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA: учебное пособие / В.Д. Маслов, К.А. Николенко. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 80 с.

УДК 621.7.019.12

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ LS-DYNA ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ОТВОД» В СЕКЦИОННОЙ МАТРИЦЕ

© Исаев А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: andrewg200107@mail.ru

Научный руководитель: Николенко Кон.А., канд. техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: отвод, формообразование, штамповка, фильера, оправка, гофра.

Крутоизогнутые отводы – элементы трубопроводов, необходимые для изменения направления потока жидкости или газа и создание компенсационного изгиба. Отводы изготавливаются согласно ГОСТу 17375-2001 [1; 2] (рис. 1).

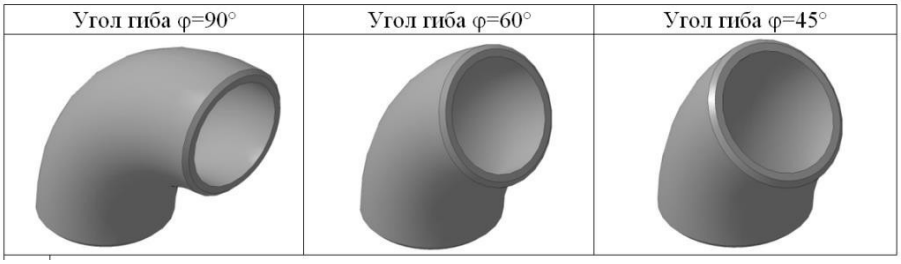


Рисунок 1 – Конструкция детали «Отвод»

В программе LS-DYNA [2] проведено моделирование процесса холодной штамповки детали «Отвод» в инструментальном штампе. Схема штампа представлена на рисунке 2.

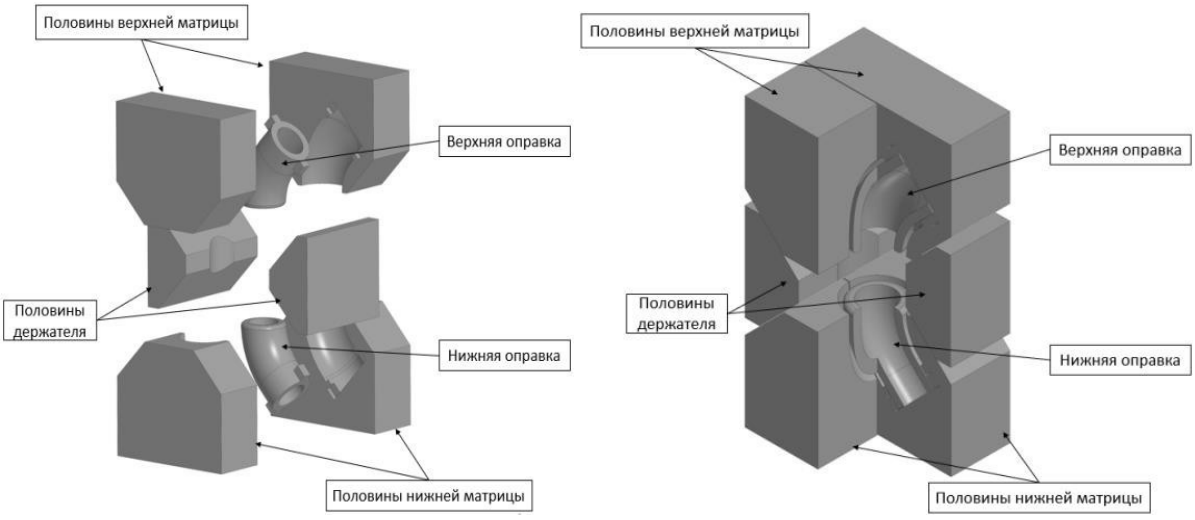


Рисунок 2 – Схема штамповой оснастки в разобранном и собранном состоянии

Моделирование выполнено для заготовок с разной толщиной – 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм, 3 мм. Полученные результаты представлены в виде эпюр интенсивности напряжений, деформаций и изменений толщин для заключительной стадии процесса (рис. 3).

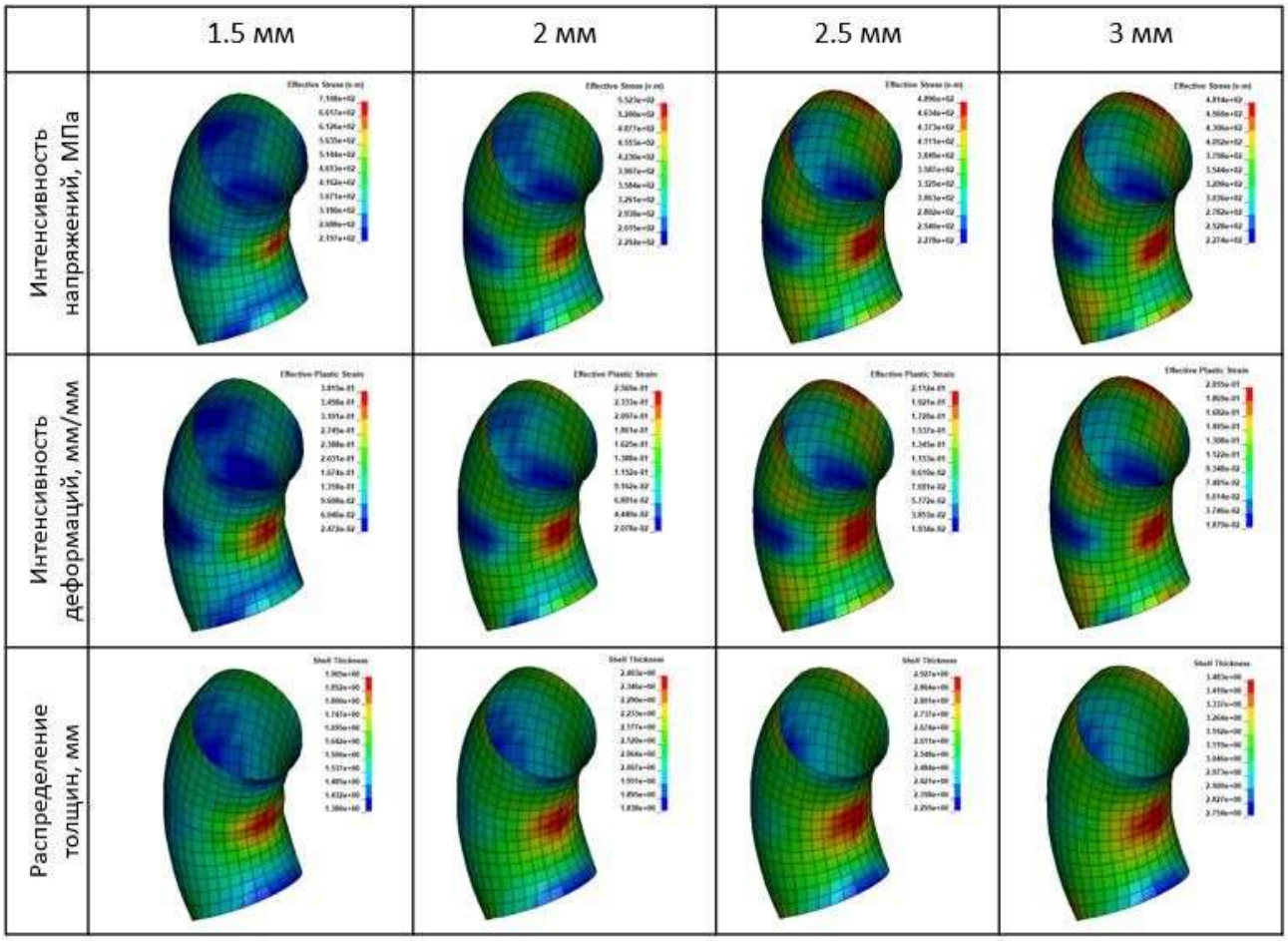


Рисунок 3 – Эпюры интенсивности напряжений, деформаций и изменения толщины

Исследование показало, что увеличение толщины положительно влияет на стабильность процесса. При формообразовании заготовки с толщиной 1,5÷2 мм возможна гофрообразование в цилиндрической части детали. При формообразовании с толщиной 2,5÷3 мм гофр не наблюдается.

Библиографический список

1. ГОСТ 17375-2001 Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D. – Введ. 2003-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 18 с.

2. Маслов, В.Д. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA: учебное пособие / В.Д. Маслов, К.А. Николенко. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 80 с.

УДК 621.039

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, УПРОЧНЕННОГО ТУГОПЛАВКИМИ ЛИГАТУРАМИ

© Калинин В.А., Кириллова А.В.

e-mail: kalinin.vlad05@gmail.com

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, модифицирование, лигатура, микроструктура, механические испытания, твердость.

При введении порошковых лигатур тугоплавких соединений, таких как SiC, NiC, AlN, есть возможность получить дисперсно-упрочненный композиционный материал [1]. Одним из способов получения композиционного материала можно использовать процесс модифицирования.

Процесс модифицирования позволяет получить мелкое зерно в процессе кристаллизации: когда в жидкий расплав вводят порошковую лигатуру, которая будет являться дополнительными центрами кристаллизации и одновременно упрочнителем.

При таком способе получения – матрицей композиционного материала является алюминий, а упрочнителем частицы вводимого порошка. Так как частицы вводимы тугоплавких частиц очень мелкие, для облегчения ввода дополнительно использовали порошок меди и никеля, который так же добавляет прочности, полученному сплаву. Лигатура представляет собой прессованные брикеты массой 5 гр состав: в порошок меди добавлено 2,5 % тугоплавкого соединения SiC.

Образцы после модифицирования, полученные по отработанному режиму подвергались микроисследованию и механическим испытаниям. По карте распределения элементов видно, что элементы после модифицирования распределены равномерно (см. рис.).

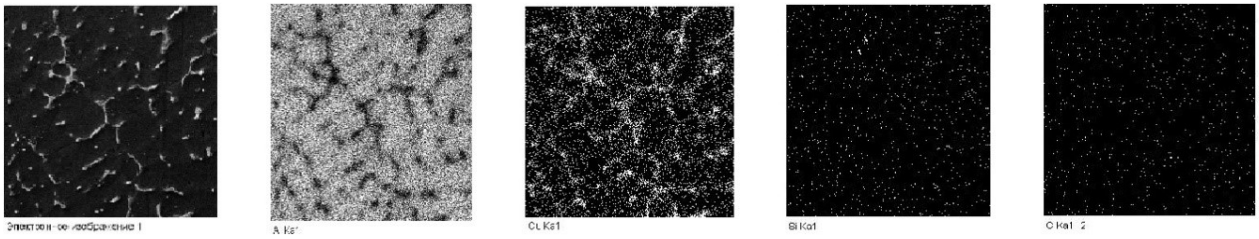


Рисунок – Распределение элементов по поверхности шлифа

Результат механических испытаний и полученной структуры свидетельствует об увеличения прочностных показателей полученных образцов, по отношению к исходному сплаву А7.

Библиографический список

1. Михеев, Р.С. Дискретно армированные композиционные материалы системы Al-TiC (обзор) / Р.С. Михеев, Т.А. Чернышова // Заготовительное производство в машиностроении. – 2008. – № 11. – С. 44–53.

УДК 621.454

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАМЕРЫ-ДЕМОНСТРАТОРА РДМТ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© Кудрявцев Н.А., Балабанов А.Л.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: kudryavcevlh@mail.ru

Научный руководитель: Назаров В.П., канд. техн. наук, профессор
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель малой тяги, металлический порошок, аддитивные технологии, селективное лазерное сплавление.

Целью данной работы является разработка технологического процесса изготовления камеры демонстратора жидкостного ракетного двигателя малой тяги методом селективного лазерного сплавления.

Производственный цикл состоит из нанесения тонкого слоя порошка на рабочую поверхность, как правило металлический стол, способный передвигаться в вертикальном направлении. Процесс печати протекает в рабочей камере, заполняемой инертными газами (например, аргоном). Отсутствие кислорода позволяет избегать оксидации расходного материала, что делает возможной печать такими материалами, как титан.

На первом этапе реализации проекта, в соответствии с программой научно-исследовательских работ СибГУ совместно с индустриальным партнером ООО «Полихром», проведен комплекс экспериментальных работ по апробации и отработке режимов изготовления на 3D-принтере ASTRA 420 (рис. 1) камеры РДМТ из модельного порошкового материала Силумин РС-300 [1].

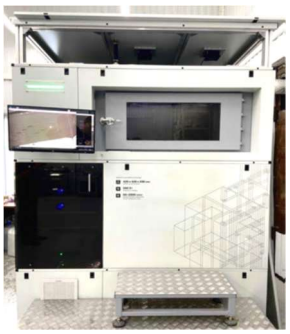


Рисунок 1 – 3D-принтер ASTRA 420. Внешний вид

Выбор данного материала объясняется его пластичностью, низкой температурой плавления и невысокой стоимостью. Изготовленные экземпляры камеры-демонстратора подвергались различным видам исследований и испытаний в лабораторных и производственных условиях.

В результате установлено, что технические характеристики принтера обеспечивают реализацию инновационных решений и динамической модуляции лазерного пятна с возможностью корректировки мощности лазера, что позволяет

достичь высоких скоростей построения деталей и, следовательно, приступить к печати камеры из жаростойкого аустенитного сплава Инконель 718 [2].

Печать камеры производилась при режимах, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы печати камеры из Инконель 718

Режимы	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
До критического сечения	300	300	190	150	Двунаправленная оптимизированная
Зона критического сечения					Однонаправленный
Закритическое сечение					Двунаправленная оптимизированная



Рисунок 2 – Камера сгорания, изготовленная из Инконель 718

Печать смесительной головки производилась при режимах, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Режимы печати смесительной головки из Инконель 718

Режимы	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
Внешний слой (1,5 мм)	300	300	190	150	Однонаправленная оптимизированная
Внутренний слой	400	700	235	200	Клетками

В ходе работы был составлен технологический процесс и требования к печати из материала печати из материала Инконель 718.



Рисунок 3 – Смесительная головка, изготовленная из Инконель 718

Для внедрения аддитивных методов производства в ракетном двигателестроении необходима обязательная сертификация на государственном уровне для подтверждения отраслевых стандартов. Это возможно только при проведении большого количества научно-исследовательских работ и экспериментов.

Библиографический список

1. Казаков, Р.А. Разработка технологического процесса изготовления экспериментальной камеры ракетного двигателя методом селективного лазерного сплавления на 3D-принтере / Р.А. Казаков, А.А. Фоменко, В.В. Гордеев, П.А. Бривкальн, И.В. Дергач // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. – Красноярск, 2022. – С. 188–190.

2. Акбулатов, Э.Ш. Исследование характеристик ракетного двигателя малой тяги, изготовленного методом аддитивной SLM-технологии / Э.Ш. Акбулатов, В.П. Назаров, Е.В. Герасимов // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2023. – Т. 24, № 4. – С. 682–696. – DOI: 10.31772/2712-8970-2023-24-4-682-696. – EDN QTCXOU.

УДК 621.98.043

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ТРЁХПЕРЕХОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛИ СО СФЕРИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ЧАСТЬЮ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг2М, РЕАЛИЗОВАННОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© Ласкин Е.П., Казаков А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: laskin.eva@yandex.ru

Научный руководитель: Николенко К.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: сферическая поверхность, сплав АМг2М, вытяжка, толщина стенки, деталь.

В машиностроительной отрасли особый интерес представляют технологические процессы изготовления тонкостенных деталей различной формы. Применение таких деталей, в частности в авиастроении, обусловлено высокими прочностными показателями в сочетании с малым весом [1]. Тем не менее разработка и внедрение технологий изготовления данной группы деталей является крайне трудоёмким.

В данной работе приведена технология трёхпереходной вытяжки детали со сферической донной частью из алюминиевого сплава АМг2М, реализованная в производственныхусловиях на предприятии ракетно-космической отрасли. В работе представлена деталь с заданными техническими параметрами и технология её изготовления с сопутствующими замерами, полученными при реализации на предприятии, которые показывают осуществимость рассматриваемой технологии.

Фрагмент чертежа детали и дополнительные технические требования представлены на рисунке 1.

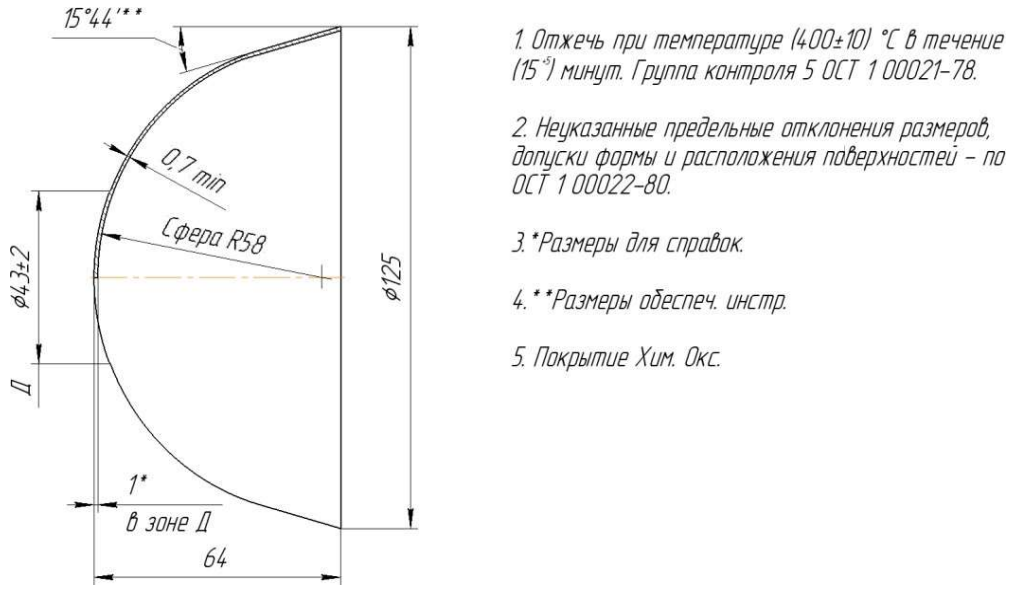


Рисунок 1 – Фрагмент чертежа детали и дополнительные технические требования

Разработка и внедрение данной технологии происходило пооперационно [2], согласно разработанной схеме деформирования (рис. 2, а). Конечные размеры межоперационных заготовок представлены на рисунке 2. Вытяжка производится из плоской заготовки диаметром 205 мм. Смазка осуществляется минеральным маслом. Усилие прижима 7,5–8 т.с.

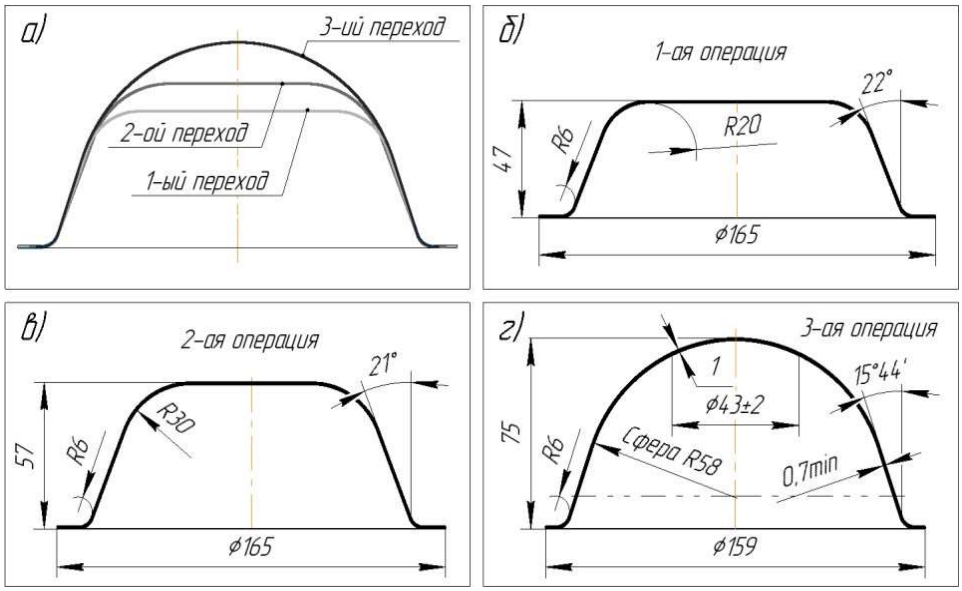


Рисунок 2 – а) схема деформирования, б) 1-я заготовка, в) 2-я заготовка, г) 3-я заготовка

Осуществление замеров заготовки в ходе трёх операций (рис. 3) показало, что утонение стенок на боковой поверхности не превышает предельные 0,7 мм, а в донной части составляет не менее 0,92 мм, что согласно ГОСТ 21631-76 допускается, исходя из предельных отклонений листов алюминиевого проката толщиной в 1 мм при минимальной ширине листа в 600 мм с нормальной точностью.

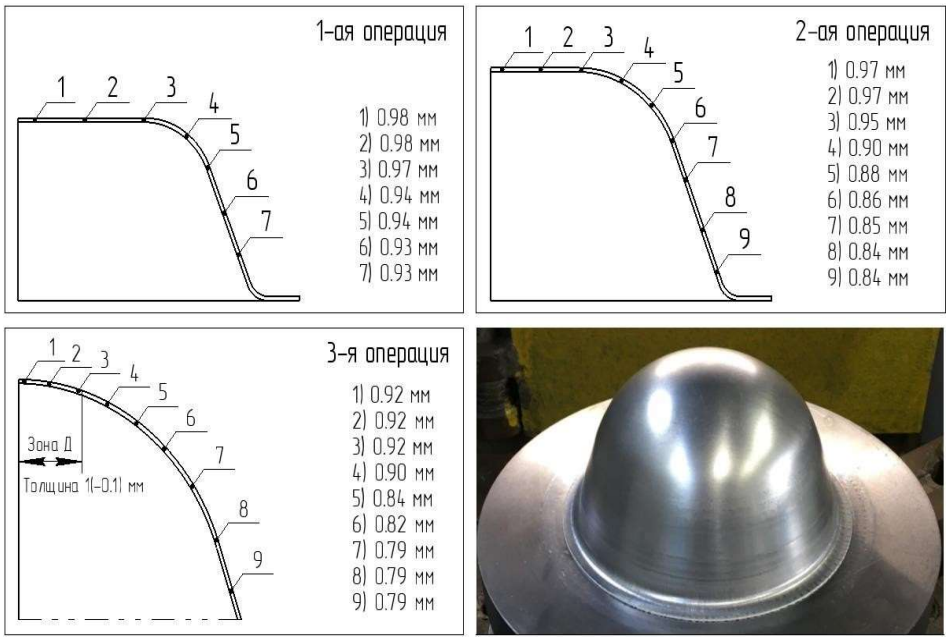


Рисунок 3 – Замеры стенок заготовки по операциям и полуфабрикат после 3-й операции

Вывод: данная технология является отработанной и может быть использована для разработки технологий изготовления деталей с аналогичными характеристиками.

Библиографический список

1. Смертин, С.А. Изготовление тонкостенных крутоизогнутых труб прямоугольного профиля методом Эгиш с предварительной гибкой / С.А. Смертин // Advanced Science. – 2017. – № 1 (5). – С. 36.

2. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.

УДК 621.9.011

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АНИЗОТРОПИИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЁТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ТОНКОСТЕННОЙ ОКРУГЛОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг2

© Ласкин Е.П., Казаков А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: laskin.eva@yandex.ru

Научный руководитель: Николенко К.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: коэффициенты анизотропии, моделирование, вытяжка, тонкостенная оболочка, точность расчёта.

Зависимость свойств материала от направления оказывает определённое влияние на технологические процессы изготовления изделий, в том числе и на операции листовой штамповки [1].

В данной работе дана оценка влияния коэффициентов анизотропии при моделировании процесса вытяжки тонкостенной округлой оболочки из листа алюминиевого сплава АМг2 толщиной в 1 мм. Влияние оценивалось на примере моделирования процесса вытяжки с изотропными и ортотропными параметрами в программном комплексе QForm V10.

Для испытания на растяжение и определение коэффициентов анизотропии были нарезаны 12 образцов, согласно ГОСТ 11701-84, с тремя направлениями проката: 0°, 45°, 90° (рис. 1).

Испытания производились на универсальной испытательной машине TIRATEST 28300. По результатам данных испытаний были получены следующие коэффициенты, характеризующие анизотропию листа АМг2 (1 мм): R0-0,54; R45-0,29; R90-0,5.

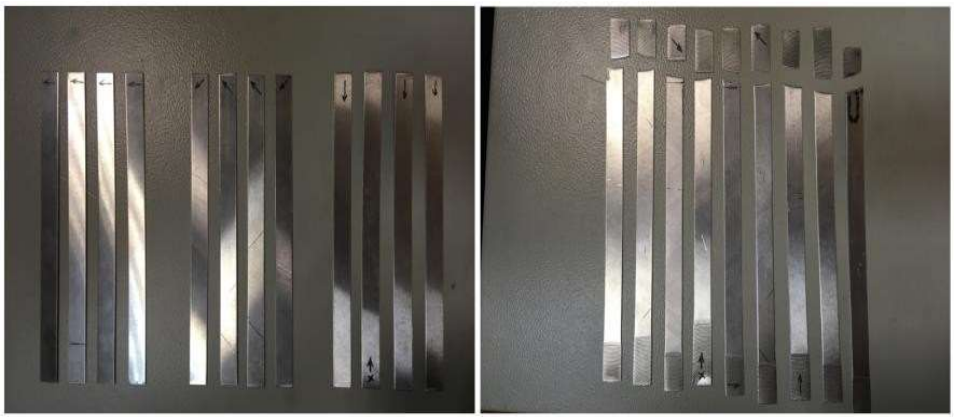


Рисунок 1 – Образцы до испытания (слева) и после испытания (справа)

Полученные параметры были загружены в базу данных материала в параметры модели пластичности Хилла-Мизеса. 3Д-модель вытягиваемой детали и компоновка

моделей инструментов представлены на рисунке 2. Методика моделирования осуществлялось согласно учебному пособию А.В. Власова [2].

Основные различия при вытяжке для обоих случаев можно выделить только на начальных этапах процесса с помощью поля интенсивности напряжений с заданием узкого диапазона значений (64–73 МПа) (рис. 3). На остальных этапах процесса данное различие существенно меньше. Заготовка с заданной ортотропией материала показывает наличие повышенных напряжений (более 73 МПа) в определённых областях заготовки, что свидетельствует о анизотропном поведении материала.

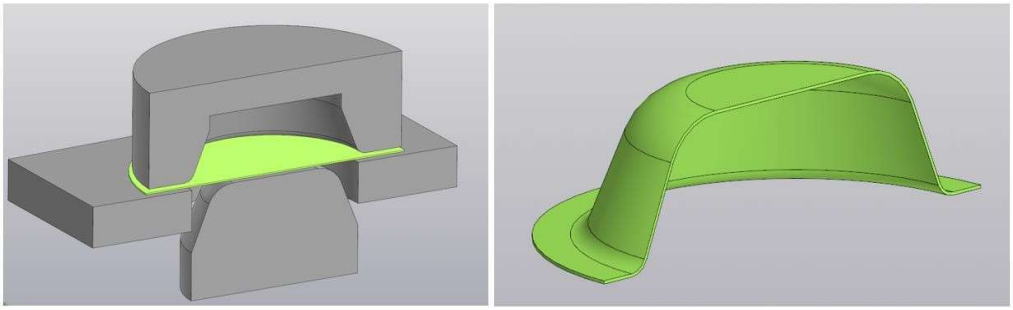


Рисунок 2 – Компоновка моделей инструментов (слева) и 3Д-модель вытягиваемой детали в разрезе (справа)

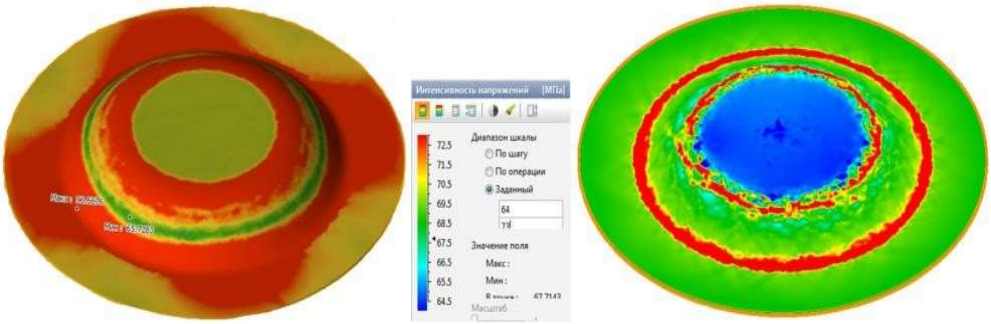


Рисунок 3 – Распределение интенсивности напряжений на начальных этапах вытяжки детали с ортотропными параметрами (слева) и изотропными параметрами (справа)

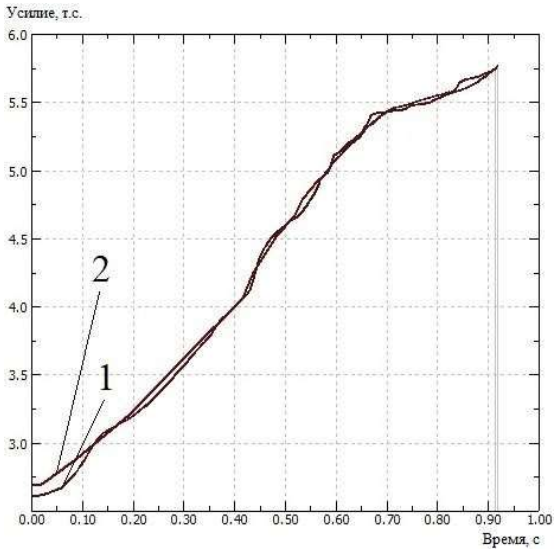


Рисунок 4 – График зависимости усилий от времени для ортотропной модели (2) и изотропной (1).

Если же смотреть на сравнение зависимости графиков усилия от времени для обоих случаев (рис. 4), то видно, что различие минимально. Также отсутствие различий наблюдалось и в картине упругих напряжений, а колебание толщины стенок деталей в обоих случаях не превышает средние значения по всей поверхности (0,96–0,97 мм).

Вывод: задание коэффициентов анизотропии при моделировании процесса вытяжки для данной конфигурации детали и материала даёт более точные результаты расчёта на первой стадии процесса, на последующих стадиях их влияние минимально.

Библиографический список

1. Арышенский, Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов / Ю.М. Арышенский. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1973. – 112 с.

2. Конечно-элементное моделирование технологических процессов ковки и объёмной штамповки / А.В. Власов, С.А. Стебунов, С.А. Евсюков [и др.]. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 384 с.

УДК 621.981.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАСПЛАВ

© Минебаев А.Р.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

e-mail: imp@ssau.ru

Научный руководитель: Глущенков В.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: литейное производство, расплав, импульсное магнитное поле.

В литейном производстве, при подготовке расплавов используется процесс перемешивания, обеспечивающий равномерность по объёму химического состава, структуры и механических свойств [1].

Существуют несколько методов перемешивания: механические, газовые, магнитные и другие. Существующие методы имеют те или иные недостатки (повышенный расход энергии, загрязнение металла, недостаточное обеспечение гомогенности). Поэтому разработка новых методов перемешивания является актуальной задачей [2].

В докладе рассмотрена возможность использования для перемешивания расплавов импульсного магнитного поля, физические основы его воздействия на жидкий металл.

Для понимания процессов, происходящих в расплаве под воздействием импульсного магнитного поля, проведено их моделирование и осуществлен поисковый эксперимент. Основная цель при этом определить возможность возникновения в расплаве металлопотоков.

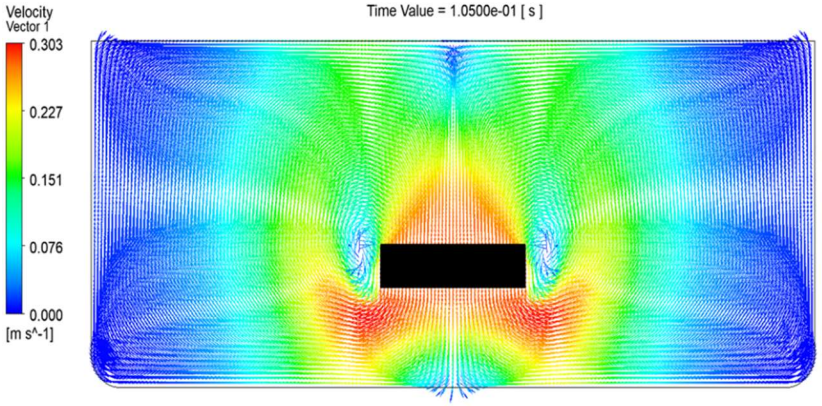


Рисунок – Пример развития металопотока при магнитно импульсном воздействии на погруженное тело

В основе моделирования лежит метод погружного тела в ANSYS CFX. Создана геометрическая сеточная модель. В результате расчетов для характерных точек в разных частях моделируемого объёма получены значения скоростей через разные промежутки времени. Установлены их направления и численные значения,

позволившие сделать вывод о существовании и развитии металлопотоков. Процесс формирования потоков довольно сложный. Возникают области завихрения. Определены места локализации (см. рисунок)

В поисковом эксперименте реальное воздействие ИМП, осуществлялось на вязкую жидкость (масло). В исследуемом объёме свободно располагались нити, движение и искажение их формы позволят определить наличие потоков жидкости. Видеокартины движения нитей под действием возникших потоков снимались на видеокамеру. Установлен факт искажения форм нити, наблюдался возникший поток жидкости на свободной поверхности.

Вывод: Магнитно-импульсное нагружение определяет возможность возникновения металлопотоков и их использование для перемешивания расплавов.

Библиографический список

1. Напалков, В.И. Структуры и дефекты слитков из алюминия и его сплавов: монография / В.И. Напалков, А.Е. Афанасьев, Б.В. Овсянников [и др.]. – Красноярск: СФУ, 2018. – 170 с.

2. Нурадинов, А.С. Процессы кристаллизации и формирования структуры литых заготовок монография / А.С. Нурадинов, М.Р. Нахаев. – Грозный, 2020. – 170 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LS-DYNA

© Михайлов А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: marsenij121@gmail.com

Научные руководители: Нестеренко Е.С., канд. техн. наук, доцент, Петров И.Н., ассистент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, холодная вытяжка, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений.

В современной промышленности холодная листовая штамповка деталей типа «стакан» с высокой геометрической точностью сталкивается с проблемами, такими как неравномерная толщина, гофрообразование и разрывы [1]. Для прогнозирования возникновения дефектов и их возможного устранения применяют метод программного моделирования [2].

В данной работе исследуется процесс компьютерной симуляции процесса вытяжки «полусферы» со следующими данными: $D_{\text{заг}} - 66$ мм, $d_{\text{пуансона}} - 33$ мм, $r_m - 5$ мм, $r_{\text{пуансона}} - 16{,}5$ мм, $s -$ 1 мм Mатериал $-$ 12Х18Н10Т ($\sigma_B - 700$ МПа, $\sigma_T - 250$ МПа, $\delta - 40\%$. Для материала была выбрана упруго-пластическая модель (plastic_kinematic)

Для моделирования процесса была создана оснастка в программе Компас 3D, размечена в оболочечные элементы (рис. 1) и заданы параметры скорости и материала.

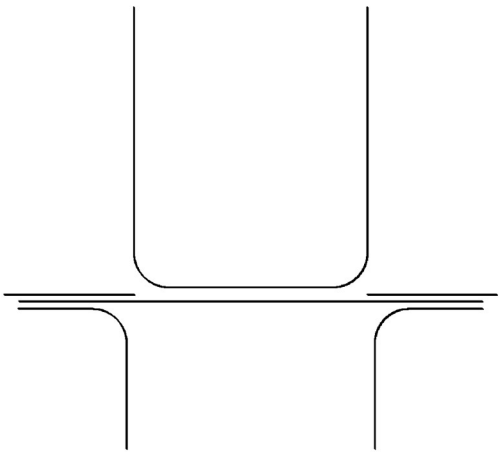


Рисунок 1 – Схема вытяжного штампа

В результате моделирования были получены следующие результаты распределения напряжений (рис. 2).

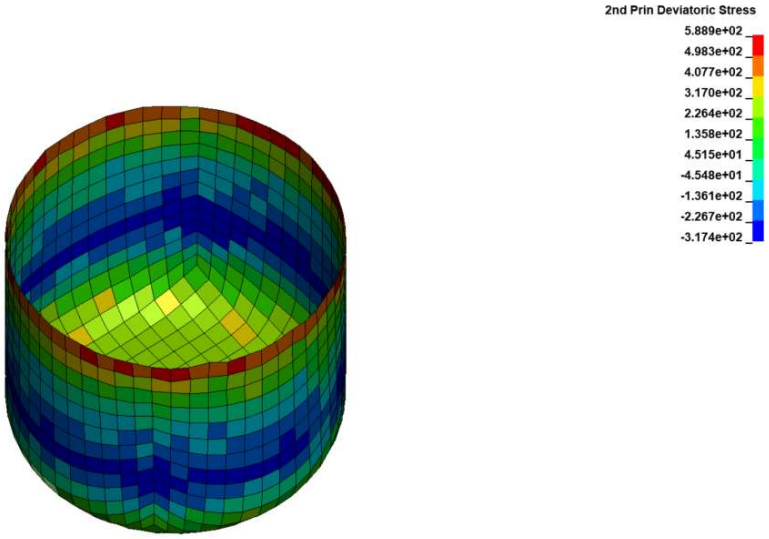


Рисунок 2 – Значение интенсивности напряжений при вытяжке ($\sigma_{max} = 588$ МПа, $\sigma_{min} = 46$ МПа)

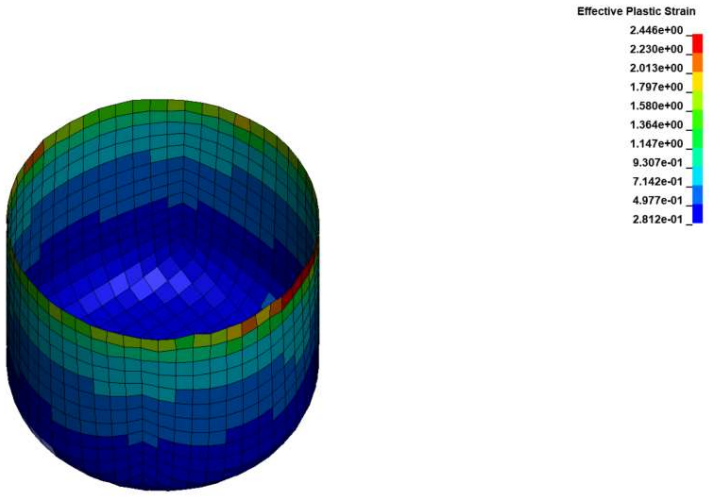


Рисунок 3 – Значения интенсивности деформаций при вытяжке (δmax = 24 %)

В результате моделирования были получены результаты напряженно-деформированного состояния (рис. 3), которые не превышают предельных характеристик материала [3].

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке: для высших технических учебных заведений и техникумов / В.П. Романовский. – М., 2012. – 520 с.

2. Рудман, И.Л. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка: для инженеров-конструкторов штампов листовой штамповки и технологов листоштамповочного производства / Л.И. Рудман, В.Л. Марченко, А.И. Зайчук [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988.

3. Мельников, Э.Л. Холодная штамповка днищ: Научная и учебная литература / Э.Л. Мельников – 2-е изд., перераб., доп. – М.: Машиностроение, 1986.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16 ЛИГАТУРАМИ Al-Si_3N_4

© Осетров Н.Е., Кузина А.А.

e-mail: kuzina.aa@ssau.ru

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: алюминиевый сплав, лигатура, армирование, насыпная масса, нитрид кремния.

В изделиях современной техники широко используются алюминий и его сплавы. Эти материалы интересны их малым удельным весом, высокими пластическими свойствами, технологичностью и коррозионной стойкостью. Сплавы алюминия активно применяются в качестве матриц дисперсно-армированных композиционных материалов (АМКМ). Введение в сплавы алюминия керамических частиц обеспечивает повышенные удельные прочность и жесткость, высокую износостойкость с сохранением малого удельного веса [1–5]. Функциональными возможностями и простотой исполнения отличается изготовление АМКМ с помощью армирования сплавов алюминия лигатурами, состоящими из металлического порошка – основы и нанопорошка – армирующей фазы.

В работе представлены исследования по получению лигатур Al-Si_3N_4 с содержанием армирующей фазы нитрида кремния до 5%. В качестве исходных порошков для получения исследуемых композиций Al-Si_3N_4 применялись алюминиевый порошок марки АКП со средним размером частиц от 75 до 250 мкм и порошок Si_3N_4 марки СВС-Аз в виде нановолокон диаметром 50 – 100 нм. Свойства полученных порошковых композиций Al-Si_3N_4 представлены в таблице.

Таблица – Свойства полученных порошковых композиций Al-Si_3N_4

Порошковая композиция	Компактная плотность, г/см^3	Средний размер частиц, мкм	Насыпная масса, г/см^3	Текучесть, г/с
Al+2,5%Si_3N_4	2,71	65…230	1,39	18,4
Al+5%Si_3N_4	2,72	60…225	1,36	16

В полученных порошковых композициях Al-Si_3N_4 с увеличением содержания армирующей фазы Si_3N_4 отмечается уменьшение насыпной массы, текучести и среднего размера частиц порошков. Полученные композиции порошков Al-Si_3N_4 прессовали с давлением от 45 до 110 МПа. Приготовлены порошковые лигатуры массой до 3 грамм с пористостью 10…25 %. Лигатуры, пористость которых не превышала 15%, вводились в расплав алюминиевого сплава Д16 при температуре ~ 700–750°С, время выдержки составляло ~ 30 мин. Перемешивание расплава проводилось керамическим прутком в течение 1–2 минут с интервалом в 5 минут. Получены литые образцы на основе алюминиевого сплава Д16, в которые были

введены лигатуры Al+2,5%Si_3N_4 и Al+5%Si_3N_4. В полученных образцах твердость изменялась по шкале НВ в пределах от 50 до 60 МПа.

Библиографический список

1. Rana, R.S. Review of recent studies in Al matrix composites / R.S. Rana, R. Purohit, S. Das // International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2012. – Vol. 3, iss. 6. – P. 1–16.

2. Абдельазиз, Х. Получение нанокомпозиционного материала с матрицей на основе алюминиевого сплава Al-7Si методом механического замешивания в стальную литейную форму с переменной толщиной стенок и исследование его характеристик / Х. Абдельазиз, Д. Сабер // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 155–171.

3. Курганова, Ю.А. Жидкофазный способ совмещения компонентов алюмоматричных дисперсно-упрочненных композиционных материалов / Ю.А. Курганова, Ю.А. Гончарова // Известия Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2021. – № 11. – С. 15–20.

4. Курганов, С.В. Высокотвердый и износостойкий композиционный материал АК12+SiC для втулок / С.В. Курганов, А.Г. Колмаков, И.В. Костычев, М.Е. Пруцков // Деформация и разрушение материалов. – 2021. – № 2. – С. 37–40.

5. Прусов, Е.С. Особенности формирования структуры литых алюмоматричных композитов / Е.С. Прусов, А.А. Панфилов, В.Б. Деев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 360–367.

УДК 621.98.04

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ

© Охапкин Ю.С., Иванус Е.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ekaterina.ivanus@mail.ru

Научный руководитель: Демьяненко Е.Г., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: вытяжка, эксперимент, отклонение, толщина, утонение.

Спутниковые антенны классифицируются по различным признакам, основными из которых являются форма и принцип действия. Антенны отличаются высокой направленностью волн, используются в зависимости от конкретных условий работы и требований к радиочастотным характеристикам (рис. 1) для приёма и передачи сигналов на большие расстояния; позволяют электронным способом управлять направлением луча без механического поворота.Основными элементами спутниковых антенн являются оболочки. Их геометрия в том числе определяет надёжность, стабильность работы антенны, частотный диапазон; направленность волн, усиление сигнала. Оболочки спутниковых антенн должны обладать высокой прочностью, малым весом и устойчивостью к внешним воздействиям. Обеспечение жёсткости конструкции; точность соблюдения геометрии в условиях больших габаритов с минимальной толщиной стенки необходимы для фокусировки электромагнитных волн. Такие дефекты, как гофрообразование и остаточные упругие деформации после деформирования, могут существенно снизить качество сигнала и надёжность антенны в целом [1–3].

Объектом исследования является процесс формообразования крупногабаритной особотонкостенной оболочки в виде тела вращения с образующей, которая задана уравнением $X = Y^2/4F$, где F = 380 (рис. 2). Материал антенны – алюминиевый сплав АМг5М. Для эксперимента использовалась цельная особотонкостенная листовая заготовка толщиной $S_{заг}$=2,0 мм и диаметром 1280 мм.

Разработана универсальная крупногабаритная оснастка, реализующая процесс вытяжки за два перехода и отбортовку фланца на третьем переходе [4; 5].Оснастка переналаживалась на каждый переход. Затраты на изготовление были сокращены за счет замены материалов основных рабочих частей. Вместо инструментальной стали использовали материал баленит (древесно-слоистый пластик), что позволило снизить металлоемкость крупногабаритного штампа. Реализация процесса осуществлялась на гидравлическом прессе с эластичной средой в контейнере [6]. На рисунке 3 изображена трёхмерная модель технологической оснастки с наладкой на второй переход вытяжки.

На первом переходе вытяжки прижим выше по высоте, чем прижим второго перехода. При этом вытяжка осуществляется на две третьих высоты конечной детали. Для осуществления отбортовки фланца на третьем переходе с матрицы снимается опора и прижим второго перехода. На третьем переходе пуансон прижимает заготовку в полости матрицы, а часть заготовки, находящаяся за пределами рабочей поверхности

пуансона, отбортовывается по матрице под воздействием эластичной среды. После каждого перехода заготовка отжигается при температуре 280°С в течение 2 часов.

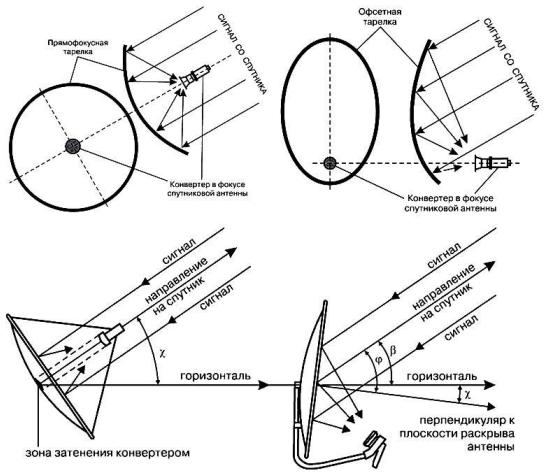


Рисунок 1 – Приём сигналов прямофокусной и офсетной тарелкой

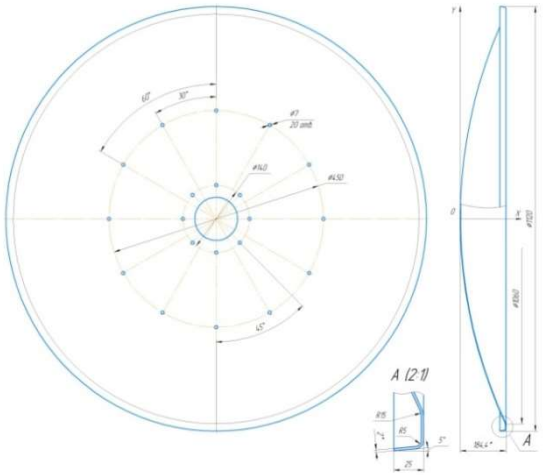


Рисунок 2 – Геометрия прямофокусной тарелки

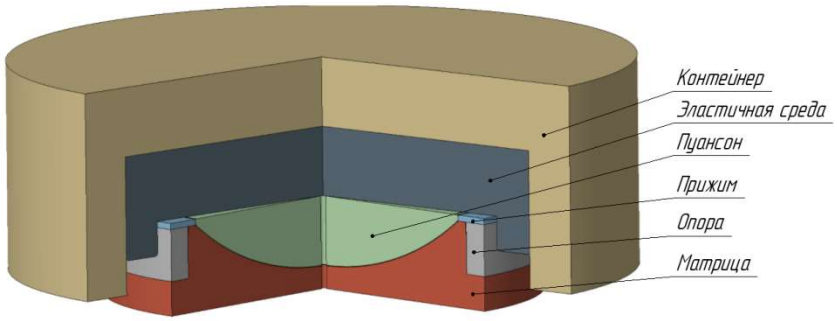


Рисунок 3 – Компьютерная модель оснастки в КОМПАС-3D

Для проверки отклонения заготовки от математической модели использовалась координатно-измерительная машина Spectra. Схема замеров осуществлялась по шести сечениям от центра к периферии (рис. 4). Результаты отклонений представлены в таблице.

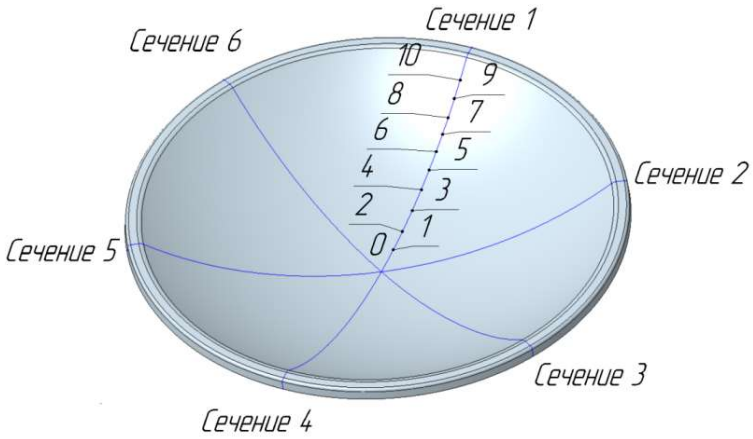


Рисунок 4 – Распределение интенсивности напряжений

Таблица – Результаты отклонений по сечениям детали

№ точки	Сечение 1	Сечение 2	Сечение 3	Сечение 4	Сечение 5	Сечение 6
1	0,198	0,206	0,186	0,190	0,214	0,231
2	0,255	0,222	0,287	0,264	0,254	0,278
3	0,197	0,194	0,178	0,195	0,184	0,190
4	0,082	0,062	0,073	0,078	0,077	0,084
5	0,044	0,046	0,042	0,046	0,039	0,049
6	0,006	0,008	0,012	0,000	0,010	0,020
7	–0,181	–0,201	–0,194	–0,175	–0,198	–0,179
8	–0,426	–0,384	–0,434	–0,404	–0,428	–0,442
9	–0,644	–0,598	–0,641	–0,632	–0,654	–0,624
10	–0,758	–0,725	–0,789	–0,802	–0,746	–0,762

Согласно полученным результатам наибольшие отступления от контура возникают в периферийной зоне оболочки со знаком минус, при этом в точках с 3 по 7 деталь имеет отклонения от контура в пределах допуска на изготовление детали ±0,2мм. В центральной зоне присутствуют отклонения со знаком плюс. При анализе отклонений заметно выворачивание заготовки относительно центральных точек. На внутренней части детали отсутствовали гофры, но при этом в части фланца, после отбортовки фланца имелось образование небольших гофр. Минимальная толщина детали составила 1,82 мм в донной части, что является допустимым утонением.

На основании полученных результатов эксперимента можно сделать вывод, что предложенная и реализованная схема деформирования оказалась недостаточно эффективной, так как геометрия детали не соответствует теоретическому контуру. В связи с этим требуется пересмотр технологического подхода и возможно введение дополнительных операции для доводки детали до соответствия конструкторской документации.

Библиографический список

1. Воскресенский, Д.И. Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток (обзор работ) / Д.И. Воскресенский, Ю.В. Котов, Е.В. Овчинникова // Антенны. – 2005. – № 11.

2. Верба, В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба [и др.]. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.

3. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие / Е.Н. Сутырина. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.

4. Мошнин, Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей / Е.Н. Мошнин // М.: Машиностроение, 1973. – 240 с., ил.

5. Ильюшин, А.А. Пластичность. Упруго-пластические деформации / А.А. Ильюшин. – М.: URSS, 2017. – С. 97–120.

6. Блинов, М.А. Анализ напряженно-деформированного состояния заготовки при штамповке полиуретаном / М.А. Блинов, И.С. Михайловская // Кузнечно-штамповочное производство. – 1997. – № 2. – С. 20–24.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА «ПОЛУСФЕРА» ПРИ ВЫТЯЖКЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LS-DYNA

© Пашнин М.Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: mat.11122233300@gmail.com

Научный руководитель: Нестеренко Е.С. канд. техн. наук, доцент, Петров И.Н., ассистент
Самарский национально исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, холодная вытяжка, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений.

В современной промышленности до сих пор присутствуют проблемы с получением методами холодной листовой штамповки детали типа «Полусферы» с повышенной степенью точности к геометрическим размерам [1]. К таким дефектам относят: большие перепады толщины, гофрообразование, разрыв [2]. Чтобы избежать данных проблем используют метод программного моделирования [3].

В данной работе исследуется процесс компьютерной симуляции процесса вытяжки «полусферы» со следующими данными: $D_{\text{заг}} - 46$ мм, $d_{\text{пуансона}} - 33$ мм, $r_m -$ 5 мм, $r_{\text{пуансона}} - 16{,}5$ мм, $s - 1$ мм, Mатериал $-$ А5 (σ_B – 95 Мпа, σ_T – 30 Мпа, δ $-$ – 40%. Для материала была выбрана упруго-пластическая модель (plastic_kinematic).

Для моделирования процесса была создана оснастка в программе Компас 3D, размечена в оболочечные элементы (рис. 1) и заданы параметры скорости и материала.

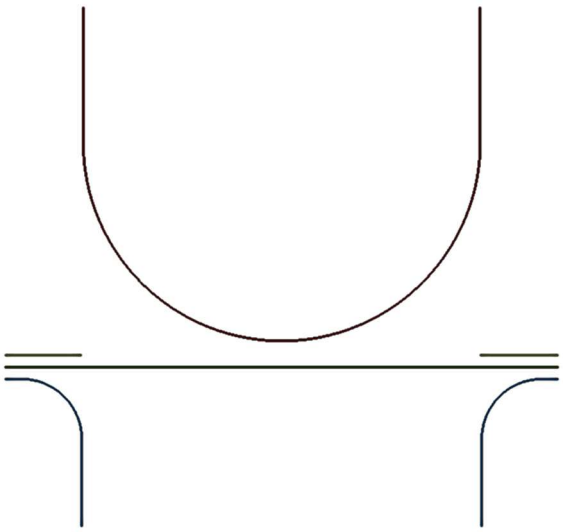


Рисунок 1 – Схема вытяжного штампа

В результате моделирования были получены следующие результаты распределения напряжений (рис. 2).

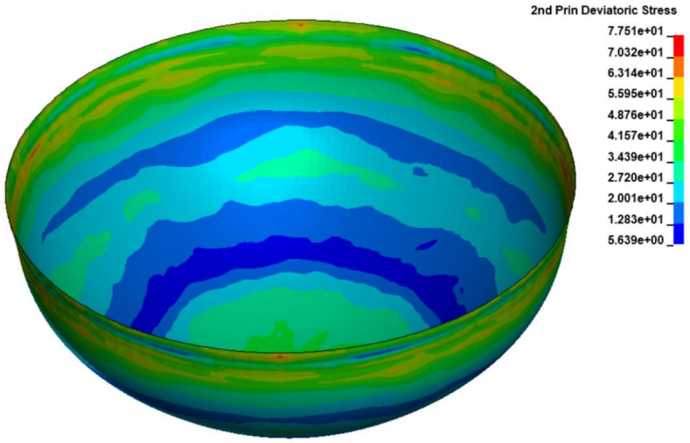


Рисунок 2 – Значение интенсивности напряжений при вытяжке ($\delta_{max} = 77$ МПа, $\delta_{min} = 56$ МПа)

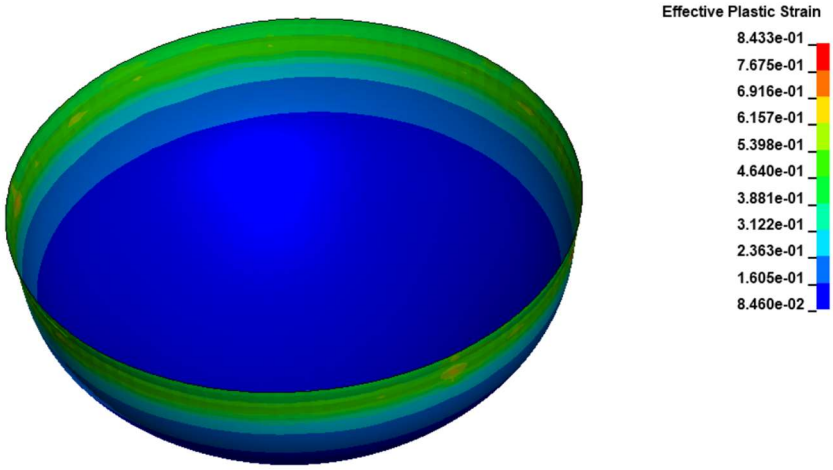


Рисунок 3 – Значения интенсивности деформаций при вытяжке (δmax = 38 %)

В результате моделирования были получены результаты напряженно-деформированного состояния (рис. 3), которые не превышают предельных характеристик материала.

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке: для высших технических учебных заведений и техникумов / В.П. Романовский. – М., 2012. – 520 с.

2. Рудман, И.Л. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка: для инженеров-конструкторов штампов листовой штамповки и технологов листоштамповочного производства / Л.И. Рудман, В.Л. Марченко, А.И. Зайчук [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988.

3. Мельников, Э.Л. Холодная штамповка днищ: Научная и учебная литература / Э.Л. Мельников. – 2-е изд., перераб., доп. – М.: Машиностроение, 1986.

УДК 621.767

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

© Пронина-Репованян М.Р.

Самарский национально-исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: wintersoldier6789@gmail.com

Научный руководитель: Разживин В.А., ассистент
Самарский национально-исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, титановый сплав, остаточные напряжения, микроструктура, термическая обработка.

Технологии аддитивного производства (АП) широко применяются для изготовления большого спектра функциональных изделий сложной геометрической формы в различных отраслях промышленности [1; 2].

В данной работе рассматривался кольцевой образец из титанового сплава ВТ6, внешний диаметр которого составлял 35,5 мм, внутренний – 30 мм, высота – 4 мм. Получение образца осуществлялось на установке TruePrint2000 (Германия). Скорость лазера при сплавлении составляла 1300 мм/с, мощность 100 Вт. Применялась шахматная стратегия наплавки, размер ячейки при этом составлял 1,5 мм.

Образец исследовался в исходном состоянии и после термической обработки (ТО), целью которой являлось снятие неблагоприятных растягивающих и создание сжимающих остаточных напряжений (ОН). В качестве оборудования для ТО выступала вакуумная электротермическая установка КБ 124 (Россия). ТО представляла собой высокотемпературный отжиг в защитной среде аргона при температуре 800°С и выдержкой 4 часа с последующим охлаждением вместе с печью.

Для проведения анализа микроструктуры и измерения микротвердости были подготовлены шлифы в двух направлениях: поверхность и в торец сечения кольца с последующим травлением. Анализ микроструктуры проводился на оптическом микроскопе Zeiss Axio Vert. A1 Mat (Германия) в светлом поле с увеличением х200 для каждого направления. Обработка полученных изображений микроструктуры проводилась в программном комплексе SIAMS 800 (Россия).

Для измерения ОН использовался метод послойного травления. Для этого применялась установка АСБ-1 (Россия), датчик перемещения которой обеспечивает измерения перемещений образца с дискретностью 0,1 мкм, измерительное усилие датчика при этом составляет не более 1 Н.

Структура поверхности и торца образцов пластинчатая, зерна тонкие разноориентированные, имеют вытянутую игольчатую форму. После ТО структура практически не изменилась. Она пластинчатая, зерна немного толще, чем до ТО, они разноориентированы и имеют игольчатую форму в обоих направлениях.

После ТО уровень растягивающих ОН снизился в 10 раз – с 200 МПа до 20 МПа. При этом на поверхности ОН не изменили знак и остались сжимающими. Необходимо отметить, что полученные значения ОН не являются стабильным результатом.

Исследования ОН позволяют сделать вывод, что ТО с применением типовых режимов, является эффективным способом снятия ОН в образцах изготовленных СЛС. Однако, выбор режимов ТО с целью снятия ОН необходимо осуществлять индивидуально для каждого изделия.

Библиографический список

1. Nyamekye, P. Impact of additive manufacturing on titanium supply chain: Case of titanium alloys in automotive and aerospace industries / P. Nyamekye, S. Rahimpour, H. Golroudbary Piili, P. Luukka, A. Kraslawski // Advances in Industrial and Manufacturing Engineering. – 2023. – V. 6. – P. 100112. – DOI: 10.1016/j.aime.2023.100112.

2. Salunkhe, S.Current trends of metal additive manufacturing in the defense, automobile, and aerospace industries / S. Salunkhe, D. Rajamani // Mechanical Engineering Series, Advances in Metal Additive Manufacturing. Woodhead Publishing. – 2023. – P. 147–160. – DOI: 10.1016/B978-0-323-91230-3.00004-4.

УДК 621

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ С ШИРОКИМ ФЛАНЦЕМ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т

© Синичкин А.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: sinart001@mail.ru

Научные руководители: Нестеренко Е.С., канд. техн. наук, доцент, Петров И.Н., ассистент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: процесс вытяжки, листовая штамповка, фланец.

В данной работе проведено моделирование процесса глубокой вытяжки с прижимом. Модель процесса представлена на рисунке 1. Диаметр заготовки 66мм, толщина 1 мм, диаметр детали 33 мм, радиус матрицы и пуансона 5мм, материал заготовки 12Х18Н10Т, материал оснастки Х12МФ [1; 2].

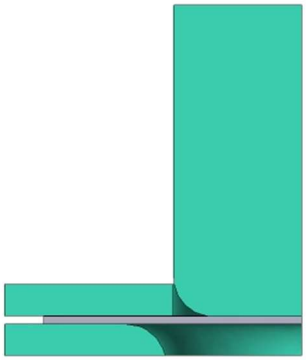


Рисунок 1 – Модель процесса вытяжки

В результате моделирования были получены следующие значения интенсивности напряжений и деформаций (рис. 2, рис. 3).

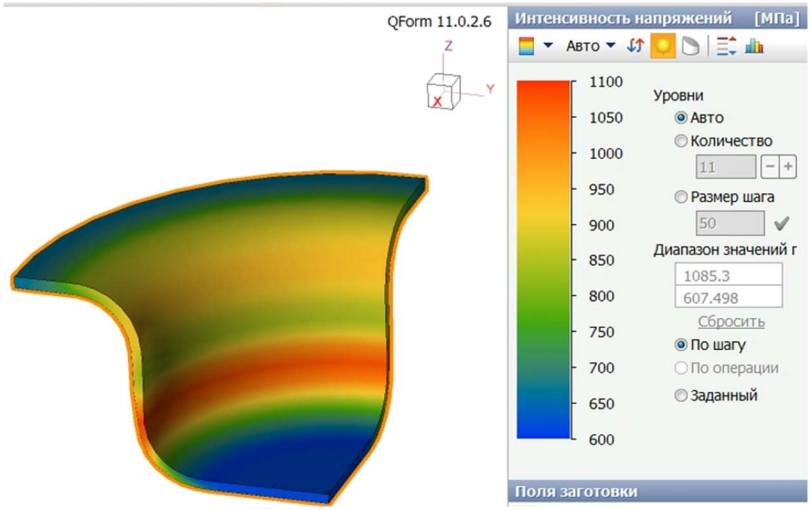


Рисунок 2 – Интенсивность напряжений

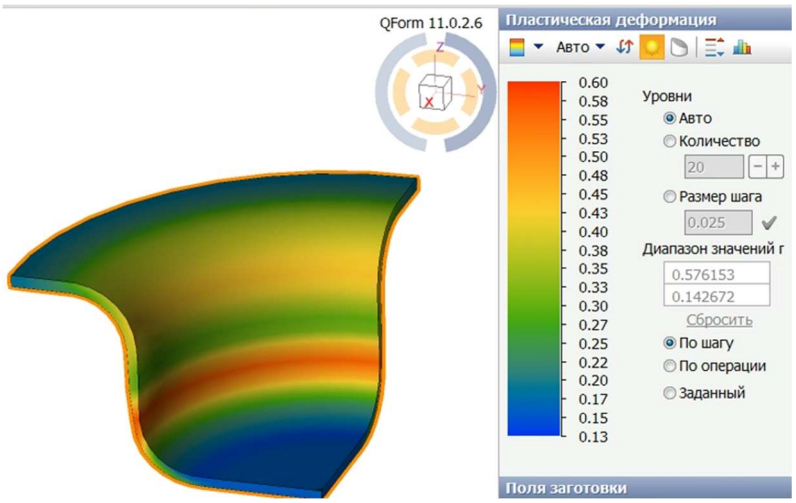


Рисунок 3 – Пластическая деформация

Максимальная интенсивность напряжений составила 1100 МПа в радиусной части заготовки перехода дна в цилиндрическую часть, минимальная интенсивность напряжений равнялась 600 МПа на дне заготовки. Максимум пластической деформации составил 60 % в опасном сечении. Полученные данные не превышают предельные характеристики материала 12Х18Н10Т.

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

2. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки: учебное пособие / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 366 с.

УДК 621.791.92: 621.791.754: 621.791.042

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

© Скороумов А.К., Черников Д.Г.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: andreyskoroumov@mail.ru

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, электродуговое выращивание, аддитивные технологии, управление структурой.

В современном мире развитие технологий обработки металлов является одним из ключевых факторов повышения эффективности производства и улучшения качества продукции. Одним из перспективных направлений является магнитно-импульсная обработка (МИО) расплавов алюминиевых сплавов. Эта технология позволяет улучшить структуру и свойства образцов, что особенно важно для изделий ответственного назначения [1]. На основе данной технологии было предложено внедрить технологию МИО в процесс получения изделий методом электродуговой наплавки.

Для получения первичных результатов, описанной выше новой комбинированной технологии был проведен поисковый эксперимент по исследованию влияния параметров магнитно-импульсной обработки в процессе электродуговой наплавки на структуру и свойства образцов из алюминиевого сплава. Для проведения эксперимента был изготовлен индуктор, имеющий форму открытого тора и окольцовывающий сопло сварочной горелки. Основой для проведения экспериментов послужил опыт в МИО расплава сварочной ванны во время сварки [2].

Наплавка проводилась при помощи роботизированного манипулятора Dobot CR 10, сварочным аппаратом EWM Titan 350 XQ Puls, горелкой MIG MS24. Использовалась проволока толщиной 1 мм из алюминиевого сплава Св-АК5, наплавка проводилась в защитном газе – аргоне, расход газа составлял 15 литров в минуту. Сила тока составляла 105 Ампер, а скорость печати – 450 миллиметров в минуту. Наплавка выполнялась в импульсном режиме. Диаметр присадочной проволоки составлял 1 мм, скорость подачи проволоки – 7 м/мин, длина наплавленных образцов составляла 100 мм.

Наплавка основного материала производилась на специально подготовленную подложку, представляющую собой алюминиевую пластину толщиной 30 мм. Наплавка проводилась по специально написанной программе, координирующей одновременно как перемещения робота, так и параметры сварочного полуавтомата. Во время наплавки робот перемещал горелку по прямой траектории вперед-назад, наплавляя образцы в обоих направлениях, при этом делая временные паузы между слоями по 120 секунд. Длина наплавляемой дорожки задавалась 150 мм. Наплавлялись образы прямоугольной формы с толщиной стенки в 1 слой, высота составляла 18 слоев или порядка 27 мм.

Для МИО во время наплавки использовалась установка МИУ-1. Были выбраны три минимальные энергии разряда конденсаторами МИУ-1: 186, 332 и 518 Дж. Обработка проводилась с частотой импульсов в 1 Гц. Наплавка одного слоя происходила в течение 20 секунд, соответственно для обработки одного слоя длинной 150 мм требовалось 20 импульсов. Из исследований магнитного поля индуктора было

также выявлено, что зона действия магнитного моля индуктора, ограничена зоной внутри кольца индуктора, зная внутренний диаметр кольца индуктора, составляющий 42 мм, известно, что обработка наплавляемой дорожки металла происходила с нахлестом приблизительно в 75 %.

Подача импульсов магнитно-импульсной установкой осуществлялась с частотой скважности 1 Гц. Управление установкой осуществлялось при помощи специального счетчика импульсов.

Для анализа макроструктуры получали шлифы образцов. Сперва образцы распиливались поперек слоев наплавки. Затем они заливались эпоксидной смолой в специально подготовленную форму. После затвердевания эпоксидной смолы образцы извлекались из формы и подвергались шлифованию при помощи наждачной бумаги с понижением зернистости 80, 400, 800, 1000, 2000. После производилась полировка образцов пастой ГОИ до зеркального блеска. Для рассмотрения и фиксации макроструктуры использовался микроскоп Метам ЛВ–24 и анализатор изображений Siams 800. На рисунке 1 показана макроструктура средней части образцов, увеличение 50 крат, при различной энергии воздействия МИО.

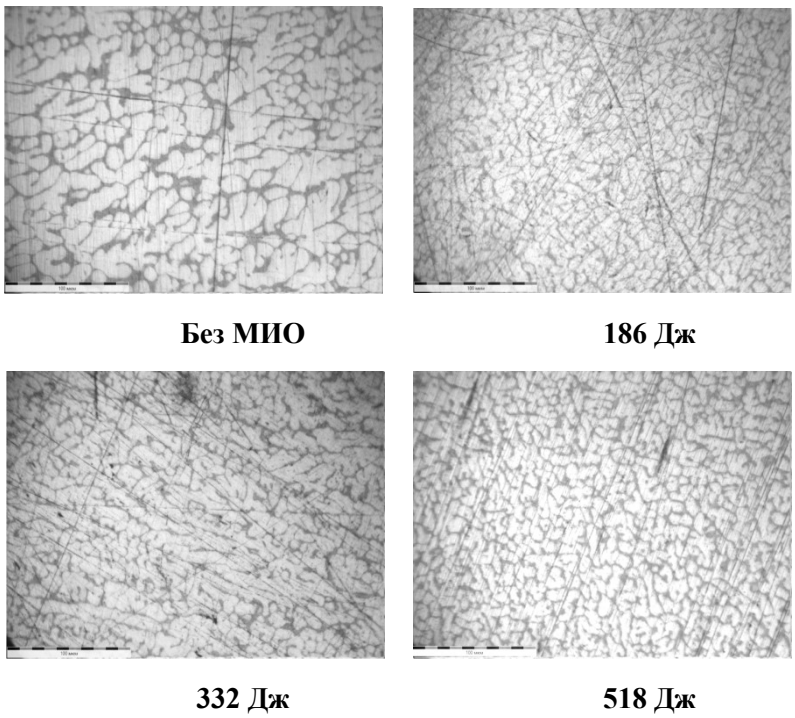


Рисунок 1 – Макроструктура экспериментальных образцов из сплава Св-АК5 при различной энергии воздействия МИО

По полученным снимкам макроструктуры можно сказать, что магнитно-импульсная обработка оказывает ощутимое модифицирующее воздействие на макроструктуру сплава Св-АК5, максимальное измельчение дендритов α-Al установлено при обработке наплавляемых слоев с энергией разряда 186 Дж. Несплавления слоев отсутствуют.

Механические испытания на растяжение проводились на разрывной испытательной машине ИР 5057-50 согласно ГОСТ 1493-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». Образцы были получены методом наплавки с последующей проточкой на токарном станке. Размеры образцов для механических испытаний по ГОСТ 1493-84 тип III, номер образца 9.

В процессе испытаний образцы подвергали растягивающей нагрузке до их разрушения. В результате были получены количественные значения, характеризующие механические свойства образцов, такие как предел прочности σ_B, и относительное удлинение δ. Результаты механических испытаний представлены в виде гистограммы механических свойств образцов на рисунке 2.

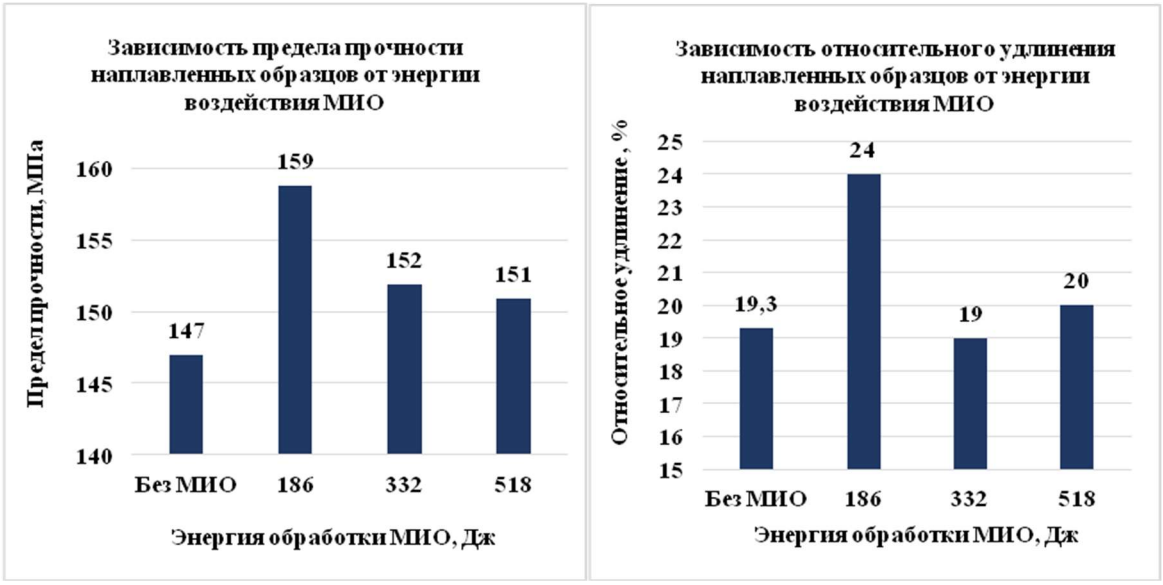


Рисунок 2 – Зависимости предела прочности и относительного удлинения наплавленных образцов от энергии воздействия МИО

Из полученных данных механических испытаний образцов можно сказать, что изменение механических характеристик не пропорционально вложенной энергии, наилучший результат показал образец № 1 с минимальной энергией воздействия 186 Дж. Стоит отметить, что полученные результаты также коррелируются с результатами полученной макроструктуры образцов, где наилучшее измельчение зерна также отмечено на режиме обработки с минимальной энергией МИО.

Для дальнейшего изучения влияния МИО на свойства наплавляемых электродуговой сваркой образцов требуются дополнительные экспериментальные исследования, однако из уже полученных данных можно говорить о том, что магнитно-импульсная обработка положительно влияет на механические свойства наплавленных образцов, повышает предел прочности и относительное удлинение, что в дальнейшем развитии данной комбинированной технологии может значительно улучшить прочностные и эксплуатационные характеристики деталей, получаемых электродуговой наплавкой.

Библиографический список

1. Глущенков, В.А. О воздействии импульсных магнитных полей на расплавы / В.А. Глущенков, Д.Г. Черников, В.И. Никитин, К.В. Никитин // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 4. – С. 47–50.

2. Скороумов, А.К. Применение магнитно-импульсной обработки при электродуговой сварке алюминиевых сплавов / А.К. Скороумов, Д.Г. Черников // XVII Королевские чтения: материалы Всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием, посвящённой 35-летию со дня первого полёта МТКС «Энергия – Буран». – Т. 1. – Самара, 2023. – С. 81–82.

УДК 621.791.92: 621.791.754: 621.791.042

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ МЕТОДОМ WAAM С ОДНОВРЕМЕННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

© Скороумов А.К., Черников Д.Г.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: andreyskoroumov@mail.ru

Ключевые слова: экспериментальный стенд, магнитно-импульсная обработка, электродуговое выращивание, оборудование.

В современных условиях развития машиностроительных и металлургических технологий всё большее внимание уделяется интеграции физических методов воздействия на металл в процессе его формирования. Одним из перспективных направлений является создание гибридных технологий, сочетающих традиционные процессы, такие как дуговая наплавка (WAAM), с дополнительным внешним воздействием на расплав – например, магнитно-импульсной обработкой (МИО). Такой подход позволяет модифицировать структуру металла без изменения его химического состава, повышая однородность и прочностные характеристики [1; 2].

Для реализации этой идеи был разработан и собран экспериментальный стенд, объединяющий роботизированный манипулятор, сварочный источник и магнитно-импульсную установку. В ходе исследований подтверждена эффективность комбинированного воздействия на расплав: улучшилась микроструктура, повысилась плотность наплавленного металла и механические свойства изделий. Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего совершенствования аддитивных технологий с использованием физических методов обработки металла.

Экспериментальная установка включала следующие ключевые компоненты сварочный инверторный полуавтомат EWM Titan 350 XQ Puls D (рисунок 1, а), обеспечивающий стабильную дугу и высокую точность подачи алюминиевой проволоки диаметром 1 мм; горелку MIG MS24 (рисунок 1б), используемую для подачи защитного газа (аргона) и расплавления проволоки; роботизированный манипулятор Dobot CR10 (рисунок 1, б), обеспечивающий точное позиционирование горелки и контроль траектории наплавки; магнитно-импульсную установку МИУ-1 (рисунок 1, в), разработанную в Самарском университете – источник импульсного магнитного поля, питаемый от бытовой сети (220 В); индукторы прямоугольного и кольцевого типа, обеспечивающие локальное воздействие на расплавленную ванну; тепловизор FLIR SC7000, позволяющий регистрировать температурное поле в процессе наплавки; осциллограф LeCroy WaveSurfer 434, применяемый для синхронизации сигналов управления и анализа параметров тока.

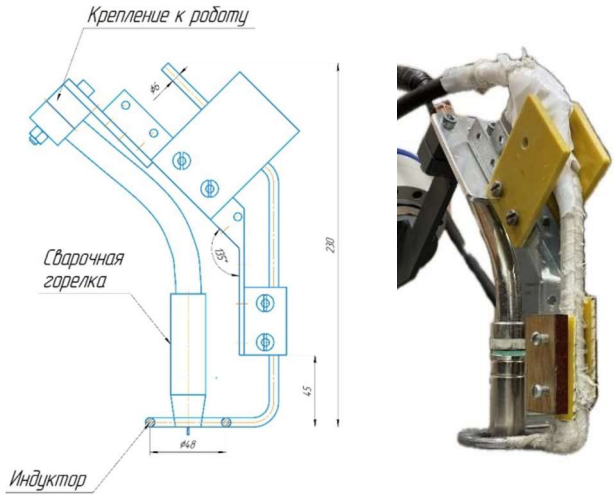
Наплавка проводилась в защитном газе – аргоне, расход газа составлял 15 литров в минуту. Сила тока составляла 105 Ампер, а скорость печати – 450 миллиметров в минуту. Наплавка выполнялась в импульсном режиме. Диаметр присадочной проволоки составлял 1 мм, скорость подачи проволоки – 7 м/мин, длина наплавленных образцов составляла 100 мм.



а) **б)** **в)**

Рисунок 1 – а) Сварочный инверторный полуавтомат EWM Titan 350 XQ Puls D, б) роботизированный манипулятор DOBOT CR10, в) установка МИУ-1

Для обеспечения пространственной и временной согласованности работы всех систем были разработаны специальные конструктивные решения, предусматривающие крепление индуктора непосредственно на сварочной горелке. На этапе проектирования были выполнены 3D-модели узлов крепления в программном комплексе КОМПАС-3D, после чего изготовлены эскизы и собран экспериментальный узел, представленный на рисунке 2. Общий вид полученного экспериментального стенда приведен на рисунке 3.



а) б)

Рисунок 2 – а) Эскиз крепления кольцевого индуктора к сварочной горелке, б) внешний вид собранного узла

Было рассмотрено два варианта исполнения с прямоугольным и кольцевым индуктором. Анализ распределения магнитного поля показал, что использование прямоугольного индуктора нецелесообразно вследствие «провала» поля в центральной части, вызванного разрывом витка. По этой причине для проведения экспериментов

был выбран кольцевой индуктор, который позволил равномерно распределить магнитное поле вокруг зоны наплавки и обеспечить её полноценное воздействие.

Эксперименты проводились с различными режимами МИО, варьируя энергию разряда (186 Дж, 332 Дж, 518 Дж), при этом число импульсов на один слой составляло 20. Установлено, что при всех значениях энергии разряд подаётся точно в зону наплавки, без разбрызгивания металла, обеспечивая стабильную геометрию образцов. Анализ микроструктуры показал, что МИО оказывает существенное влияние на формирование структуры сплава, особенно при минимальной энергии разряда (186 Дж). Наблюдается значительное измельчение дендритов α-Al и повышение однородности структуры. При этом между слоями наплавки отсутствуют дефекты, что говорит о высоком уровне адгезии и качестве соединения.

Механические испытания на растяжение выявили увеличение предела прочности σв и относительного удлинения δ, особенно при низкоэнергетическом режиме. Анализ микротвердости показал её незначительное снижение, однако полученные значения остаются в пределах допустимых норм для данного класса сплавов.



Рисунок 3 – Общий вид экспериментального комплекса «электродуговая наплавка – магнитно-импульсная обработка»

Таким образом, разработанный экспериментальный комплекс позволяет успешно реализовывать гибридный метод воздействия на расплавленную ванну магнитно-импульсным полем в процессе электродуговой наплавки по технологии WAAM. Использование современного оборудования, особое внимание к конструкции индукторов и их креплению, а также применение систем контроля и синхронизации обеспечивают воспроизводимость результатов исследований и открывают перспективы дальнейшего совершенствования технологии для повышения качества изделий, получаемых аддитивными методами.

Библиографический список

1. Никитин, К.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование обработки расплавов на основе алюминия импульсными магнитными полями / К.В. Никитин, Е.А. Амосов, В.И. Никитин, В.А. Глущенков, Д.Г. Черников // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2015. – № 5. – С. 11–19.

2. Черников, Д.Г. Совершенствование способа магнитно-импульсной обработки алюминиевых расплавов / Д.Г. Черников, В.А. Глущенков, В.И. Никитин, К.В. Никитин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 6. – С. 256–262.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

© Солдаткина О.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: olesya.bolshakova.99@bk.ru

Научные руководители: Глущенков В.А., канд. техн. наук, доцент,
Оруджова Т.С., инженер
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, режим, механические свойства, метод селективного лазерного сплавления.

В настоящее время активно развивается в различных отраслях промышленности аддитивная технология лазерного селективного сплавления порошковой композиции (ПК). Послойное сплавление ПК порождает неравномерность теплового воздействия, приводящая к формированию значительных остаточных напряжений, к разбросу механических свойств, к искажению формы детали и другим негативным эффектам [1; 2].

В данной работе рассмотрено техническое предложение авторов по воздействию импульсного магнитного поля на образцы, полученные с помощью селективного лазерного сплавления с целью улучшения качества материала.

На напечатанные пластины 75х75х0,8 из ПК Al-Si-(силумин) воздействовали импульсным магнитным полем (ИМП), наводя в них вихревые токи 11, 17, 21 кА. Из пластин вырезались образцы 5х50х0,8 для испытания на растяжение и твердость HV. Полученные значения констант механических свойств сравнивались с результатами испытания таких же образцов, но не обработанных ИМП. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица – Зависимость механических свойств от используемой энергии ИМП

Материал	Сила тока, кА	Предел прочности $\sigma_в$, Н/мм^2	Предел текучести σ_{02}, Н/мм^2	Относительное удлинение δ, %	Микротвердость, HV
Al-Si	исх.	421	236	9,79	300
	11	522	327	7,88	367
	17	688	383	9,17	410
	21	615	287	9,76	420

Из таблицы видно, что с ростом значений наведенных токов возрастают значения пределов прочности и текучести на 30–40 %, а значения относительной

деформации остаются практически неизменными. Зафиксировано также повышение твердости, примерно в том же диапазоне.

Таким образом, предложен способ локального повышения свойств материала изделий, полученных с помощью аддитивных технологий.

Библиографический список

1. Wang, Z.Q., Effect of processing parameters on microstructure and tensile properties of austenitic stainless steel 304L made by directed energy deposition additive manufacturing / Z.Q. Wang // Acta Materialia. – 2016. – Vol. 110. – P. 226–235.

2. Чуканов, А.Н. Оценка свойств изделий аддитивного производства, полученных в рамках ФЦП по SLM-технологии / А.Н. Чуканов, А.Е. Гвоздев, А.Н. Сергеев, Д.В. Малий, С.Н. Кутепов, Д.С. Клементьев, Е.В. Цой // Университет XXI века: научное измерение: сб. науч. трудов / ТГПУ им. Л.Н. Толстого. – Тула, 2019. – С. 15–30.

УДК 621

МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИБКИ V-ОБРАЗНОЙ ДЕТАЛИ ИЗ СПЛАВА ОТ4

© Трифонов А.И.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

e-mail: trifonov2412631@yandex.ru

Научные руководители: Нестеренко Е.С., канд. техн. наук, доцент, Петров И.Н., ассистент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

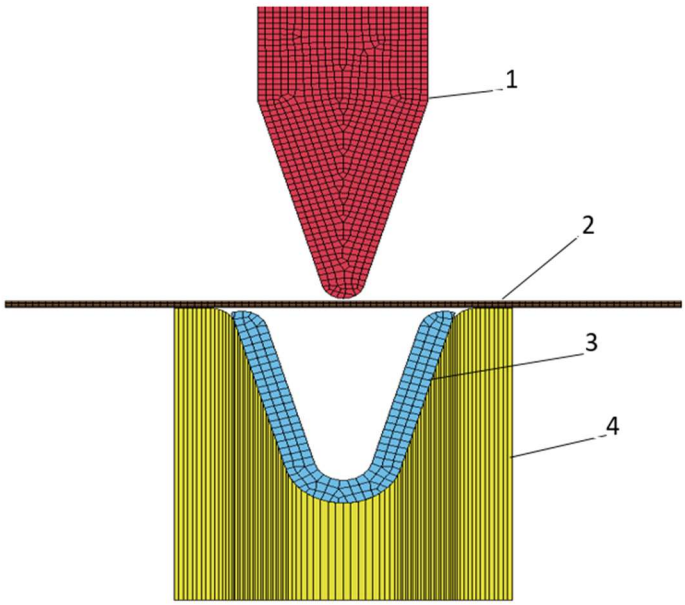
Ключевые слова: гибка, упругий элемент, угол пружинения.

Проблема

При гибке часть заготовки по толщине испытывает тангенциальное растяжение, а другая ее часть – тангенциальное сжатие, поэтому при снятии внешних нагрузок растянутые слои стремятся сократить свою длину, а сжатые – увеличить [1]. Из-за этого угол между нормалями к срединной поверхности будет изменяться. Явление изменения угловых размеров и радиусов кривизны при снятии деформирующих нагрузок называют пружинением [2].

Постановка задачи

Для решения проблемы пружинения в данной работе предлагается способ гибки деталей с острым углом 30° с применением упругого элемента, который позволяет контролировать угол пружинения. Моделирование процесса гибки с упругим элементам производилось в программном комплексе LS-DYNA. На рисунке 1 можно увидеть общую схему данного процесса.

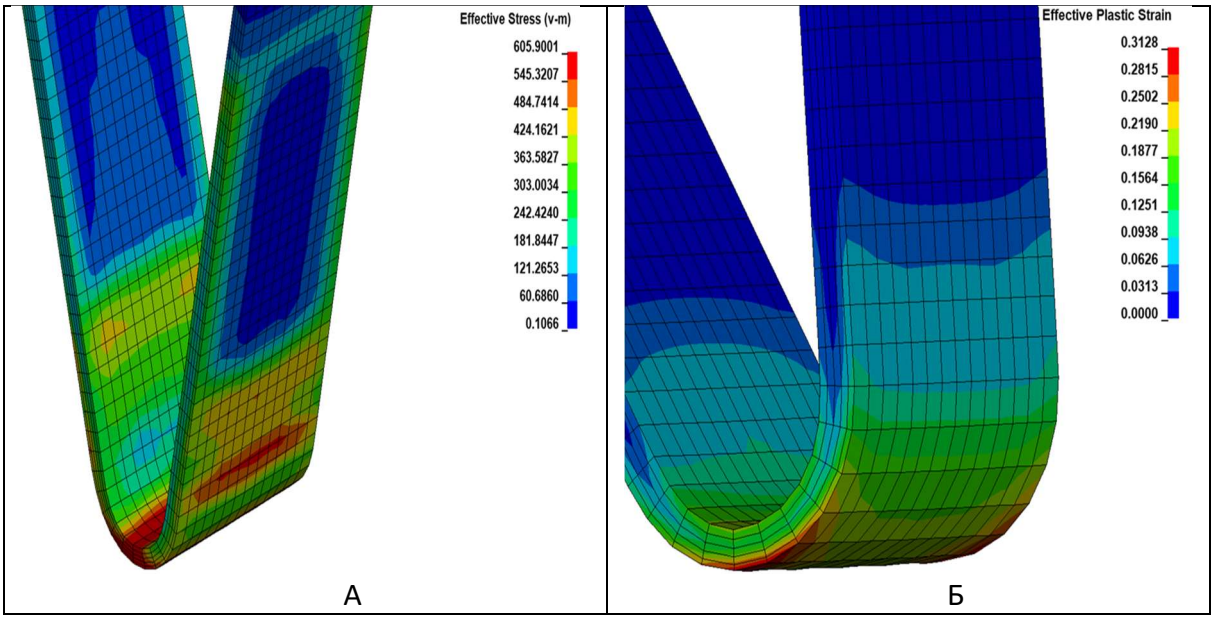


1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – упругий элемент, 4 – матрица

Рисунок 1 – Общая схема

Результаты решения задачи

В качестве результатов было исследовано НДС заготовки после снятия нагрузки, а также был измерен угол на который заготовка раскроется. НДС показан на рисунке 2, а угол на который раскроется заготовка изображён на рисунке 3.



А – Интенсивность напряжения
Б – Интенсивность деформации

Рисунок 2 – НДС заготовки после снятия нагрузки



Рисунок 3 – Угол пружинения при использования упругого элемента

Вывод

При использование упругого элемента угол пружинение получается не значительным и составляет 30,72° что отличается от нужного нами угла в 30° на 2,4 %. Отсюда можно сделать вывод что упругий элемент уменьшает эффект пружинения.

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке: учебник для вузов / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроени», 1971. – 782 с.

2. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки: учебное пособие / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 6 с.

УДК 531.7.08

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ РКТ

© Уклеин Р.В., Китаев А.А., Шульга А.С., Жуков В.В.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Shulga.AS@samspace.ru

Ключевые слова: измерительные системы, методы измерений, высокоточные измерения, лазерный сканер, лазерный трекер, графическая схема отклонений, сборка РКТ.

В работе рассмотрен вопрос контроля геометрии крупногабаритных изделий РКТ, в процессе их изготовления. Наиболее сложными являются технологии изготовления и сборки таких изделий, как крупногабаритные полублоки и блоки в сборе ракет-носителей. При этом критически важным для таких сборок является выполнение всех присоединительных и габаритных размеров с заданной точностью. С учетом, что габариты подобных сборок могут достигать размеров до 20 м, при стандартных подходах к контролю геометрических параметров, возникают значительные технические сложности [1–3].

Контроль геометрических параметров изделий аэрокосмической техники на разных стадиях изготовления и оценка их соответствия требованиям конструкторской документации является одной из важнейших задач при производстве. Возможности проведения контроля, в значительной степени, зависят от применяемых средств измерений (точность, уровень автоматизации).

Классические методы контроля геометрии могут занимать большое время при подготовке производства и не давать полной картины происходящего в процессах изготовления и сборки. Кроме того, необходимо отметить, что в связи с широким разнообразием производимой на предприятиях промышленности продукции, создать «универсальную» измерительную систему для всех изделий не представляется возможным, поскольку даже внутри одной серии однотипных сборок могут встречаться модификации, которые влияют на процесс измерений и источники вызываемых погрешностей. Использование таких средств измерений (СИ) как лазерный трекер и лазерный сканер, позволяет повысить скорость проводимых измерений и использовать в качестве эталона цифровую модель изделия [4–6].

В настоящей работе был рассмотрен объект измерений (ОИ), который представляет собой крупногабаритную цилиндрическую конструкцию, расположенную на поворотных ложементах.

Для решения задачи было предложено применение схемы параллельного обмера тремя измерительными системами. При такой схеме измерительные приборы имеют единое положение относительно ОИ и работают в единой системе координат. Это сокращает время на перемещение оборудования в процессе измерений и повторную метрологическую привязку. По мере прохода сканером всей видимой зоны сканирования, ОИ поворачивается на заданный угол. Лазерные трекеры, установленные с торцевых сторон ОИ определяют точные параметры этого перемещения и данные передаются на лазерный сканер.

Для объединения результатов измерений в единую систему координат использовались две группы систем опорных точек (рис. 2): неподвижная – установленная на полу участка измерений для увязки всех систем в единую систему

координат и подвижная – для определения положения бака в процессе измерений. Первая опорная сеть измерялась всеми приборами, вторая наполовину одним лазерным трекером и наполовину вторым лазерным трекером после каждого поворота бака.

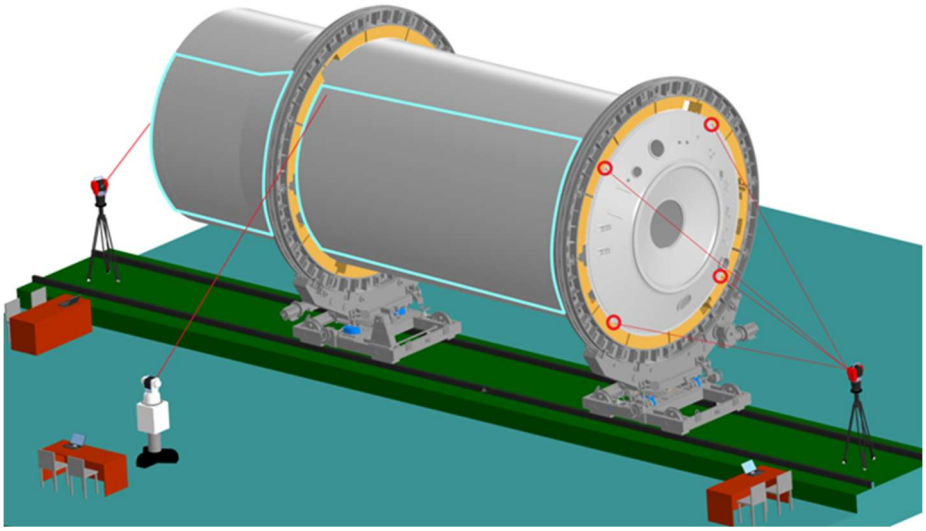


Рисунок 1 – 3D-визуализация измерительной системы

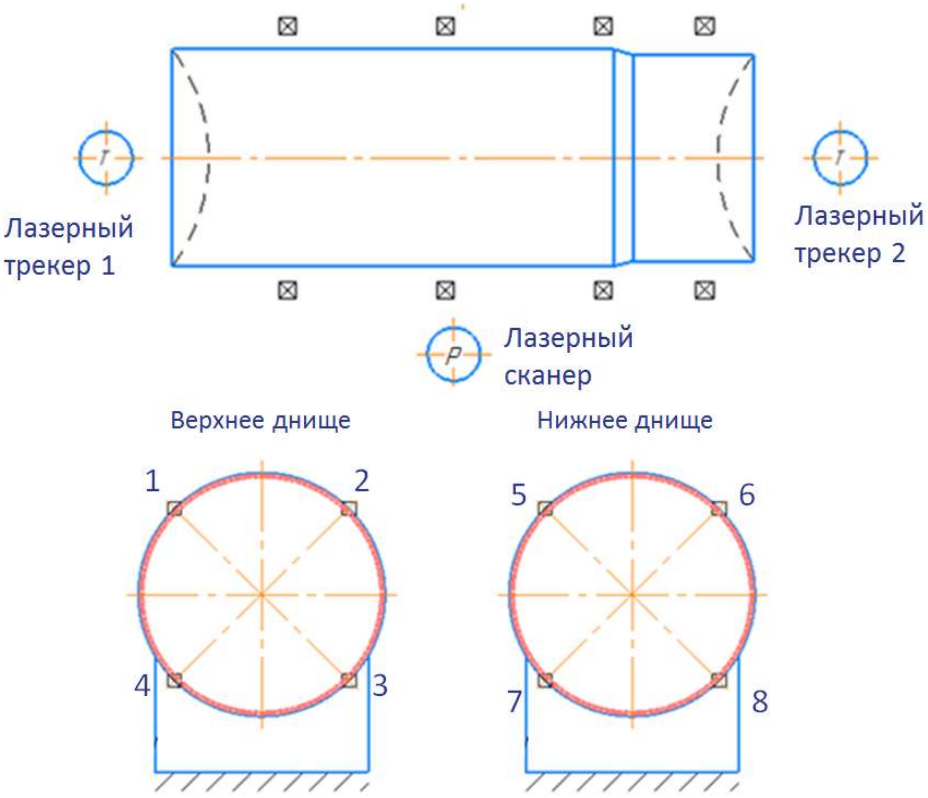


Рисунок 2 – Схема расположения систем опорных точек.

Данная схема позволяет исключить необходимость привязки сканера непосредственно к объекту измерений. Вместо этого выполнялась более простая процедура привязки через общую опорную сеть к трекерам, которые, в свою очередь,

контролировали перемещение ОИ. На рисунке 3 представлен результат измерения – векторная схема отклонений реальной поверхности от теоретической.

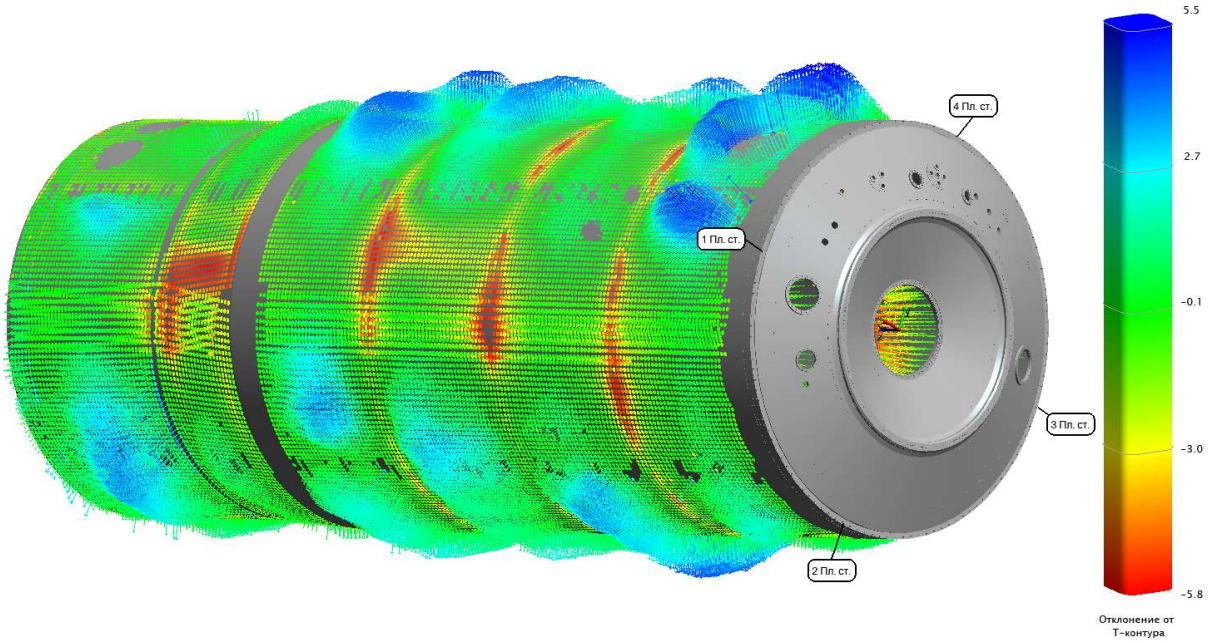


Рисунок 3 – Векторная схема отклонений

1.

Предложенная методика измерения крупногабаритных объектов позволяет оперативно получать необходимую информацию в процессе обработки результатов измерений. При этом снижается длительность и трудоемкость работ, а также значительно уменьшаются объемы подготовительных операций и изготавливаемой специальной оснастки. Преимуществами данной методики являются универсальность, мобильность и наглядность представляемых результатов.

Библиографический список

1. Чепчуров, М.С. Лазерный проекционный контроль формы крупногабаритных изделий / М.С. Чепчуров, Г.Г. Карновский, В.Е. Минасова // Наукоемкие технологии и инновации. – 2016. – С. 73–78.

2. Токтарбаев, А.А. Лазерные системы для измерения геометрических параметров / А.А. Токтарбаев //Academy. – 2019. – №. 1 (40). – С. 28–30.

3. Людоговский, П.Л. Методы измерений геометрических параметров изделий с помощью лазерных координатно-измерительных систем в современных машиностроительных производствах / П.Л. Людоговский, М.А. Комкова //Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2016. – № 4. – С. 165–168.

4. Середович, А.В. Разработка методики определения геометрических параметров РВС по данным лазерного сканирования / А.В. Середович, А.В. Иванов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006. – Т. 1, №. 2. – С. 160–164.

5. Косаревский, С.В. Способ контроля геометрических параметров деталей на координатно-измерительной машине с применением перебазирования / С.В. Косаревский. – М., 2010.

6. Корж, Р.С. Автоматизация построения 3D-моделей по результатам лазерного сканирования / Р.С. Корж // Научный корреспондент. – 2021. – Т. 2. – URL: https://nauchkor.ru/uploads/documents/587d36385f1be77c40d589ba.pdf.

УДК 621.7.019.12

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДЕТАЛИ ВО ВРЕМЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ КОЛМОГОРОВА И LS-DYNA

© Фомичев Д.С., Николенко Кон.А.

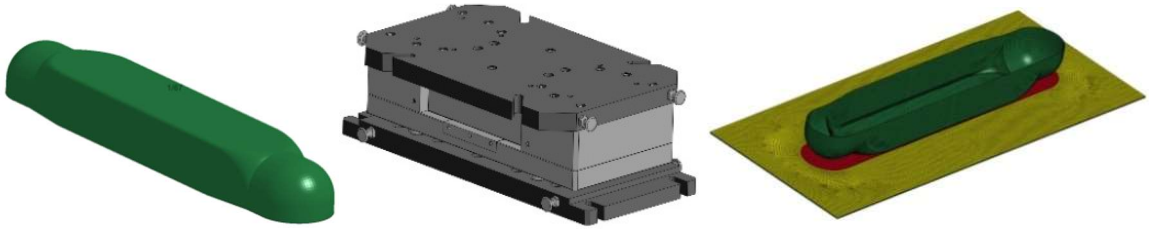
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: compromis9@gmail.com

Научный руководитель: Попов И.П., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: критерий Колмогорова, сферическая зона, LS-DYNA, штамповка, трещина.

В данной работе анализируется возможность появления трещин в сферической части детали «Створка» (рисунок 1, а) во время её штамповки, с использованием критерия Колмогорова [1–3]. Процесс изготовления детали происходит на гидравлическом прессе с использованием инструментально штамповой оснастки (рисунок 1, б). Штамповка выполняется из листовой заготовки стали 12Х18Н10Т, толщина которого составляет 0.8 мм. Для анализа предельных возможностей выполнено моделирование данного процесса в программном продукте LS-DYNA. В соответствии с геометрией оснастки подготовлена конечно элементная модель (рисунок 1, в). Параметры моделируемой задачи: коэффициент трения ~ 0.1, перемещение пуансона 67 мм, усилие прижима 8 тонн.



а б в

а – деталь «Створка», б – 3D модель оснастки, в – конечно-элементная модель оснастки

Рисунок 1 – Модель детали и оснастки

Использование критерия Колмогорова позволяет оценить возможность разрушения заготовки в процессе формообразования. В соответствии с критерием разрушение наступает в момент когда интенсивность накопленной деформации становится равна критической, при данной схеме напряженного состояния – $\Psi = \frac{\int_0^t d\varepsilon_i}{\varepsilon_\rho^{кс}}$, где ε_i – накопленная интенсивность деформаций, $\varepsilon_\rho^{кс}$– критическая степень деформации. Критическую степень деформации определяем по формуле – $\varepsilon_\rho^{кс} = 2\delta_\rho exp\left[-2{,}16 * \frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right]$, где σ_i– интенсивность напряжений, δ_ρ– относительное удлинение материала, σ_0 – среднее напряжение в очаге деформации, $\sigma_0 = \frac{\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3}{3}$.

Для определения критической степени деформации использованы результаты моделирования. Получены эпюры интенсивности деформаций, интенсивности напряжений, а также эпюры распределения главных напряжений в области сферической части детали на заключительной стадии процесса (рисунок 2).

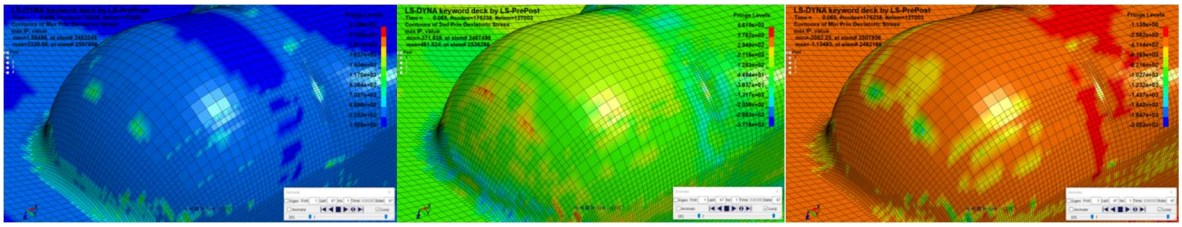


Рисунок 2 – Эпюры распределения главных напряжений для сферической части детали на заключительной стадии процесса

После обработки результатов моделирования построен график оценки возможности разрушения по критерию Колмогорова.



Рисунок 3 – График оценки разрушения по критерию Колмогорова на заключительной стадии процесса для сферической части детали

Из графика (рисунок 3) видно, что критерий Колмогорова приближается к граничной зоне появления трещин, но не доходит до неё. Следовательно, по всей поверхности сферической части детали в момент окончания процесса штамповки, будет наблюдаться утонение без образования трещин.

Библиографический список

1. Колмогоров, В.Л. Механика обработки металлов давлением / В.Л. Колмлгоров. – Екатеринбург: Изд-во УральскогоГТУ, 2001. – 836 с.

2. Колмогоров, В.Л. Напряжения. Деформации. Разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 231 с.

3. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров [и др.]. – М.: Металлургия, 1977. – 337 с.

УДК 620.172

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ СПАЯ НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОРОТКОАРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Чертыковцева В.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: chertykovceva.vo@ssau.ru

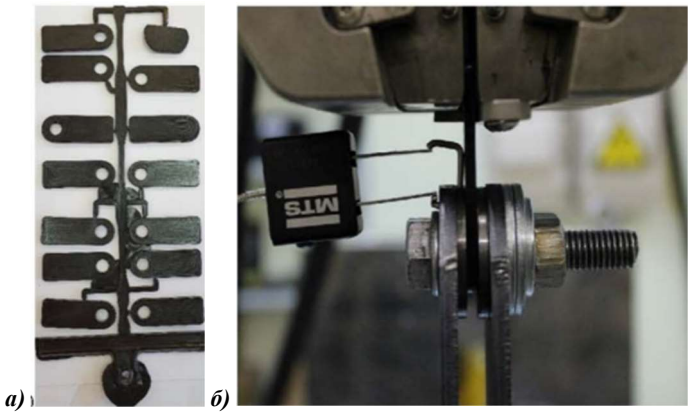
Ключевые слова: линия спая, литье под давлением, механические испытания, проушины.

Литье под давлением является одним из наиболее распространенных методов производства полимерных изделий, на долю которого приходится более 30% всего объема производства пластмассовых изделий. Основными преимуществами метода являются: высокая производительность, возможность массового производства, точная передача геометрии формы, возможность создания сложных конфигураций. Данная технология позволяет получать изделия с высокой точностью размеров и качеством поверхности, что делает ее оптимальным выбором для массового производства однотипных полимерных изделий. Линия спая представляет собой дефект полимерной детали, возникающий при литье под давлением. Она неизбежно возникает в случае, когда производятся детали, имеющие поверхность ненулевого рода. Наличие линии спая значительно снижает прочностные характеристики изделия, особенно это свойство проявляется в случае изготовления деталей из материала, содержащего волокнистый наполнитель. На прочность зоны расположения линии спая также влияют такие технологические параметры, как: температура расплава, давление, место расположения литника. Для минимизации негативного влияния линии спая на прочность изделий необходимо оптимизировать процесс литья: скорость впрыска, контроль температуры формы и расплава, выбор материала, корректировка расположения литниковой системы. Важно построить технологический режим таким образом, чтобы сместить линию спая в менее нагруженные области детали.

В данном исследовании рассмотрено изготовление проушин с разными точками подвода расплава, соответственно с разными углами φ_{weld} расположения линии спая относительно продольной оси проушины, отсчитывая от ее вершины. Проушины изготовлены методом литья под давлением из полиамида-6, армированного 30 % угольных волокон (Гамма-пласт, УПА-30 М) [1]. Механические испытания более 10 отлитых проушин проведены на универсальной сервогидравлической машине MTS 322. Для проведения испытаний изготовлена испытательная оснастка, обеспечивающая закрепление и нагружение изделия в соответствии с проектируемой нагрузкой. Испытание на растяжение проушин показало, что разрушение проушин преимущественно происходит по линиям спая. Построены зависимости напряжений от овализации отверстия проушины при различном расположении спая (см. рисунок), найденные по формулам:

$$\sigma_N = \frac{F}{h \cdot d},\ \omega = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\%,$$

где F – действующая нагрузка; h – толщина проушины; d – диаметр отверстия проушины; Δd – разница между исходным диаметром отверстия и диаметром в результате его деформации; d_0 – исходный диаметр отверстия.



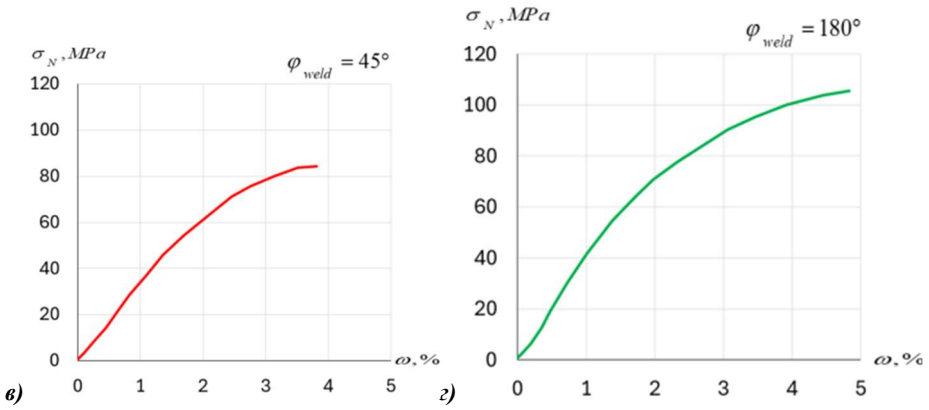


Рисунок – Результаты: а) отлитое изделие; б) механические испытания; зависимость напряжений от овализации отверстия проушины: в) $\varphi_{weld} = 45°$; г) $\varphi_{weld} = 180°$

На рисунке (в, г) видно, что линия спая с $\varphi_{weld} = 45°$ в сравнении с $\varphi_{weld} = 180°$ снижает прочность проушин на 25%, что говорит о необходимости учета расположения линии спая на этапе проектирования изделия.

Библиографический список

1. Kurkin, E.I. Molding gate optimization for weld line location away from structures loaded area / E.I. Kurkin, O.E. Lukyanov, V.O. Chertykovtseva and O.U. Espinosa Barcenas // Journal of Physics: Conference Series, 19th International Conference «Aviation and Cosmonautics» (AviaSpace-2020). – 2020. – Vol. 1925.

Секция 3
Аэродинамика, динамика полета, управление
и навигация летательных аппаратов

УДК 621.452.32

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ МАЛОГАБАРИТНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© Акимченко У.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ulyanaakimchenko@gmail.com

Научный руководитель: Крамлих А.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: малогабаритный космический аппарат, переориентация, управление.

Управление угловым движением малогабаритных космических аппаратов (МКА) является одной из важных задач для успешной реализации космических миссий. К основным задачам управления угловым движением относят задачу переориентации. При решении задачи переориентации требуется перевести МКА из некоторого начального состояния в требуемое угловое положение.

В данной работе проводится сравнение алгоритмов переориентации плоского углового движения [1], основанных на линеаризации обратной связи по выходу.

Переход от нелинейной системы к линейной системе путем преобразования, включающего преобразование обратной связью, называется линеаризацией обратной связью.

Линеаризация обратной связью (ЛОС) является не приближенным, а эквивалентным преобразованием: в результате ЛОС получается система, эквивалентная исходной системе. При ЛОС управление *u* заменяется новым управлением *v*. Функция преобразования, кроме нового управления, включает вектор состояния (в частном случае только выходную переменную). Поэтому при этом преобразовании объект охватывается обратной связью. Отсюда и название этого преобразования – преобразование обратной связью [2; 3].

Система описывается уравнениями:

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}, u), \quad y = h(\boldsymbol{x}), \quad x \in R^n, \quad y \in R\,. \tag{1}$$

Рассмотрим задачу слежения за траекторией $y_{ж}(t)$ которая состоит в определении такого закона управления, при котором ошибка слежения $e(t) = y(t) - y_{ж}(t)$ со временем стремится к нулю: $e(t) \to 0$ при $t \to \infty$ а остальные переменные ограничены.

Переменная *y* не связана с управлением *u.* Но путем преобразования исходной системы можно получить прямую зависимость между выходом *y* и входом (управлением) *u*.

Линеаризацией обратной связью по выходу называется такое преобразование нелинейной системы (1), включающее преобразование обратной связью, при котором в преобразованной системе связь между выходом *y* и входом *u* получается линейной [2].

При решении задачи переориентации плоского углового движения вышеуказанным методом в качестве выхода принимается угол или угловая скорость,

поэтому в данной работе проводится сравнение решения данной задачи при измерении угла и угловой скорости.

Библиографический список

1. Иванов, И.И. Проектирование соединения хомутом узлов малоразмерной газотурбинной установки / И.И. Иванов // Актуальные проблемы двигателестроения: сб. науч. ст. / под ред. М.Д. Горячкина. – Самара: Самарский университет, 2004. – Вып. 4. – С. 4–9.

2. Петров, П.А. Разработка импульсного плазенного двигателя для космического аппарата / П.А. Петров // Вестник Самарского университета. Машиностроение. – 2022. – Т. 28, № 2. – С. 93–97.

3. Сидоров, У.С. Ракетная двигательная установка со штыревым соплом: монография / У.С. Сидоров. – Москва: ЭКСМО, 2021. – 206 с.

УДК 629.7

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ВЫСОТЫ ОРБИТЫ НАНОСПУТНИКА СТАНДАРТА КУБСАТ 6U С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСРЕДНЁННЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ

© Баранова В.Р.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: vika.baranova.03@list.ru

Научный руководитель: Баринова Е.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: наноспутник стандарта кубсат 6U, аэродинамический момент, аэродинамическое угловое ускорение, усреднённые уравнения движения.

В последние десятилетия развитие ракетно-космической техники привело к созданию нового класса космических аппаратов – наноспутников стандарта кубсат [1]. Благодаря своей компактности и относительно небольшой стоимости эти аппараты стали широко распространены и в настоящее время используются для проведения различных научных миссий в космосе. В класс наноспутников стандарта кубсат входят аппараты форматов от 1U до 6U включительно. Множество из них запускаются на низкие околоземные орбиты, где возможно эффективно использовать пассивную стабилизацию с помощью аэродинамического момента [2].

Движение аэродинамически стабилизированного наноспутника описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений с быстро осциллирующими функциями, общее решение которой не представляется возможным. Кроме того, численное интегрирование системы уравнений движения требует больших вычислительных мощностей, поэтому расчёты занимают много времени даже при использовании современных ЭВМ. В связи с этим получение упрощённых математических моделей, позволяющих ускорить процесс расчёта, является актуальной задачей. Одним из методов, позволяющих существенно упростить математическую модель и ускорить численные расчёты, является метод усреднения В.М. Волосова [3].

В данной работе рассматривается угловое движение аэродинамически стабилизированного наноспутника стандарта кубсат 6U. С использованием метода В.М. Волосова получены усреднённые уравнения, описывающие возмущённое движение. Для оценки погрешности было проведено сравнение результатов, полученных по усреднённой и исходной системам уравнений движения. Также было проведено сравнение времени моделирования возмущённого движения с использованием рассматриваемых систем. Результаты, полученные в работе, показывают, что использование усреднённых уравнений движения позволяет существенно сократить время численных расчётов, сохраняя при этом достаточно высокую степень точности вычислений, что позволяет проводить прогнозирование снижения высоты орбиты.

Библиографический список

1. California Polytechnic State University. Cubesat Design Specification Rev 14.1. – 2022.

2. Белоконов, И.В. Анализ и синтез движения аэродинамически стабилизированных космических аппаратов нанокласса формата CubeSat / И.В. Белоконов, И.А. Тимбай, П.Н. Николаев // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т. 26, № 3 (102). – С. 69–91.

3. Волосов, В.М. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем / В.М. Волосов, Б.И. Моргунов. – М.: МГУ., 1971.

УДК 629.78

НАЦЕЛИВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ РОТОРОВ

© Голушкова А.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: alenagol15935745@gmail.com

Научный руководитель: Алексеев А.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: спутник-гиростат, углы Эйлера, уравнения движения, дистанционное зондирование Земли.

В данной работе исследуется способ нацеливания спутника-гиростата дистанционного зондирования Земли, функционирующего на круговой орбите, посредством использования маховиковых двигателей. Разработана математическая модель, учитывающая гравитационные возмущения, для периода времени, когда объект наблюдения находится в зоне видимости. В ходе исследования выведены геометрические зависимости углов нутации (формула 1) и прецессии (формула 2) от времени, определена область визуального охвата объекта, а также построены и решены дифференциальные уравнения на основе методики, указанной в [1; 2], описывающие движение космического аппарата относительно его центра масс. Построенные зависимости дают возможность оценить влияние инерционно-массовых параметров системы, а также начальных условий на процесс управления ориентацией спутника. Разработанные зависимости управляющих моментов от времени позволяют оценить требуемые характеристики двигателей для реализации данной задачи.

$$\vartheta = \arccos\left(\frac{\overrightarrow{MA}\cdot\overrightarrow{MO}}{\left|\overrightarrow{MA}\right|\cdot\left|\overrightarrow{MO}\right|}\right). \quad (1)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{\overrightarrow{MA}\cdot\overrightarrow{MB}}{\left|\overrightarrow{MA}\right|\cdot\left|\overrightarrow{MB}\right|}\right). \quad (2)$$

Представлены итоги проведенного исследования, подтверждающие эффективность и работоспособность разработанной математической модели. Практическая ценность заключается в возможности применения полученных результатов при наведении космических аппаратов на исследуемый объект.

Библиографический список

1. Асланов, В.С. Динамика системы соосных тел: учебное пособие / В.С. Асланов, А.В. Дорошин / ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева». – Самара, 2007.

2. Гутник, С.А. Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации: автореф. дис. … д-ра физ.-мат. наук: 01.02.01 / С.А. Гутник // [Место защиты: ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)]. – М., 2019. – 47 с.

УДК 629.7.025.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНГЛЕТОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ

© Каучакова М.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация

e-mail: alehan.orlov.45@mail.ru

Научный руководитель: Лэй Р.А., канд. техн. наук, доцент
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация

Ключевые слова: аэродинамика, винглеты, аэродинамическое качество, оптимизация, топливная эффективность.

Винглеты, или законцовки крыла различных типов являются распространенным средством повышения топливной экономичности на современных воздушных судах. Основное назначение винглетов – уменьшить индуктивное сопротивление, однако, поскольку винглеты представляют собой неподвижные поверхности, их эффективность изменяется на различных этапах полета. Винглеты с изменяемым углом отклонения не применяется на самолетах в данный момент, однако обладают большим потенциалом для улучшения летно-технических характеристик самолета и его топливной эффективности, поскольку позволяют обеспечить оптимальное снижение индуктивного сопротивления на всех режимах полета.

Для изучения влияния винглета с изменяемым углом наклона на аэродинамические характеристики было осуществлено моделирование процессов обтекания в Ansys Fluent. Влияние угла наклона винглета на аэродинамические характеристики крыла представлено на рисунке.

На основе представленного анализа очевидно, что не существует единой конфигурации винглета, которая могла бы обеспечить оптимальное снижение индуктивного сопротивления на всех режимах полета. Предложим рекомендации по настройке винглетов на разных этапах полета с учетом улучшения аэродинамических характеристик по сравнению с крылом без винглетов.

1. При взлете, снижении, начальном наборе высоты и смене крейсерского эшелона (где влияние сжимаемости незначительно) рекомендуется использовать угол наклона винглета 45∘. Эта конфигурация создает большую подъемную силу и меньшее сопротивление для заданной высоты.

2. На крейсерском режиме (высокое число Маха) рекомендуется использовать угол наклона 15∘. Эта настройка обеспечит максимальное снижение лобового сопротивления при заданной подъемной силе.

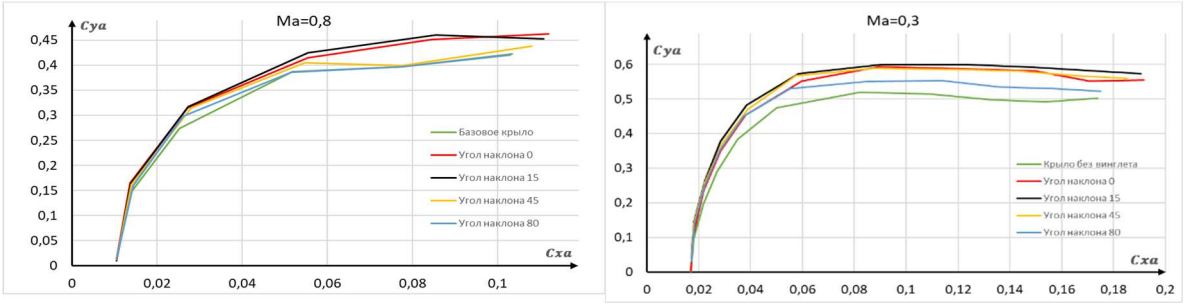


Рисунок – Поляры для крыльев с винглетами разного угла наклона при Ma = 0,8 Ma = 0,3

3. После посадки и при рулении к выходу на посадку рекомендуется использовать угол наклона 80∘ для уменьшения размаха крыльев и удовлетворения требований к посадочному зазору.

Количественная оценка топливной эффективности установки винглета с изменяемым углом отклонения, проведена согласно методу [1]. Результаты расчетов и априорная информация о летно-технических характеристиках Ил-96-300 для удобства обобщены в таблицу.

Таблица – Сравнение характеристик самолета с винглетами с самолетом без них на примере Ил-96-300

Летно-технические характеристики	Ил-96-300 Базовый	Ил-96-300 с винглетами
Площадь крыла в плане S, м^2	391,6	391,6
Удлинение крыла λ	9,2	11,5
Коэффициент индуктивного сопротивления $C_{xa\,инд}$	0,0104	0,00781
Уменьшение общего лобового сопротивления ΔC_{xa}, %	–6,5	
Масса топлива $m_т$, т	80	?
Масса крыла по (4) $m_{кр}$, т	28,5	-
Прирост массы самолета за счет установки винглетов и поворотного механизма $\Delta m_{кр\,скл\,0}$, т	–	0,3
Изменение массы топлива за счет изменения сопротивления $\Delta m_{т\,\Delta C_{xa\,0}}$, т	–	-4
Конечное изменение взлетной массы Δm, т	–4,45	
Относительное изменение в массе топлива $\Delta m_т/m_т$ 100%	–7,87	

Коэффициент аэродинамического сопротивления при полете на дозвуковой скорости:

$$C_{xa} = C_{xa\,инд} + C_{xa\,проф} = C_{xa\,0} + \frac{C_{ya}^2}{\pi\lambda e}, \quad (1)$$

где C_{ya} – коэффициент подъемной силы; e – коэффициент Освальда.

Масса крыла:

$$m_{кр} = \frac{n_y^P \lambda\psi \ ,022\sqrt[4]{m}}{p_0 \bar{c}_0^{0.75}(cos\chi_{0,25})^{1,5}}\left(0{,}85 + \frac{\frac{\bar{c}_0}{\bar{c}_к}-1}{\eta+3}\right)k_1 + \frac{4{,}5k_2k_3}{p_0} + 0{,}01, \quad (2)$$

где n_y^P – расчетная перегрузка; $p_0 = mg/S$ – удельная нагрузка на крыло; $\bar{c}_0$, $\bar{c}_к$ – относительные толщины профиля в корневом и концевом сечениях; $k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий расположение двигателей на крыле (для двигателей на крыле $k_{дв} = 1$); k_1 – коэффициент, учитывающий ресурс крыла ($k_1 = 1{,}1$); k_2 – коэффициент, учитывающий используемый вид механизации крыла ($k_2 = 1{,}5$); k_3– коэффициент, учитывающий вид герметизации топливных баков ($k_3 = 1{,}1$).

Масса устройства отклонения винглетов [2]:

$$m_{пов} = m_{вст} + m_{мех.\,Пов} + m_{мех.фикс}, \quad (3)$$

где $m_{вст}$ – масса силовой вставки в районе узла поворота; $m_{мех.\,пов}$ – масса механизма с приводом для поворота; $m_{мех.фикс}$ – масса элемента, обеспечивающего фиксацию винглета в определённом положении.

Изменение массы топлива за счет изменения сопротивления:

$$\Delta m_{\text{т}\,\Delta C_{xa\,0}} = \frac{k_{\text{т кр}} m_{\text{т}} \Delta C_{xa}}{C_{xa}}. \quad (4)$$

Изменение в расходе топлива:

$$\Delta m_{\text{т}} = \Delta m_{\text{т}\,0} + \bar{m}_{\text{т}} \left(1 - \frac{c_{xa\,\text{ф}}}{c_{xa}}\right) \Delta m. \quad (5)$$

В ходе работы было исследовано влияние винглета с изменяемым углом наклона на аэродинамические характеристики крыла (коэффициент подъемной силы и коэффициент лобового сопротивления). Для этого было осуществлено моделирование процессов обтекания в Ansys Fluent, а также для промежуточных выводов было использовано экспресс-моделирование в программе Kompas Flow. На основе результатов проведения вычислительной газодинамической задачи построены поляры для крыла самолета Ил-96-300 с установленными винглетами различной конфигурации и без них при числах Маха M = 0,3 и M = 0,8 и различных углах атаки, определено аэродинамическое качество. На основе этих данных вычисляется изменение лобового сопротивления и, используя методы [1;2], проводится количественная оценка топливной эффективности установки винглета с изменяемым углом отклонения. По результатам расчетов для самолета Ил-96-300 относительное уменьшение необходимой на полет массы топлива составило 7,8 %. Кроме того, после анализа построенных поляр были предложены рекомендации по настройке винглетов на различных этапах полета (разбег, взлет, набор высоты, крейсерский полет, снижение, посадка). Также была предложена концепция поворотного механизма, обеспечивающего заданное отклонение винглета, силовой вставки в районе узла поворота. Поворотный механизм представляет собой шарнирно-рычажный механизм, схожий с винтовым механизмом закрылков. Далее проведен расчет дополнительных изгибающих моментов у основания крыла, возникающих из-за установки винглета. Проведен прочностной расчет крыла Ил-96-300 в программе ANSYS Workbench, который показал, что увеличение изгибающих моментов вписывается в изначальный запас прочности, поэтому винглеты можно установить, не переделывая всё крыло, а только усилив концевую часть в районе узла поворота.

Библиографический список

1. Ярыгина, М.В. Формирование весовой формулы складного крыла / М.В. Ярыгина, Ю.И. Попов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2012. – № 2. – С. 8–12.

2. Попов, Ю.И. Методика весового анализа складного крыла самолета палубного базирования / Ю.И. Попов, М.В. Ярыгина // Труды МАИ. – 2011. – № 43. – 23 с. – URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=24860 (дата обращения: 01.03.2024).

УДК 629.78

СИНТЕЗ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОРАЗМЕРНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА

© Колесникова В.Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kolesnikovanika72@gmail.com

Научный руководитель: Крамлих А.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: малоразмерный космический аппарат, терминальное управление, закон управления, прямой метод Ляпунова.

В случае описания углового движения малоразмерного космического аппарата (МКА) с помощью нормированного кватерниона q, кинематические уравнения имеют вид [1]:

$$\dot{q} = \frac{1}{2}\Omega q + \frac{1}{2}q_4\omega, \tag{1}$$

$$\dot{q}_4 = -\frac{1}{2}\omega^T q, \tag{2}$$

динамические уравнения Эйлера [1]:

$$J\dot{\omega} = \Omega J\omega + u + M_a + M_{гр}, \tag{3}$$

где q – векторная часть кватерниона, Ω – кососимметричная матрица, состоящая из компонентов угловой скорости, q_4 – скалярная часть кватерниона, ω – вектор угловой скорости, J – матрица моментов инерции, u – управляющий момент, M_a – аэродинамический момент, $M_{гр}$ – гравитационный момент.

С помощью управляющего момента необходимо переориентировать МКА из некоторого начального состояния

$$q(t_0) = q_0, \quad \omega(t_0) = \omega_0 \tag{4}$$

в требуемое конечное

$$q(t_к) = q_к, \quad \omega(t_к) = \omega_к \tag{5}$$

за фиксированный интервал времени $t_к$.

Прямой метод Ляпунова требует задания функции Ляпунова, отвечающей требованиям теоремы Ляпунова об асимптотической устойчивости [2]. Кандидат-функцию Ляпунова зададим таким образом, чтобы она была положительно определенной:

$$V = \frac{1}{2}\omega^T K^{-1} J\omega + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + (q_4 - 1)^2 = \frac{1}{2}\omega^T K^{-1} J\omega + 2(1 - q_4), \tag{6}$$

где $K^{-1}J$ принимает положительное значение, так как $K = kJ$, в котором k – положительный коэффициент.

Найдем производную кандидат-функции Ляпунова:

$$\dot{V} = \frac{1}{2}\dot{\omega}^T K^{-1} J\omega + \frac{1}{2}\omega^T K^{-1} J\dot{\omega} - 2\dot{q}_4 = \omega^T K^{-1} J\dot{\omega} - 2\dot{q}_4. \quad (7)$$

Согласно второй теореме Ляпунова, необходимо, чтобы производная $\dot{V}$ была противоположного знака с V, следовательно, в данном случае отрицательно определенной. Как видно из формулы (7), нельзя утверждать, что производная $\dot{V}$ отрицательно определена. Для того чтобы задать определенность, подставим $J\dot{\omega}$ из (3) и $\dot{q}_4$ из (2) в (7):

$$\dot{V} = \omega^T K^{-1}\left(\Omega J\omega + u + M_a + M_{гр}\right) + \omega^T q. \quad (8)$$

Примем закон управления таким образом, чтобы он компенсировал гравитационный и аэродинамический моменты, при этом обеспечивая решение терминальной задачи управления:

$$u = -\Omega J\omega - M_a - M_{гр} - D\omega - Kq, \quad (9)$$

где $D = dJ$, в котором d – положительный коэффициент.

Подставив u из (9) в (8), получим:

$$\dot{V} = -\omega^T K^{-1} D\omega.$$

Таким образом, получаем выражение, удовлетворяющее второй теореме Ляпунова об асимптотической устойчивости.

Библиографический список

1. Шигаева, М.И. Сравнение методов управления ориентацией космических аппаратов / М.И. Шигаева. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – 36 с.

2. Баринова, Е.В. Основы теории устойчивости движения применительно к задачам космической техники / Е.В. Баринова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2023. – С. 31.

УДК 629.783

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МКА С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ПОТОКА

© Маршалкина А.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ezhevichka333@gmail.com

Научный руководитель: Седельников А.В., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: температурный удар, солнечная батарея, солнечный тепловой поток, тень Земли.

Одним из внешних воздействий, который может приводить к относительному движению солнечных батарей, является солнечный тепловой поток [1; 2]. Он непрерывно воздействует на малый космический аппарат (МКА) на солнечном участке орбиты и не действует в тени Земли. На переходных границах возникает явление, при котором этот поток резко появляется или исчезает [3; 4]. Таким образом, орбитальный полёт МКА с учётом воздействия на него солнечного потока можно условно поделить на четыре участка (см. рис.).

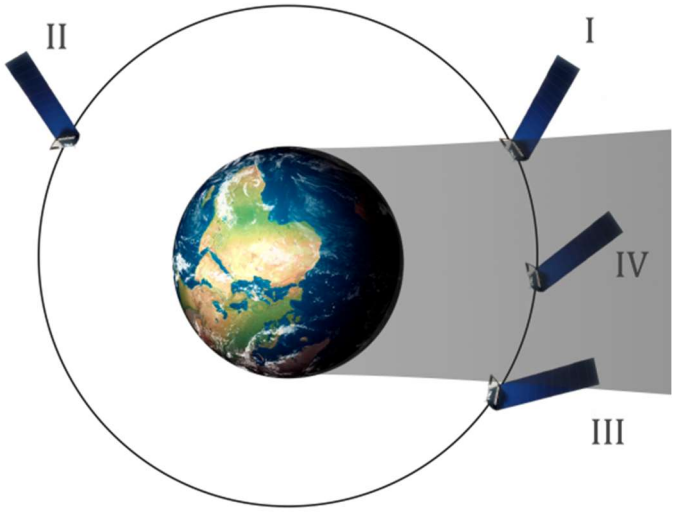


Рисунок – Орбита МКА с тенью Земли

В рамках данной работы исследуется влияния солнечного потока на напряжённо-деформированное состояние (НДС) панели солнечной батареи (ПСБ). Для достижения данной цели проводится численное моделирование в системе Coupled Field Transient программы ANSYS [5]. В результате были получены распределения температур и деформаций ПСБ для участков I-IV с учётом их особенностей. Например, при моделировании воздействия во II области принимается во внимание то, что часть солнечного потока используется для генерации электроэнергии. На основе полученных

данных сделаны выводы о степени влияния воздействия теплового потока на орбитальное движение МКА.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Проект FSSS-2023-0007).

Библиографический список

1. Shen, Z. Thermally Induced Vibrations of Solar Panel and Their Coupling with Satellite / Z. Shen, G. Hu // International Journal of Applied Mechanics. – 2013. – Vol. 5, № 3. – P. 50031. – DOI: 10.1142/S1758825113500312.

2. Nikolaeva, A.S. Investigation of the accuracy of an approximate solution of the initial boundary value problem of thermal conductivity with boundary conditions of the third kind / A.S. Nikolaeva, M.A. Evtushenko, L.A. Manukyan // International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation. – 2025. – Vol. 15, issue 1. – P. 52–63. – DOI: 10.1504/IJMMNO.2025.145634.

3. Guo, X. Experimental Study on the Effect of Specimen Placement State on Temperature Control under Thermal Vacuum Environment / X. Guo, X. Tian, W. Yu and etc. // Advances in Engineering Technology Research. – 2024. – Vol. 12 (1). – P. 334. – DOI: 10.56028/aetr.12.1.334.2024.

4. Sedelinkov, A.V. Technologies for Increasing the Control Efficiency of Small Spacecraft with Solar Panels by Taking into Account Temperature Shock / A.V. Sedelinkov, A.S. Nikolaeva, V.V. Serdakova, E.S. Khnyryova // Technologies. – 2024. – Vol. 12: 207. – DOI: 10.3390/technologies12100207.

5. Sedelnikov, A.V. Computer Simulation of the Natural Vibrations of a Rigidly Fixed Plate Considering Temperature Shock / A.V. Sedelnikov, S.V. Glushkov, M.A. Evtushenko and etc. // Computation. – 2025. – Vol. 13, issue 2. – DOI: 10.3390/computation13020049.

УДК 629.7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ НАНОСПУТНИКА СТАНДАРТА CUBESAT ПОД ДЕЙСВИЕМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО, ГРАВИТАЦИОННОГО И СЛУЧАЙНОГО МОМЕНТОВ

© Миронов Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: mironovevgeniy01@gmail.com

Научный руководитель: Баринова Е.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: наноспутник стандарта CubeSat, аэродинамический момент, гравитационный момент, случайный момент, угол атаки, угол прецессии, угол собственного вращения.

В настоящее время стандарт CubeSat [1] является наиболее распространенным при разработке наноспутников (НС) для исследовательских и образовательных космических миссий. Его характерными отличиями от прочих космических аппаратов является относительно малый размер и форма прямоугольного параллелепипеда.

Для успешного выполнения большинства целевых задач полёта требуется определённая ориентация НС. Ввиду малых размеров НС и низких энергетических запасов, целесообразно обеспечивать необходимую ориентацию с помощью пассивных или комбинированных систем стабилизации. При проектировании пассивных и комбинированных систем стабилизации важным этапом является определение устойчивых положений углового равновесия НС.

Поскольку большинство НС выводятся на низкие околоземное орбиты, на которых преобладает влияние гравитационного и аэродинамического моментов, целесообразно использовать их при создании систем стабилизации. Наличие дополнительного случайного момента, при рассмотрении движения относительно центра масс НС позволит учесть внешние возмущения, оказывающие меньшее влияние на динамику, чем преобладающие моменты.

В отличие от сферических спутников, форма прямоугольного параллелепипеда приводит к появлению зависимости коэффициентов аэродинамической силы от ориентации аппарата относительно набегающего потока, что усложняет расчет аэродинамики и определение устойчивых положений равновесия НС стандарта CubeSat.

Определению положений равновесия относительно центра масс уделяется большое внимание в литературе. Работы Сарычева, Гутника [2–4] посвящены определению положений равновесия под действием гравитационного и аэродинамического моментов для спутника, форма которого близка к сферической и исследованию их устойчивости. Для НС, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, ранее в работах [5; 6] были получены аналитические выражения для определения положений равновесия углового движения для двух частных случаев: смещения центра давления динамически симметричного НС от его центра масс по трём координатам; смещения центра давления НС с тремя разными главными моментами инерции от его центра масс по одной из главных осей инерции. Кроме того, был

разработан численный алгоритм определения положений равновесия для НС с недиагональным тензором инерции при смещении центра масс от геометрического центра по трём координатам [7].

В данной работе изучается возможность определения устойчивых положений равновесия НС стандарта CubeSat под действием аэродинамического, гравитационного и случайного моментов. Случайный момент моделируется как стационарный случайный процесс с экспоненциальным законом распределения. Определена максимально допустимая величина случайного момента. Проведено исследование влияния случайного момента на динамику НС стандарта CubeSat при моделировании движения из устойчивого положения равновесия для различных функций плотности атмосферы, включая динамическую.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-67-10007, https://rscf.ru/project/23-67-10007.

Библиографический список

1. California Polytechnic State University. Cubesat Design Specification Rev 14.1. – 2022.

2. Sarychev, V.A. Investigation of equilibria of a satellite subjected to gravitational and aerodynamic torques / V.A. Sarychev // Celest. Mech. Dyn. Astron. – 2007. – Vol. 97, № 4. – P. 267–287.

3. Сарычев, В.А. Динамика спутника под действием гравитационного и аэродинамического моментов. Исследование положений равновесия / В.А. Сарычев, С.А. Гутник // Космические исследования. – 2015. – Т. 53, № 6. – С. 488–496.

4. Сарычев, В.А. Динамика спутника под действием гравитационного и аэродинамического моментов. Исследование устойчивости положений равновесия / В.А. Сарычев, С.А. Гутник // Космические исследования – 2016. – Т. 54, № 5. – С. 415 –426.

5. Баринова, Е.В. Исследование положений относительного равновесия динамически симметричного наноспутника формата CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринова, И.А. Тимбай // XXVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2019. – С. 123–126.

6. Баринова, Е.В. Определение положений равновесия наноспутника формата CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринова, И.А. Тимбай // XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2020. – С. 148–151.

7. Баринова, Е.В. Численно-аналитическое определение положений равновесия наноспутника стандарта CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринова, И.А. Тимбай, Е. Миронов // XXXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2024. – С. 403–406.

УДК 531.395

ДИНАМИКА ГИРОСТАТА В ПОЛЕ ПЕРЕМЕННЫХ СИЛ

© Морина З.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: morina.z@yandex.ru

Научный руководитель: Дорошин А.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: гиростат, динамика движения, угловое движение, гравитационный момент, космические аппараты, эллиптическая орбита, законы Кеплера, интеграл энергии, ротор.

Исследования в области пассивной ориентации спутников в России ведутся с 1954 года по инициативе Д.Е. Охоцимского [1–3]. Однако большинство работ описывает движение осесимметричных космических аппаратов на круговой орбите, где центр масс системы стабилизации совпадает с центром масс всей системы. Это ограничивает применимость существующих моделей к реальным аппаратам, движущимся по эллиптическим орбитам с большим эксцентриситетом. В связи с этим возникает необходимость изучения динамики углового движения асимметричных космических аппаратов на эллиптических орбитах с большим эксцентриситетом, учитывающая переменность силовых полей и наличий возмущений.

Актуальность обусловлена растущими требованиями к автономности и надежности пассивных систем ориентаций спутников, функционирующих на вытянутых эллиптических орбитах. В этой связи актуальным становится механическая модель гиростата, учитывающая переменность силовых полей и наличий возмущений.

Целью данной работы является разработка математической модели и исследование пространственного движения космического аппарата с внутренним ротором, движущегося по эллиптической орбите (см. рис.).

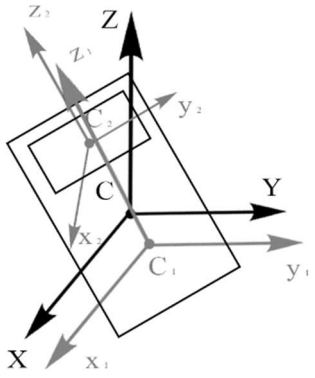


Рисунок – Устройство космического аппарата и системы координаты

В работе использованы методы теоретической механики [4], кинематики направляющих косинусов [5; 6], а также математического анализа. Для построения и решения уравнений использовались дифференциальные уравнения Эйлера–Пуассона,

выражения для гравитационного момента [7], а также уравнения Кеплера для описания орбитального движения. Численное моделирование выполнено в среде Wolfram Mathematica с использованием встроенных методов решения жёстких систем.

Разработана математическая модель движения спутника-гиростата, учитывающая движение центра масс по эллиптической орбите с большим эксцентриситетом, а также вращение ротора с переменной относительной скоростью. Проведён численный анализ динамики углового движения спутника-гиростата для различных начальных условий и параметров орбиты в среде Wolfram Mathematica. Выполнен параметрический анализ, продемонстрировавший влияние эксцентриситета и конструктивных параметров на характер ориентационного движения. Проверено выполнение законов сохранения: получены графики, подтверждающие сохранение полной энергии [5; 8–9]. Исследована устойчивость положения равновесия спутника-гиростата при различных значениях эксцентриситета [10]. Установлено, что равновесие, устойчивое на круговой орбите, нарушается при движении по эллиптической траектории, причём степень нарушения растёт с увеличением эксцентриситета.

Модель позволит описывать динамику углового движения в переменных силовых полях, что в перспективе создаст возможности анализа эволюции углового движения на сложных орбитах.

Полученные результаты будут востребованы для анализа и синтеза динамики и управления угловым движением космических аппаратов-гиростатов.

Полученные результаты могут быть применены при разработке программного обеспечения для симуляции движения и управления, а также в учебных целях при подготовке специалистов в области динамики космических аппаратов.

Библиографический список

1. Сарычев, В.А. ДЕ Охоцимский и его роль в создании систем пассивной ориентации спутников / В.А. Сарычев // Прикладная небесная механика и управление движением. – 2010. – С. 223.

2. Охоцимский, Д.Е. Предварительное исследование проблемы создания ориентированного спутника Земли / Д.Е. Охоцимский [и др.] // Отчет Отделения прикладной математики. – 1956.

3. Охоцимский, Д.Е. Система гравитационной стабилизации искусственных спутников / Д.Е. Охоцимский, В.А. Сарычев // Искусственные спутники Земли. – М.: Изд. АН СССР. – 1963. – № 16. – С. 5–9.

4. Маркеев, А.П. Теоретическая механика: учебник для высших учебных заведений / А.П. Маркеев. – 2007.

5. Белецкий, В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс / В,В.Белецкий. – Directmedia, 2016.

6. Белецкий, В.В. Движение спутника относительно центра масс в гравитационном поле: учебное пособие / В.В. Белецкий. – М.: МГУ, 1975.

7. Doroshin, A.V. Attitude dynamics of a dual-spin nanosatellite with a gravitational damper / A.V. Doroshin, A.V. Eremenko //Advances in Space Research. – 2024. – Т. 73, №. 6. – С. 3166–3178.

8. Logsdon, T. Orbital mechanics: theory and applications / T. Logsdon. – John Wiley & Sons, 1997.

9. Bate, R.R. Fundamentals of astrodynamics / R.R. Bate [et al.]. – Courier Dover Publications, 2020.

10. Гутник, С.А. Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации: дис. … д-ра физ.-мат. наук / С.А. Гутник. – М., 2019. – 280 с.

УДК 521.1

ТРАНСФЕР МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФОБОСА И КВАЗИСПУТНИКОВЫМИ ОРБИТАМИ

© Романенко А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: a-v-romanenko28@yandex.ru

Научный руководитель: Асланов В.С., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: ограниченная задача трех тел, квазиспутниковые орбиты, система Марс-Фобос, сфера Хилла, орбитальное движение.

Изучение спутника Марса Фобоса является сложной задачей в силу его низкой плотности, из-за которой сфера Хилла спутника частично лежит под его поверхностью. А следовательно, космические аппараты не могут обращаться вокруг Фобоса по кеплеровским орбитам. Таким образом необходимо использовать другой тип орбит, выходом стали так называемые далекие ретроградные или квазиспутниковые орбиты (QSO) [1; 2]. В рамках ближайшей миссии по исследованию Фобоса предлагается вывести на QSO космический аппарат, с которого на поверхность спутника будет доставлен ровер для сбора образцов. Настоящая работа посвящена изучению этапа возвращения ровера на квазиспутниковую орбиту, где находится космический аппарат.

Целью работы является построение оптимальной с точки зрения временных и топливных затрат траектории движения ровера от поверхности Фобоса до квазиспутниковой орбиты.

Движение космического аппарата и ровера описывается в рамках плоской ограниченной задачи трех тел [3]. Предполагается, что космический аппарат находится на низкой квазиспутниковой орбите Фобоса. Для построения оптимальной траектории ровера ставится и далее решается краевая задача. По полученным уравнениям проводится численное моделирование в математическом пакете Wolfram Mathematica.

Таким образом, были найдены оптимальные траектории движения ровера от поверхности спутника Марса до космического аппарата в случае его нахождения на низких квазиспутниковых орбитах. Кроме того, определены точки начала и окончания движения, позволяющие построить необходимые траектории.

Библиографический список

1. Baresi, N. Long-term evolution of mid-altitude quasi-satellite orbits / N. Baresi, L. Dell'Elce, J.C. dos Santos, Y. Kawakatsu // Nonlinear Dynamics, 2020 – № 99. – С. 2743–2763.

2. Pushparaj, N. Martian Moons eXploration transfer analysis between planar and spatial QSOs around Phobos / N. Pushparaj, N. Baresi, Y. Kawakatsu // International Astronautical Congress. – 2021.

3. Маркеев, А.П. Точки либрации в небесной механике и космодинамике / А.П. Маркеев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978.

УДК 531

СБЛИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

© Симашкина М.Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: simashkinamaria@gmail.com

Научный руководитель: Пикалов Р.С., старший преподаватель
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: связанные космические аппараты, тросовая система, управление длиной троса, безопасное сближение.

Целью данной работы является построение законов управления длиной троса, позволяющих осуществить безопасное сближение двух КА (космический аппарат). Актуальностью данной работы является необходимость изучения различных методов увода космического мусора. Построили связанную схему, движения активного космического аппарата и пассивного объекта. Этап окончательной стыковки остается за рамками представленного исследования. В работе учитываем только силу тяги активного аппарата, остальные гравитационные силы рассмотрены не будут. Обозначим массу активного КА m_1, а массу космического мусора m_2. Тела соединены между собой нерастяжимым, невесомым, неупругим тросом L_0.

Первым этапом было рассмотреть задачу об осуществлении безударного сближения активного КА и пассивного тела космического мусора с помощью тросовой системы. Вторым шагом было выполнено численное моделирование и построение уравнения движения по x и y. Конечным этапом были выведены графики траектории движения при заданных параметрах и провели исследование влияния изменение параметров массы и и сил тяги на полученные до этого графики.

В работе рассмотрели задачу об осуществлении безударного сближения тросовой системой активного КА и орбитального мусора. Построили модель движения связанной системы и вывели уравнения движения по x и y. Вывели графики графики траектории

Библиографический список

1. Aslanov, V.S. Rendezvous of Non-Cooperative Spacecraft and Tug Using a Tether System / V.S. Aslanov, R.S. Pikalov // Engineering Letters. – 2017. – Vol. 25, № 2. – P. 1–5.

2. Пикалов Р.С. Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора / Р.С. Пикалов, В.В. Юдинцев // Труды МАИ – 2018. – № 100. – С. 1–37.

УДК 629.783:523.3

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «АИСТ»

© Спирина Н.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Седельников А.В., д-р техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: малый космический аппарат, вектор магнитной индукции, угловая скорость.

В данной работе исследуется оценка угловой скорости малого космического аппарата «Аист» двумя методами, используя данные измерений компонентов вектора индукции магнитного поля Земли.

Проведена оценка угловой скорости с помощью формулы Бура [1] (первый метод). Результаты представлены на рисунке 1.

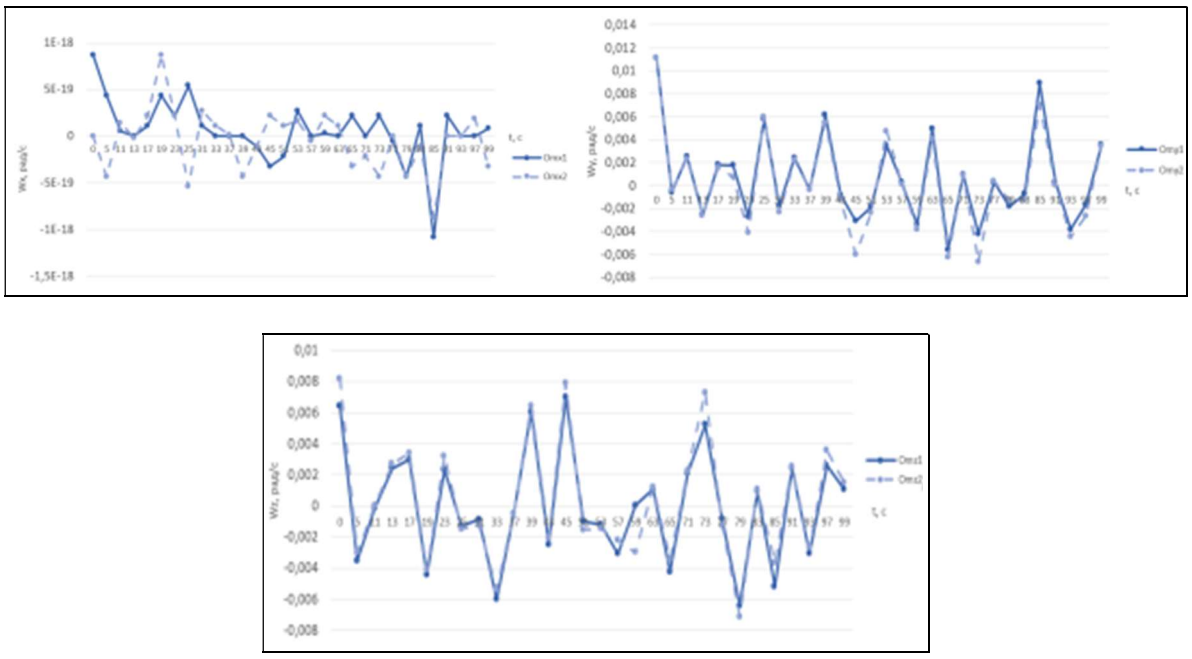


Рисунок 1 – Графики угловых скоростей, полученные первым методом (для результатов измерений первым и вторым магнитометрами)

Проведена оценка угловой скорости с помощью производных вектора магнитной индукции [2] (второй метод). Результаты представлены на рисунке 2.

На основе полученных вычислений проводится анализ применения каждого метода для более точной оценки компонентов вектора угловой скорости вращательного движения малого космического аппарата [3].

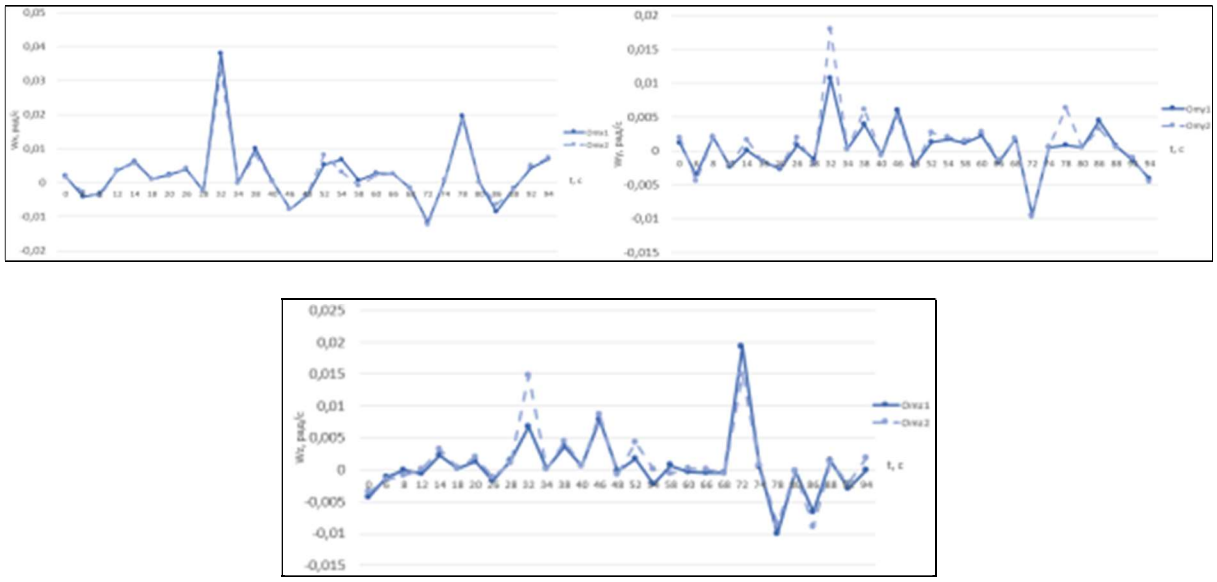


Рисунок 2 – Графики угловых скоростей, полученные вторым методом (для результатов измерений первым и вторым магнитометрами)

Библиографический список

1. Sedelnikov, A.V. Accuracy assessment of microaccelerations simulation on the spacecraft «Foton-M» no. 2 according to magnetic measuring instruments data / A.V. Sedelnikov // Microgravity Science and Technology. – 2020. – Vol. 32, № 3. – P. 259–264.

2. Hajiyev, C. Review on gyroless attitude determination methods for small satellites / C.Hajiyev and D.C. Guler // Progress in Aerospace Sciences. –2017. – Vol. 90. – P. 54–66.

3. Abrashkin, V.I. A simplified technique for determining the rotational motion of a satellite based on the onboard measurements of the angular velocity and magnetic field / V.I. Abrashkin, Y.Y. Puzin, K.E. Voronov, I.V. Piyakov, V.V. Sazonov, N.D. Syomkin, S.Y. Chebukov // Earth. Cosmic Research. – 2016. – Vol. 54, № 5. – P. 375–387.

УДК 629.7.05

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА

© Чаловский Н.А., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nikit.chalovski@gmail.com

Ключевые слова: атмосферный аппарат, система управления движением, ПИД-регулятор, алгоритм управления движением.

В рамках чемпионата «Воздушно-инженерной школы», разрабатывался атмосферный аппарат для исследования Солнца. Одной из дополнительных миссий в рамках высшей лиги была разработка и реализация системы одноосной стабилизации с помощью маховичной системы. В данной работе разработан алгоритм управления и его программная реализация для бортового компьютера указанного атмосферного аппарата.

Внешний вид аппарата представлен на рисунке 1. На рисунке 1 отмечены:

1. Узел крепления парашюта;
2. Отсек для аккумуляторов и бортовой электроники;
3. Система управления движением (маховичная система) [1];
4. Спектрометр.

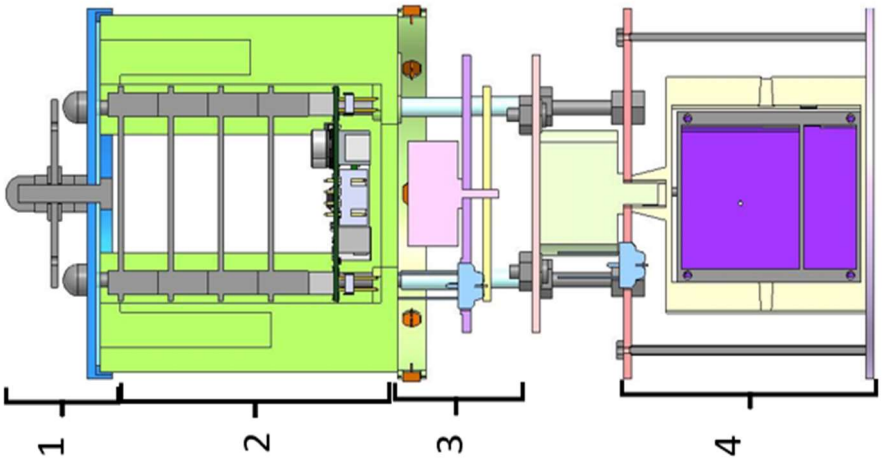


Рисунок 1 – Внешний вид аппарата

Система управления движением состоит из двигателя, датчика измерения скорости на основе оптопары и самого маховика, раскрашенного в чередующиеся чёрные и белые сектора определённым образом.

Были разработаны алгоритмы: измерения скорости вращения маховика, алгоритм управления скоростью вращения маховика (ПИД-регулятор), с введенными ограничениями по мощности работы [2].

Был проведен подбор коэффициентов PID-регулятора двумя способами. Первый (для нахождения опорных коэффициентов) осуществлялся по методу Циглера-Никольса. Второй был экспериментально-аналитический способу (метод проб и

ошибок). На рисунке 2 изображена зависимость переходного процесса от подобранных по второму способу коэффициентов PID-регулятора.

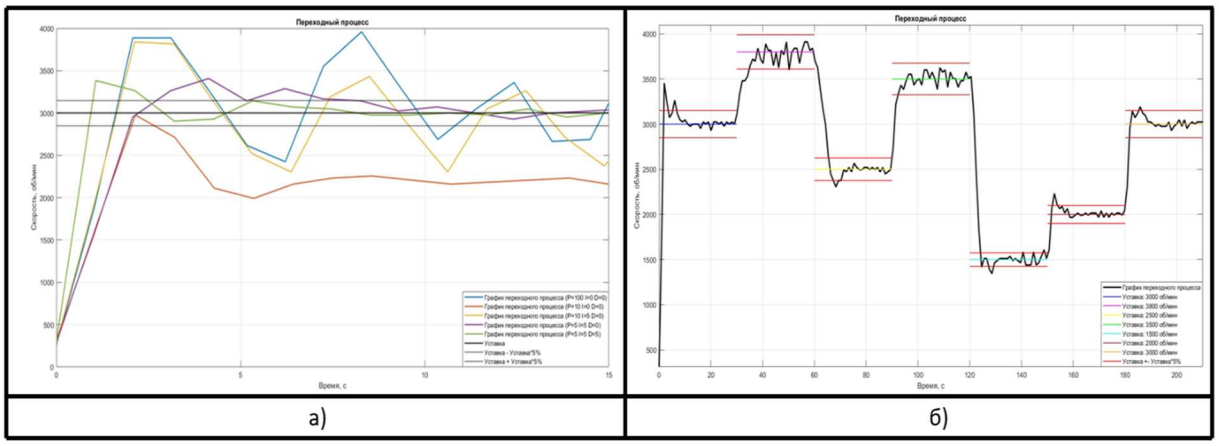


Рисунок 2 – Зависимость переходного процесса от подобранных по второму способу коэффициентов PID-регулятора

На рисунке 3 показан график переходного процесса при различных установках. На основе полученных графиков были рассчитаны основные параметры качества: максимальное время регулирования составило 10 секунд, максимальное перерегулирование – 16 процентов.

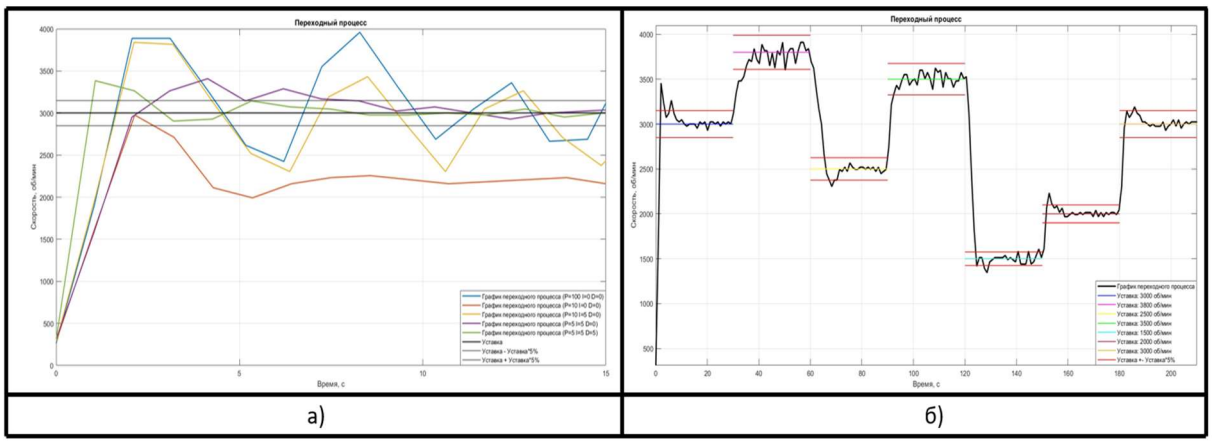


Рисунок 3 – График: а) зависимости переходного процесса от коэффициентов ПИД-регулятора, б) переходного процесса при различных установках

Таким образом, был реализован алгоритм управления движением атмосферного аппарата в виде маховичной системы, экспериментально проверена работоспособность алгоритма управления. Алгоритм планируется использовать в рамках летных испытаний разрабатываемого атмосферного аппарата.

Библиографический список

1. Белоконов, И.В. Движение наноспутника относительно центра масс на околоземных орбитах / И.В. Белоконов, И.А. Тимбай // М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С.П. Королева. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2020.

2. Kumarin, A. Design methods of planar magnetic actuators for small satellites attitude control systems / A. Kumarin, A. Sobornitskaya, I. Kudryavtsev // IEEE proceedings of ITNT 2022. – IEEE., 2022. – P. 9848582.

УДК 629.735.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ ЭКРАНОПЛАНА НА ПРОДОЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

© Чеснаков А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: andrey_chesn@mail.ru

Научный руководитель: Назаров Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: аэрогидродинамическая компоновка, геометрические характеристики, аэродинамические характеристики, устойчивость, XFLR5.

В данной работе исследуются зависимости аэродинамических характеристик (АДХ) от расположения и формы составных частей крыла экраноплана.

Исследуемый прототип имеет крыло сложной формы в плане, состоящее из центроплана малого удлинения и консолей. Конфигурация крыла и оперения представлены на рисунке 1.

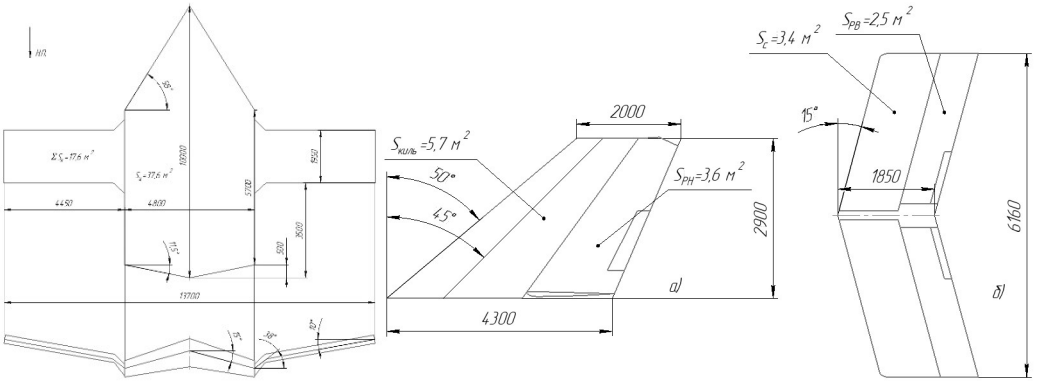


Рисунок 1 – Параметры крыла и оперения исследуемой компоновки

Модель была создана в программном пакете XFLR5. Расчёты проводились с помощью методов особенностей при скорости потока 55 м/с без вязкости [1]. Модель исследовалась на 6 относительных высотах: 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 1-й и 2-х единицах средней аэродинамической хорды (САХ = 6,085 м). Разбиение на панели и расчёт АДХ проводились согласно работе [3]. Сама модель и, соответственно, аэродинамическая компоновка представлены на рисунке 2.

В качестве изменяемых параметров центроплана был выбран только угол поперечного V, так как центроплан прототипа имеет очень малое удлинение $\lambda_{ц} < 1$, но при этом достаточно большой угол поперечного V $\psi_{ц} = -15°$. Так как основной функцией центроплана является создание экранного эффекта и достижения требуемого качества и эффекта поддува, то изменять остальные его параметры отдельно не целесообразно. Консоли намного сильнее влияют на характеристики устойчивости, поэтому получили больший список варьируемых величин, а именно, расположение,

относительную площадь, угол стреловидности и угол поперечного V. Визуальное представление данных параметров представлено на рисунке 3.

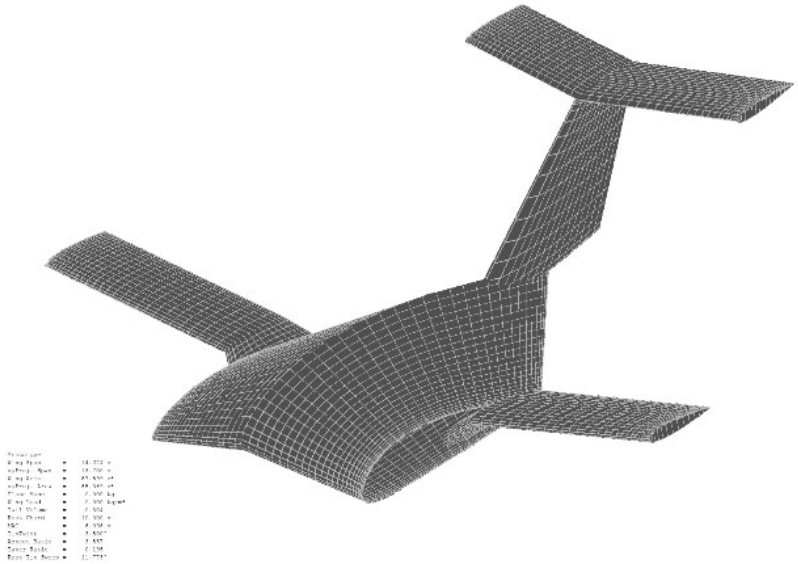


Рисунок 2 – Модель в XFLR5

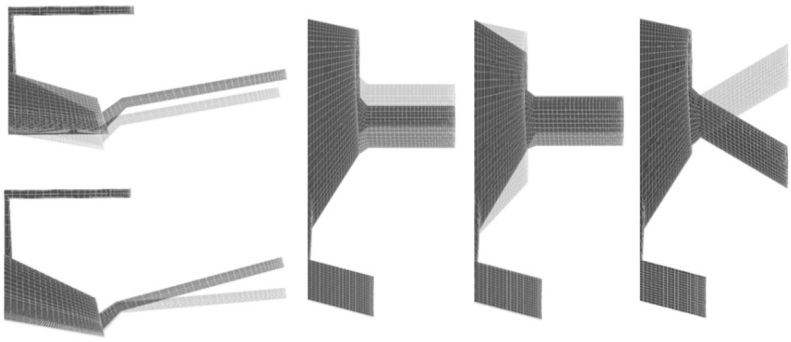


Рисунок 3 – Изменяемые параметры модели

Для определения запаса устойчивости использовались методы описанные Иродовым Р.Д. [2] и Жуковым В.И. [3]. Главным отличием продольной устойчивости ЭП от продольной устойчивости самолёта, является появление фокуса по высоте F_h, тогда как у обычных самолётов выделяется только фокус по углу атаки F_α. Положение фокуса по высоте X_{F_h} определяется аэродинамической компоновкой ЭП [2]. Соответственно, главным условием условие апериодической устойчивости является:

$$\bar{x}_{F\bar{H}} - \bar{x}_{Fa} < 0. \quad (1)$$

После исследования всех моделей и анализа полученных зависимостей характеристик устойчивости в модель были внесены следующие изменения: угол поперечного V центроплана: $\psi_{\text{ц}} = -15° \rightarrow \psi_{\text{ц}} = -10°$; положение консолей по строительной оси ЭП: $x_{\text{конс}}/b_0 = 0{,}35 \rightarrow x_{\text{конс}}/b_0 = 0{,}365$; угол поперечного V консолей: $\psi_{\text{конс}} = 10° \rightarrow \psi_{\text{конс}} = 14°$; стреловидность консолей: $\varkappa_{\text{конс}} = 0° \rightarrow \varkappa_{\text{конс}} = 10°$. В результате внесённых изменений компоновка получила прирост продольной

устойчивости на 5 % при высоте полёта 0,2 САХ. А также зона продольной устойчивости возросла до высоты полёта 0,6 САХ (рис. 4).

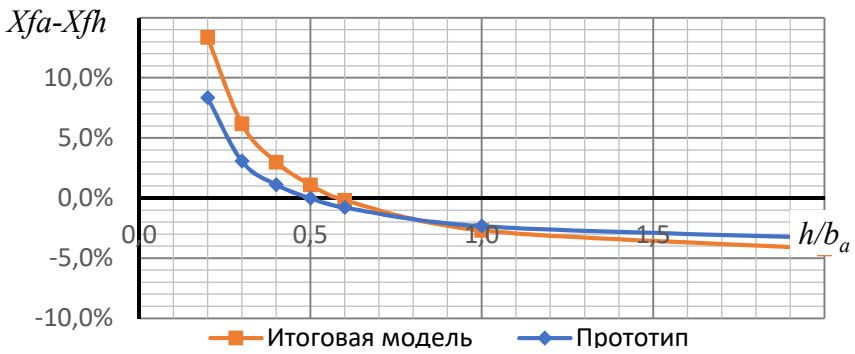


Рисунок 4 – Сравнение продольной итоговой компоновки и прототипа устойчивости по высоте

Библиографический список

1. Чеснаков, А.В. Расчёт аэродинамических характеристик крыла с использованием программного пакета XFLR5 / А.В. Чеснаков // Молодежь. Техника. Космос: труды XVI общероссийской молодёжной научно-технической конференции, приуроченной к 90-летию Юрия Алексеевича Гагарина, летчика-космонавта СССР, Героя Советского Союза, первого человека, отправившегося в космическое пространство (СПб., 25–29 марта 2024 года): в 4 т. – СПб., 2024. – С. 198–202.

2. Иродов, Р.Д. Критерии продольной устойчивости экраноплана / Р.Д. Иродов // Ученые записки ЦАГИ. – 1970. – Т. 1, № 4.

3. Жуков, В.И. Особенности аэродинамики, устойчивости и управляемости экраноплана / В.И. Жуков. – М.: Издательский отдел ЦАГИ, 1997. – 81 с.

УДК 531.381

РАСЩЕПЛЕНИЕ ГЕТЕРОКЛИНИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ В УГЛОВОМ ДВИЖЕНИИ СПУТНИКА-ГИРОСТАТА

© Чуйко А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: tchuikoalisa@yandex.ru

Научный руководитель: Дорошин А.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: спутник-гиростат, динамический хаос, расщепление сепаратрис, гетероклинические траектории, метод матрицанта.

Исследование хаотических режимов движения спутников-гиростатов является важным направлением в современной динамике космического полета. Подобные режимы стоит учитывать при проектировании реальных космических систем, так как малые неточности в задании начального состояния системы с течением времени нарастают и процесс становится непредсказуемым, это может привести к срыву целевых задач миссии.

Расщепление и многократное пересечения устойчивых и неустойчивых многообразий гетероклинических фазовых траекторий при действии периодических возмущений различной природы является одной из основных причин возникновения хаотических режимов движения [1–5]. В работе рассматриваются первые шаги отображения Пуанкаре, демонстрирующие расщепленные формы возмущенных многообразий, полученных на интервале времени, равном одному периоду возмущений. С целью обнаружения хаотизации динамики спутника-гиростата реализован численно-аналитический алгоритм построения эволюции фазовой траектории на основе метода матрицанта [2]. В качестве математической модели движения используются дифференциальные уравнения движения динамически симметричного спутника-гиростата. Исследуется случай при действии внутреннего малого периодического возмущения. Для порождающей системы дифференциальных уравнении (при отсутствии возмущений) известны явные аналитические гетероклинические решения [3], которые используются для прямого численного построения возмущенных сепаратрис и реализации метода матрицанта. Полученные траектории иллюстрируют отклонение каждой точки невозмущённой сепаратрисы при возникновении возмущения в момент времени, равном периоду возмущений, где при движении в прямом направлении времени траектория расщепляется на неустойчивое многообразие, а в обратном – на устойчивое.

Для изучаемой системы построены изображения эволюции фазовых траекторий при наличии гармонических возмущений, на которых видны пересечения расщепленных полодий-сепаратрис, что указывает на хаотический характер динамики системы. В дополнение к результатам, полученным с использованием метода матрицанта, реализован численный метод построения эволюции фазовой траектории на основе прямого численного интегрирования дифференциальных уравнений движения. Результаты моделирования на основе метода матрицанта согласуются с достаточной точностью с результатами прямого численного интегрирования. Результаты моделирования показали наличие пересечений расщепленных многообразий

гетероклинических фазовых траекторий при действии внутренних гармонических возмущений, что свидетельствует о хаотическом характере движения космического аппарата.

В дальнейшем реализованный метод анализа может быть применим к системе с другими типами возмущений, а также использован для разработки новых методов подавления или управления хаосом.

Библиографический список

1. Aslanov, V.S. Chaotic dynamics of an unbalanced gyrostat (2010) / V.S. Aslanov, A.V. Doroshin // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2010. – Vol. 74 (5). – P. 524–535.

2. Doroshin, A.V. Computing the Heteroclinic Orbits Splitting in Systems Phase Spaces via the Matricant Method / A.V. Doroshin // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. – 2018. – Vol. 1. – P. 428–433.

3. Doroshin, A.V. Heteroclinic dynamics and attitude motion chaotization of coaxial bodies and dual-spin spacecraft / A.V. Doroshin // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2012. – Vol. 17 (3). – P. 1460–1474.

4. Holmes, P.J. Horseshoes and Arnold diffusion for Hamiltonian systems on Lie groups / P.J. Holmes, J.E. Marsden // Indiana Univ. Math. J. – 1938. – Vol. 32. – P. 273–309.

5. Iñarrea, M. Chaos in the reorientation process of a dual-spin spacecraft with time-dependent moments of inertia / M. Iñarrea, V. Lanchares // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2000. – Vol. 10, no. 5. – P. 997–1018.

УДК 629.7.01:519.688

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКОВ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

© Яковлева П.С., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: polina.ya03@yandex.ru

Ключевые слова: универсальный алгоритм, численное моделирование, угловое движение, наноспутники, ракетно-космическая отрасль.

Статистика запусков наноспутников за последнее десятилетие характеризуется явным возрастающим трендом [1], что иллюстрирует заинтересованность ракетно-космической отрасли в данном направлении. Но во время моделировании миссий, при анализе углового движения наноспутников обычно учитываются только гравитационный и аэродинамический моменты, хотя при наличии различных выносных элементов и сложной геометрии значительное влияние на угловое движение могут оказывать и моменты других сил [2]. Для аппаратов формата CubeSat с раскрываемыми панелями одним из самых недооценённых является момент силы давления солнечного света.

В работе сформулирована математическая модель углового движения наноспутника с учётом момента силы давления солнечного света и алгоритм численного вычисления значений моментов и моделирования углового движения космического аппарата в математическом пакете MATLAB.

Разработанное программное обеспечение позволяет проводить моделирование для любых моделей малогабаритных космических аппаратов (КА), поворачивать её в соответствии с заданными углами Эйлера, находить площадь проекции получившегося положения КА в пространстве на необходимую плоскость и определять положения геометрического центра получившейся проекции. Также в этой программе реализован учёт различия в коэффициентах отражения спутника и светопоглощающей панели.

Разработанное в рамках данной работы программное обеспечение позволит производить анализ углового движения КА для различных конфигураций наноспутников, а сформулированная математическая модель движения может позволить подобрать конфигурацию спутника при которой будет возможна пассивная ориентация на Солнце.

Библиографический список

1. Kulu, E. CubeSats & Nanosatellites – 2024 Statistics, Forecast and Reliability / E. Kulu // Int. Astronaut. Congr. (IAC 2024). – 2024. – Vol. C, № October. – P. 14–18.

2. Barinova, E.V. Technology for Designing the Angular Motion of CubeSat Nanosatellites with a Passive Stabilization System / E.V. Barinova, I.V. Belokonov, I.A. Timbai // Gyroscopy Navig. 2024. – Vol. 15, № 4. – P. 346–355.

Секция 4
Проектирование, производство, эксплуатация авиационной техники и организация транспортных процессов

УДК 621.452.32

POSSIBLE APPLICATION OF THE OPERATING PRINCIPLE OF AN ADAPTIVE COMPLIANT WING IN CERTAIN UNITS WITH VARIABLE GEOMETRIC CHARACTERISTICS

© Bagapov R.I.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

e-mail: being4real@yandex.ru

Scientific supervisor: Slobozhanina N.A., PhD, associate professor
Samara National Research University, Samara, Russian Federation

Key words: adaptive compliant wing, airfoil, variable geometry, lift-to-drag ratio.

At the moment, one of the least well-known but theoretically effective design solutions in aviation is the adaptive compliant wing. In this paper, the principle of its application in a number of aerodynamic surfaces is investigated.

An adaptive compliant wing (ACW) is a wing that has sufficient flexibility to change the shape of its aerodynamic profile (airfoil) in flight [1]. This is done by deflecting the front and rear edges of the wing using hydraulic units located inside the structure, parallel to the longitudinal power set of the wing. This solution eliminates the need for most of the high-lift units: flaps, slats, interceptors.

This system is also subdivided according to the principle of operation of the deflected surfaces: in addition to the flexible edges of the wing, solutions with variable curvature (camber), chord length, sweep, and fully variable geometry are known, the practical implementation of which is still considered too expensive and complicated.

As a theoretical comparison of this solution with the currently used aerodynamic layout, data obtained from wind tunnel tests during the NASA-MACW (Mission Adaptive Compliant Wing) research program were used [2]. Here are graphs of the dependencies of lift-to-drag (L/D) ratio on the angle of attack (Fig. 1) and on the coefficient of lifting force (Fig. 2)

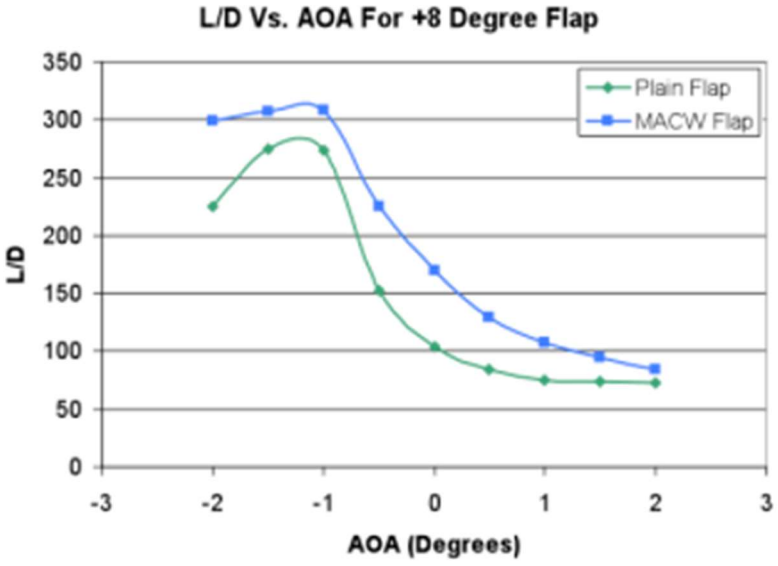


Figure 1 – Graph of the dependence of L/D ratio on the angle of attack

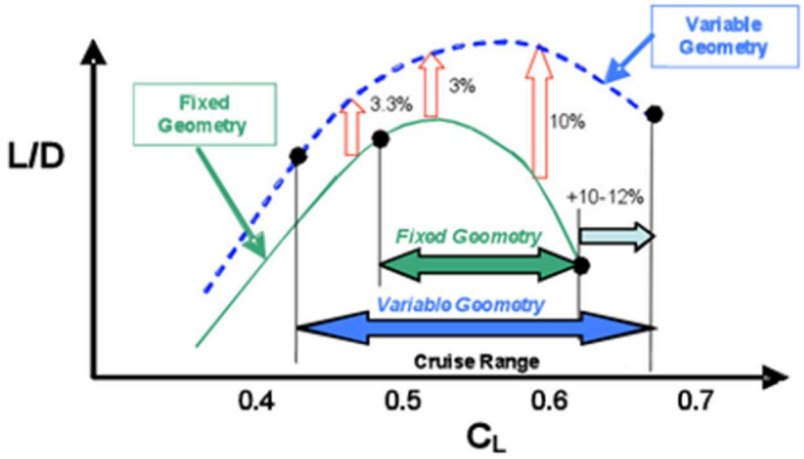


Figure 2 – Graph of the dependence of L/D ratio on the lift coefficient

We successfully calculated the inner theoretical shell of the wing, under the influence of a downward load of 6 kPa (Fig. 3).

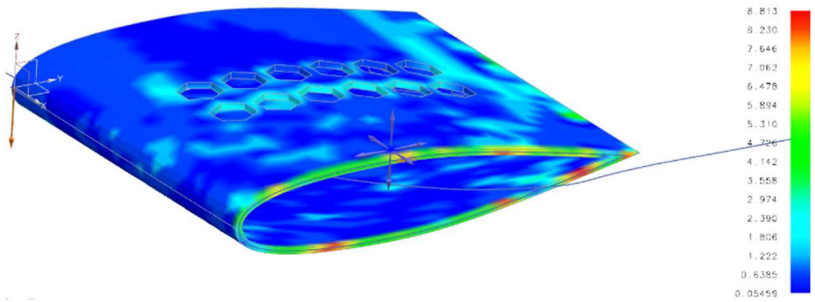


Figure 3 – Theoretical calculation of a section of a wing with a constant cross-section

In the process of the study, a variant of using a monolithic structure limited by two spars and two flexible edges with deflectable external surfaces was proposed [3]. Thus, it becomes possible to maintain the strength of the structure and ensure the necessary mobility.

References

1. Austin, F. Comparison of Smart Wing Concepts for Transonic Cruise Drag Reduction / F. Austin, M.J. Siclari, W. Van Nostrand, V. Kottamasu and G. Volpe // SPIE Smart Structures and Materials Conference, San Diego, CA, 4–6 March 1997. – San Diego, CA, 1997.

2. Kota, S. Design and Application of Compliant Mechanisms for Morphing Aircraft Structures / S. Kota, J. Hetrick, R. Osborn, D. Paul, E. Pendleton, P. Flick and C. Tilmann // Paper 5054-03, SPIE Smart Struc. and Mat Conf, on Ind. and Comml Appl of Smart Struc Techs, San Diego CA, March 2003. – San Diego, CA, 2003.

3. Kota, S. Adaptive Structures: Moving into Mainstream / S. Kota, J.A. Hetrick, R.F. Osborn // Aerospace America. – September, 2006. – P. 16–18.

УДК 629.7.03

АНАЛИЗ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЛОК ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

© Болдырев А.В., Золотов Д.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: boldirev.av@ssau.ru, zolotov.dv@ssau.ru

Ключевые слова: соединение крыла и фюзеляжа, весовой анализ, силовой фактор, конструкция, техническое решение, строительная высота.

Соединение крыла и фюзеляжа представляет собой одну из самых высоконагруженных зон планера самолёта. Традиционным конструктивным решением соединения крыла и фюзеляжа современного магистрального самолёта является центроплан, расположенный внутри фюзеляжа и состыкованный с консолями крыла [1]. Центроплан соединяется с асиловыми шпангоутами крыла и его строительная высота, как правило, постоянна. Рациональность выбранной силовой схемы соединения крыла и фюзеляжа существенно влияет на массу конструкции и эффективность всего летательного аппарата. Улучшить весовую эффективность соединения крыла и фюзеляжа можно за счёт некоторого увеличения строительной высоты конструкции в вертикальной плоскости симметрии самолёта [2].

В работе [3] разработана методика оценки весовой эффективности центроплана магистрального самолёта на основе математической модели деформируемого твёрдого тела переменной плотности. Критериями оценки весовой эффективности конструкции являются силовой фактор G и безразмерный коэффициент силового фактора $C_к$, определяемые следующим образом [4]:

$$G = \int_V \sigma^{экв} dV\,, \tag{1}$$

где $\sigma^{экв}$ – эквивалентные напряжения, действующие в конструкции;
V – объём конструкции.

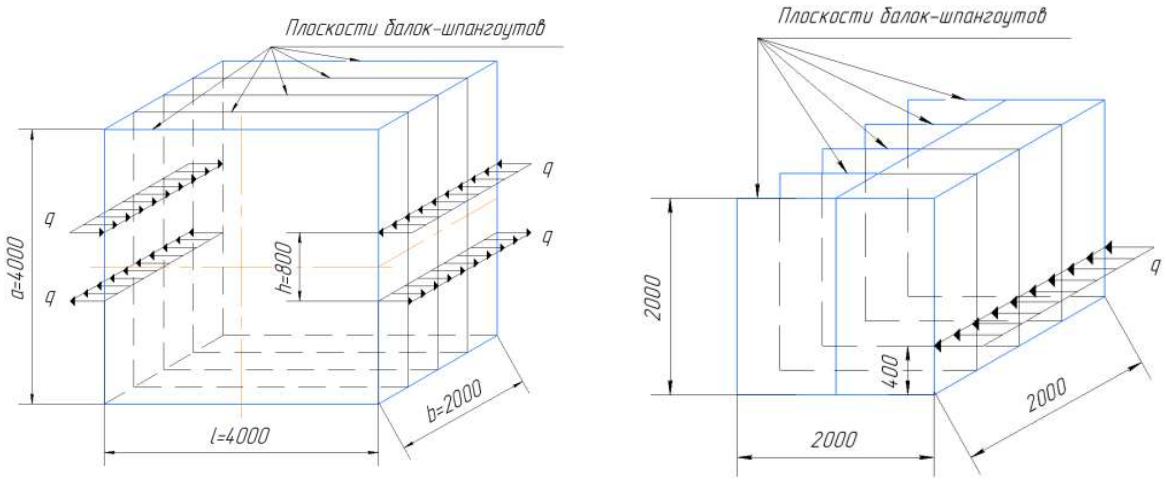
$$C_к = \frac{G}{RL}, \tag{2}$$

где R и L – характерная нагрузка и характерный размер конструкции, выбранные по определенному соглашению.

В качестве характерной нагрузки R для центроплана самолёта в [3] принимается пара сил $2P$, эквивалентная изгибающему моменту, действующему от отъёмных частей крыла на плече h, равном расстоянию между центрами тяжести верхней и нижней панелей центроплана в сечении стыка с консолями крыла. За характерный размер L конструкции выбирается длина передачи изгибающего момента в центроплане *l.*

Целью настоящей работы является проверка гипотезы о рациональности упругой системы соединения крыла и фюзеляжа на основе системы балок переменного сечения. С использованием методики [3] проведены вычислительные эксперименты для упругой системы соединения крыла и фюзеляжа магистрального самолёта на основе

моделей с различным количеством балок переменного сечения. Габаритные размеры проектной области показаны на рисунке 1, а. Модели нагружаются распределёнными нагрузками q с суммарной силой $P = 2{,}5\times10^6$ *Н*. Ввиду симметричности области моделируется её четверть (см. рисунок 1, б). Вдоль стороны b равномерно расположены стенки балок-шпангоутов, моделируемые элементами типа Plate, области, примыкающие к зонам приложения сил от отъемных частей крыла, заменяются упругой средой, моделируемой элементами типа Solid.



а) *б)*

Рисунок 1 – Схема модели, использованная для исследования влияния числа балок на $C_к$. Размеры в мм

Значения коэффициента силового фактора $C_к$ для моделей с различным числом балок *n* представлены на рисунке 2.

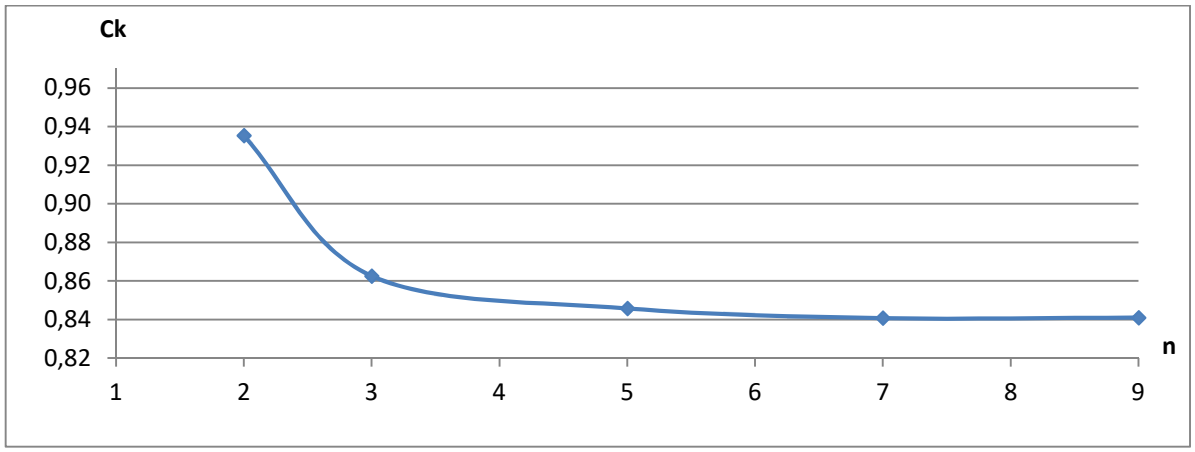


Рисунок 2 – Анализ зависимостей для различного количества балок переменного сечения

Значения $C_к$ снижаются с увеличением числа балок *n*, следовательно, эффективность силовой работы конструкции повышается. При этом значения $C_к$ практически не изменяются, при увеличении *n* более 5. Большее число балок осложняет

компоновку ЛА и снижает технологичность конструкции планера. Таким образом, рациональная конструкция соединения крыла и фюзеляжа содержит 5 балок.

Библиографический список

1. Niu, Michael C.Y. Airframe structural design / Michael C.Y. Niu. – Hong Kong: CONMILIT PRESS LTD, 1988. – 612 p.

2. Одинцова, С.А. Исследование безразмерного критерия оценки весовой эффективности конструкций силовых шпангоутов / С.А. Одинцова // Труды МАИ. – 2016. – Вып. 85. – С. 1–18.

3. Болдырев, А.В. Оценка весовой эффективности центроплана магистрального самолёта / А.В. Болдырев, Д.В. Золотов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. − 2025. − Т. 24, № 1. − С. 7–18.

4. Комаров, В.А. Безразмерный критерий силового совершенства конструкций / В.А. Комаров // Известия РАН. Механика твёрдого тела. − 2018. − № 4. − С. 34–47.

УДК 658.5.011.56

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ КАРТЫ ПОТОКА ПРОЦЕССА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© Гвоздева П.С.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: gvozdeva.ps@ssau.ru

Научный руководитель: Антипов Д.В., д-р техн. наук, профессор
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: карта потока процесса, автоматизация, роботизированное производство, производство летательных аппаратов.

Каждый процесс в авиастроительной отрасли требует особого внимания и постоянного улучшения. Автоматизировать процессы серийных производств летательных аппаратов можно с помощью внедрения методологии бережливого производства. Данный способ целесообразно начинать с выбора потока создания ценности [1]. В данной работе рассматривается методика разработки одного из ключевых инструментов анализа и оптимизации производственных процессов – карты потока процесса (КПП).

Название	Обозначение	Символ
Роботы-паллетайзеры	ПТР	
Шарнирно-сочлененные роботы	ШСР	
SCARA роботы	SP	
Декартовы роботы	ДКР	
Коллаборативные роботы	КР	
Дельта-роботы	ДР	
Мобильные роботы	МБ	
Пакетировочные роботы	ПКР	
Краскораспыляющие роботы	КРР	
Роботы для 3D-печати	3DP	
Роботы для обслуживания станков	ОР	
Полярные роботы	ПР	

Рисунок 1 – Символы и обозначения раздела «Роботы» в карте потока процесса

В рамках методики был произведен анализ этапов проведения диагностики потоков с помощью карты потока создания ценности (КПСЦ) (см. табл.). Карта потока создания ценности представляет собой изображение в виде простой схемы каждого этапа движения потоков, необходимых для выполнения заказа потребителя. При построении карты потока создания ценности наблюдатель видит весь поток, «узкие места» процесса (ожидания, перемещения, неравномерность процесса, запасы), потери и их причины [2].

Таблица – Этапы проведения диагностики потоков с помощью КПСЦ

Название этапа	Шаги
1. Подготовительный этап	1. Определение целей картирования.
	2. Выбор продукции, поток изготовления которой нужно улучшить
	3. Определение границ потока и периметра проекта
	4. Формирование рабочей группы
	5. Инструктаж рабочей группы
	6. Подготовка материалов для проведения картирования
2. Описание текущего состояния потока	1. Описание клиентов
	2. Описание элементов потока текущего состояния
	3. Формирование КПСЦ текущего состояния
	4. Расчёт значений показателей потока
	5. Формирование списка проблем потока
3. Описание идеального состояния потока	1. Анализ прогнозов по изменению производственной программы
	2. Определение элементов потока идеального состояния
	3. Формирование КПСЦ идеального состояния
	4. Расчёт значений показателей идеального потока
4. Сравнение КПСЦ идеального состояния с текущим состоянием	1. Сравнение КПСЦ текущего и идеального состояния потока
	2. Дополнение списка проблем потока
5. Описание КПСЦ целевого состояния	1.Формирование списка решений для достижения показателей проекта
	2. Определение элементов потока целевого состояния
	3. Разработка целевой КПСЦ
	4. Расчёт показателей потока целевого состояния
6. Анализ автоматизации	1. Оценка текущего уровня роботизации
	2. Выбор операций для внедрения роботов (критерии: повторяемость, точность, опасность)
7. Интеграция с ИТ-системами	1. Настройка обмена данными между роботами и MES-системой
8. Разработка мероприятий	1. На основе выведенной диагностики разрабатываются мероприятия по улучшению процессов

После этого в стандартную методику разработки карты потока были внедрены элементы под автоматизацию и роботизацию (обновленные опросники (для описания текущего состояния потока и операций), списки параметров для описания операций, а также новые символы и обозначения (такие как «роботы» (рис. 1), «машинное зрение», «конвейерные линии»). Такие дополнения позволяют более точно отражать взаимодействие между автоматизированными системами и человеческим фактором,

что критически важно для повышения эффективности производственных линий по изготовлению летательных аппаратов.

Пример карты потока роботизированного процесса создания летательных аппаратов представлен на рисунке 2.

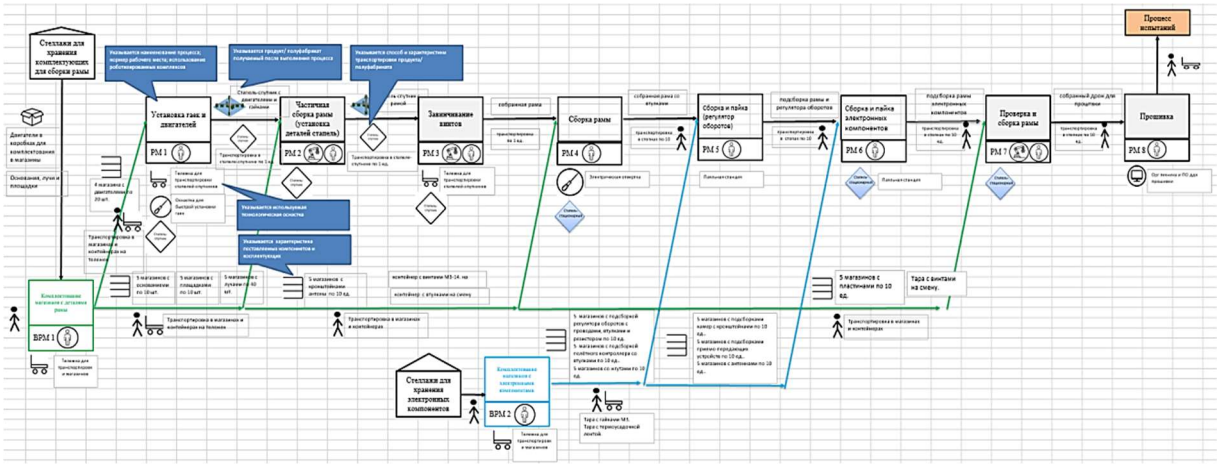


Рисунок 2 – Пример карты потока роботизированного процесса создания летательных аппаратов

Корректное построение КПП в условиях Industry 4.0 не только визуализирует текущее состояние процесса, но и способствует минимизации потерь и повышению эффективности.

Библиографический список

1. Мироненко, А.А. Карта потока создания ценностей (VSM) – инструмент проектирования бизнес-процессов в бережливом производстве / А.А. Мироненко // Матрица научного познания. – 2018. – № 5. – С. 19–25.

2. Приймак, Е.В. Практические аспекты методологии бережливого производства / Е.В. Приймак // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 33–45.

УДК 004.942

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СРЕДСТВАМИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

© Лёвин Ю.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Болдырев А.В., д-р техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lev.ura@mail.ru

Ключевые слова: компьютерная модель, авиационные приборы, приёмник воздушного давления, ANSYS Mechanical, топологическая оптимизация.

Данная работа посвящена проектированию элементов системы воздушных сигналов (СВС). Приборный комплекс СВС представляет собой многоканальную измерительную систему, включающую в себя совокупность воспринимающих устройств, измерительных преобразователей, средств передачи, обработки, отображения и сравнения информации.

Одними из самых нагруженный элементов СВС являются воспринимающие устройства, так как подвергаются воздействию внешней среды. Основными воспринимающими устройствами современной СВС являются: приёмник воздушных давлений (ПВД); датчик температуры торможения (ДТТ); датчик аэродинамических углов (ДАУ).

В проектировании современных СВС можно выделить несколько основных тенденцией, это:

1. Снижение массы, энергопотребления, габаритов и номенклатуры компонентов [1];
2. Упрощения обслуживания воспринимающих устройств [1];
3. Разработка многофункциональных датчиков аэродинамических параметров [1];
4. Разработка датчиков принципиально новой конструкции (например, многогранный ПВД) [1];
5. Оценка параметров полёта ЛА на основе обработки собственных навигационных измерений и данных от внешних источников информации (интеграция GPS) [2];
6. Минимизация погрешности восприятии статического давления ПВД [3];
7. Уменьшение влияния скорости потока газа на результат измерения его температуры ДТТ [4];
8. Разработка воспринимающих устройств на основе новых измерительных преобразователей (например, волоконно-оптический датчик) [5].

Стоит отметить, что тенденции под номером 1, 6 и 7 существуют на протяжении всего времени существовании СВС, но не теряют свою актуальность.

Такие задачи как снижение массы и габаритов, повышение прочности и жёсткости конструкции при проектировании воспринимающих устройств СВС могут быть решены или значительно упрощены применением топологической оптимизации.

Целью топологической оптимизации является определение лучшего использования материала для исследуемого объекта или конструкции.

При подготовке расчётной модели к элементу СВС присоединяется заполнитель, моделируемый трёхмерными конечными элементами. Заполнитель состоит из теоретического материал переменной плотности. Исследуемый элемент так же может быть представлен телом переменной плотности *r*. Допустимое напряжение и модуль упругости материала рассчитываются по формулам 1 и 2 соответственно.

$$E = r \cdot \bar{\bar{E}}\,, \tag{1}$$

$$\bar{s} = r \cdot \bar{\bar{s}}\,, \tag{2}$$

где $\bar{s}$ – допускаемое напряжение; $\bar{\bar{E}}$ и $\bar{\bar{s}}$ – модуль упругости и допускаемое напряжение при единичной плотности – удельные характеристики материала, за проектные переменные принимается плотность материала в трёхмерных конечных элементах с фиксированными величинами модуля упругости и допускаемого напряжения при единичной плотности.

Целевой функцией является масса конструкции. А функциональное ограничение наложено на значение частоты собственных колебаний и значение статического давления на поверхности конечных элементов. Топологическая оптимизация элемента СВС описана формулой 3.

$$(TO)\begin{cases} \min\limits_{m} \sum_{e=1}^{e_n} m_e \\ \begin{cases} 0 \le r_e \le 1, \quad e = 1,2,\dots,e_n \\ m_e^{min} \le m_e \le m_e^{max} \\ g_j(m) = f_j(m) - \overline{f_j}, \quad j = 1,2,\dots,p_1 \\ g_j(m) = P_j(m) - \overline{P_j}, \quad j = p_1+1, p_1+2,\dots,p \end{cases} \end{cases} \tag{3}$$

где r_e – традиционная переменная проектирования, которая может принимать значения от 0 (пустой элемент) до 1 (элемент, заполненный материалом); m_e – массы конечных элементов, переменная проектирования, связанная линейно с r_e; m_e^{min} и m_e^{max} – ограничения снизу и сверху для е-й переменной проектирования; g_j – функциональное ограничение; $fr_j(m)$ и $\overline{f_j}$ – частота собственных колебаний узлов конечно-элементной модели и её допускаемые значения; $P_j(m)$ и $\overline{P_j}$ – статическое давление на поверхности конечных элементов.

Далее проводится топологическая оптимизация заполнителя, в результате которой получается теоретически оптимальная конструкция. проводится для тела переменной плотности, присоединённого к ПВД при воздействии, например синусоидальной вибрации

Этапы проектирования ПВД с применением топологической оптимизации:

1. Математическое моделирование воздействия синусоидальной вибрации
2. Математическое моделирования воздействия воздушного потока

3. Топологическая оптимизация заполнителя, в результате которой получается теоретически оптимальная конструкция

4. Изменение конструкции ПВД на основе теоретически оптимальной конструкции.

Библиографический список

1. Развитие отечественных систем измерения воздушных параметров полёта летательных аппаратов / М.А. Головкин, А.А. Ефремов, А.В. Вялков [и др.] // Материалы III Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов. – Жуковский: Изд-во Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского, 2018. – С. 77–93.

2. Джанджгава, Г.И. Развитие методов и алгоритмов комплексной обработки информации бортового радиоэлектронного оборудования / Г.И. Джанджгава, Г.И. Герасимов, А.В. Бабиченко, М.И. Орехов // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 8. – С. 9–18.

3. Дорофеев, С.С. Авиационные приборы / С.С. Дорофеев. – М.: Военное издательство, 1992. – 495 с.

4. Авиационные приборы и измерительные системы: учебник для вузов гражданской авиации / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов, А.Л. Грохольский [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 391 с.

5. Мурашкина, Т.И. Волоконно-оптический датчик аэродинамических углов / Т.И. Мурашкина, Е.А. Бадеева, Д.И. Серебряков [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 5. – С. 18–25.

УДК 656.073

ПЕРЕВОЗКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ КИТАЯ В РОССИЮ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

© Нефедова В.Д., Кропивенцева С.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: mv.dmitrievna@yandex.ru

Ключевые слова: международная перевозка, таможенные платежи, транспортные расходы, Северный морской путь.

В работе представлен проект перевозки партии из 100 транспортных средств модели Geely Monjaro. Длина автомобиля составляет 4770 мм, ширина 1895 мм, а вес 1855 кг. Для партии автомобилей 100 штук при погрузке 2 автомобилей в 1 контейнер потребуется 25 контейнеров TEU. Расчет транспортных расходов производится для автомобиля марки Geely Monjaro стоимостью 2 231 280 рублей. В соответствии с ФЗ № 289-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» ввоз в РФ автомобилей облагается таможенной пошлиной в размере 15 % от общей стоимости, и акцизом, зависящим от мощности автомобильного двигателя.

Для перевозки товара был выбран маршрут по Северному морскому пути от китайского порта, расположенного в г. Нинбо, провинция Чжэцзян, до российского порта в г. Мурманск. Расстояние по маршруту составит 6631 морскую милю (12 269 километров). В порту г. Мурманск груз будет перегружен на железнодорожную платформу и проследует до станции в г. Череповец, расстояние перевозки составляет 1558 километров.

Средняя стоимость фрахта 40 – футового контейнера вместе с судовыми затратами составляет $0,5 за 1 километр пути, сумма за транспортировку 25 контейнеров типа TEU и 100 автомобилей в вагоне-автовозе составит 14 699 277 рублей.

Примем что средняя скорость контейнеровоза по СМП в период летней навигации составит 27 км/час, а скорость грузового железнодорожного состава 15 км/час, таким образом, срок доставки составит 22,25 дня. Таможенная пошлина составит 334 692 рубля. Для двигателя мощностью 238 л.с. ставка акциза равна 955 руб/л.с. [1]: 238 × 955 = 227 290 рублей. Сумма НДС при ставке 20 % составит 558 652,40 рублей. Ставка утилизационного сбора для нового автомобиля с мощностью двигателя больше 1000 см^3, но меньше 2000 см^3 ввозимого юридическим лицом для его дальнейшей перепродажи составляет 33,37 % [2], 667 400 рублей. Общая стоимость таможенного оформления одного автомобиля составит 1 799 780,4 рубля.

Таким образом, суммарные затраты на перевозку и таможенное оформление партии автомобилей составит 195 811 601 рублей, а срок доставки 22,25 дня.

Библиографический список

1. Статья 193. Налоговые ставки // Налоговый кодекс Российской Федерации (НК РФ). – URL: https://base.garant.ru/10900200 /9ab581f332f422774f6e67652ce80a1c (дата обращения: 13.03.2025).

2. Коэффициенты утилизационного сбора. – URL: https://customs.gov.ru/uchastnikam-ved/uplata-tamozhennyx-i-inyx-platezhej (дата обращения: 13.03.2025).

УДК 629.7.01

КОНЦЕПЦИЯ КОНВЕРТИРУЕМОГО САМОЛЁТА МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СО СМЕННЫМ МОДУЛЕМ ФЮЗЕЛЯЖА

© Одинцов М.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: odintsov.m.al.01@gmail.com

Научный руководитель: Болдырев А.В., д-р техн. наук, доцент, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: многоцелевой конвертируемый самолёт, модульная конструкция, планер-носитель, сменяемый модуль, полезная нагрузка.

Специфика текущей ситуации на рынке авиаперевозок заключается в том, что при относительно невысокой интенсивности перевозок на местных воздушных линиях существует потребность в выполнении различных задач – от перевозки пассажиров и грузов до выполнения специальных задач. Однако даже небольшой самолёт местных воздушных линий является дорогостоящим транспортным средством, а эксплуатация большого парка узкоспециализированных самолётов является проблематичной для малых авиакомпаний [1; 2]. Современная геополитическая ситуация на авиационном рынке, география Российской Федерации и малая логистическая связанность отдельных её регионов требует разработки и производства многоцелевых самолётов местных воздушных линий.

В данной работе предлагается концепция конвертируемого самолёта местных воздушных линий с дальностью до 1100 км для выполнения различных задач с аэродромов 3-го и 4-го класса, в том числе с грунтовых ВПП. Основная идея заключается в том, что небольшие авиакомпании имеют универсальный самолёт-носитель с наиболее широко используемыми пассажирским или грузовым модулями. Для выполнения специальных задач авиакомпании могут арендовать требуемый специализированный модуль (санитарный, автономный медицинский, административный и т. д.). Это позволит небольшим авиакомпаниям расширить круг выполняемых задач при относительно небольшом парке самолётов.

С точки зрения эксплуатационных требований принята схема свободнонесущего высокоплана с двухбалочным хвостовым оперением П-образной схемы. Такое оперение позволит существенно сократить время простоя самолёта за счёт оперативной замены модулей в аэродромных условиях без применения сложного наземного оборудования. Следовательно, авиакомпании смогут увеличить количество рейсов в сутки за счёт выполнения пассажирских и грузовых рейсов в течение одного дня. При этом предлагаемый подход к декомпозиции самолёта на независимые, быстро заменяемые функциональные модули не имеет серийных аналогов в мире и позволит обеспечить

успешное экономическое и социальное развитие как отдельных регионов, так и государства в целом.

Библиографический список

1. Анализ Комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2035. – Москва, 30 ноября 2023. – URL: https://aviatp.ru/files/cabinettp/2023/Report_2.pdf (дата обращения: 29.09.2024).

2. Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 25.06.2022 № 1693-р. – URL: http://government.ru/docs/all/141773/ (дата обращения 29.09.2024).

УДК 519.685

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ШАБЛОНОВ ТИПОВЫХ СЕКЦИЙ

© Ткаченко А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: tkachenko.aa@ssau.ru

Научный руководитель: Антипов Д.В., д-р техн. наук, профессор
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: узлы авиационной техники, параметрическое проектирование, шаблоны типовых секций, системы автоматизированного проектирования.

После введения санкций против российской авиаотрасли импортозамещение стало необходимым. По заверению правительства важно обеспечить полную технологическую независимость от использования импортной продукции. Спрос на отечественные самолёты возрос, однако существует перечень нерешённых проблем, которые удерживают быстрое развитие прогресса в области авиастроения. К таким проблема относятся:

- длительный процесс проектирования новых самолётных конструкций;
- использования в конструкторских бюро (КБ) твердотельных одноразовых электронных моделей, что увеличивает время модернизации самолёта [1].

Вышеуказанные проблемы решаются формированием шаблонов типовых секций электронных моделей изделия.

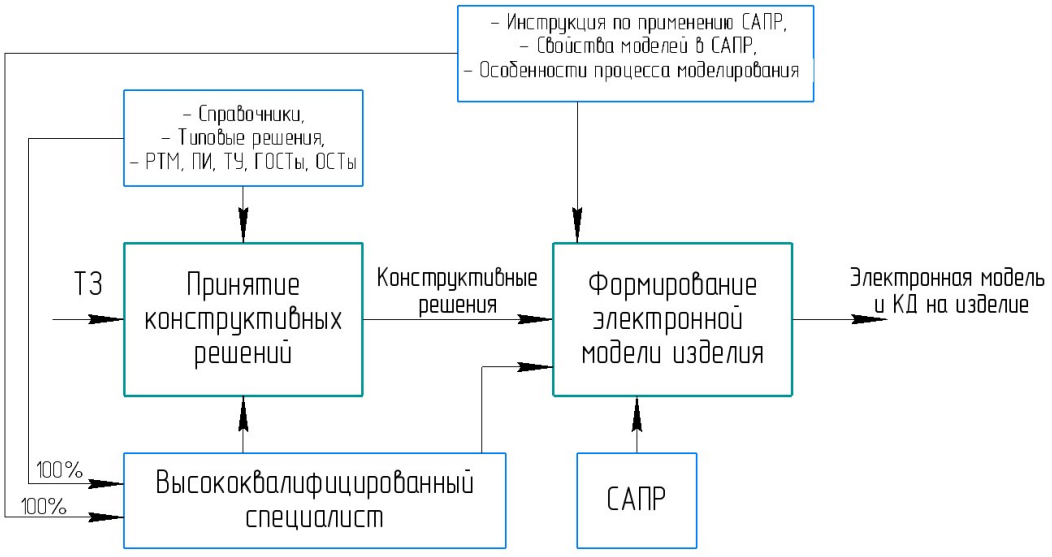


Рисунок 1 – Схема исходного процесса проектирования

Анализ объектов агрегатно-сборочных приспособлений показывает, что объекты сборки определённых классов и группконструкций планера обладают высокой степенью технологической и конструктивной общности по перечню требований по точности и взаимозаменяемости к элементам членения авиационных конструкций для

обеспечения дальнейшей сборки [2]. Поэтому следует разработать библиотеку шаблонов типовых секций электронных моделей изделий авиационной техники для дальнейшего использования.

На рис. 1 представлена схема текущего процесса проектирования изделий авиационной техники.

Из схемы видно, что для формирования электронном модели изделия необходим высококвалифицированный специалист со знаниями справочных материалов, ГОСТов, ОСТов и т. д., а также навыками работы в системах автоматизированного проектирования (САПР). В данной схеме процесс проектирования становится долгим и трудоёмким, так как время на обучение по данной специальности составляет 5–6 лет, что в совокупности с нехваткой кадров делает процесс проектирования длительным.

На рис. 2 построена схема усовершенствованного процесса проектирования изделий авиационной техники. Данная схема подразумевает за собой то, что основной объём информации, регламентирующий подпроцессы принятия решений и формирования моделей введён в шаблон типовой секции, что позволяет снизить временной показателей проектирования и выполнять процесс специалистам средней квалификации.

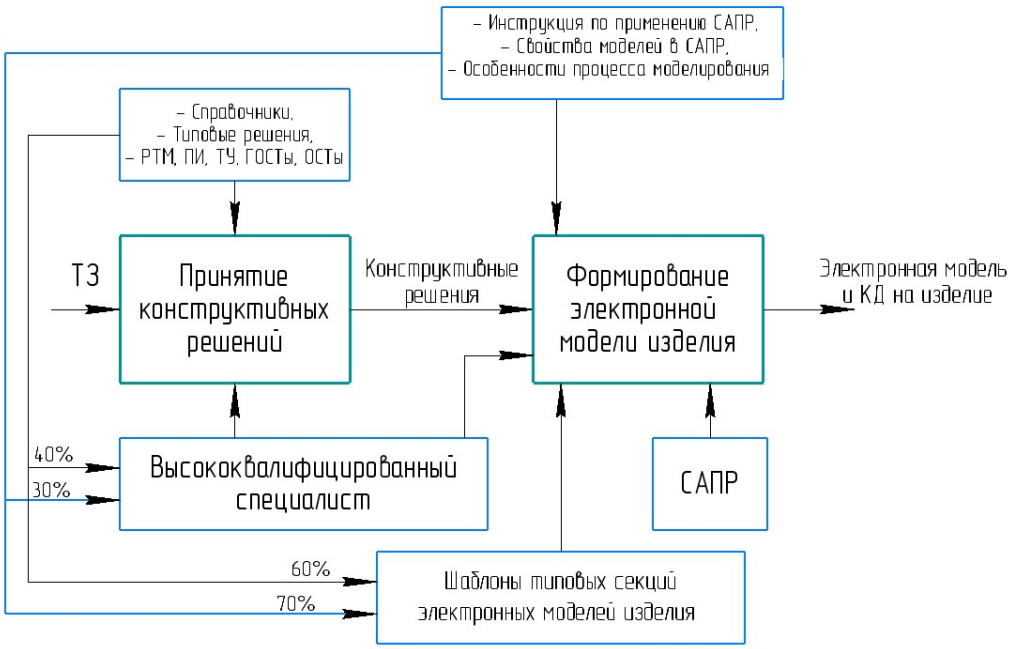


Рисунок 2 – Схема усовершенствованного процесса проектирования

Таким образом, в данной статье было предложено усовершенствования процесса проектирования изделий авиационной техники путём разработки шаблонов типовых секций электронных моделей изделий, данный способ позволяет сократить время на процесс проектирования новых узлов и агрегатов и отказаться от использования твердотельных одноразовых электронных моделей.

Библиографический список

1. Житомирский, Г.И. Конструкция самолётов / Г.И. Житомирский. – М.: Машиностроение, 2005. – 406 с.

2. Григорьев, В.П. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолётов и вертолётов / В.П. Григорьев, Ш.Ф. Ганиханов. – М.: Машиностроение, 1977. – 136 с.

.

Секция 5
Теория, конструкция, надежность, прочность
и технология производства двигателей летательных
аппаратов

UDC 621.762.5

INVESTIGATION OF THE RESIDUAL STRESS STATE OF MEDICAL PARTS MADE OF VT-6 MATERIAL BY THE SLS METHOD

© Davydova S.O., Kulikov S.V.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

e-mail: s.kulikov2002@gmail.com

Key words: selective laser melting method, VT-6, residual stresses, reduction of residual stresses.

The selective laser melting method allows for the creation of complex-shaped products with high precision, providing unique material properties such as biocompatibility, lightness and strength. However, this process is accompanied by the occurrence of significant thermal gradients and deformations, leading to the occurrence of internal stresses inside the part [1; 2].

Residual stresses arise due to uneven heating and cooling of layers during the additive manufacturing process. They lead to the following negative consequences:

- Deformations of finished products, distortion of geometric accuracy.
- The appearance of microcracks and structural defects that reduce the mechanical characteristics and durability of the structure.
- Loss of surface quality, deterioration of aesthetics and performance characteristics of medical implants.

Medical parts are made primarily from high-strength titanium alloys, such as VT-6, which have high strength, ductility and corrosion resistance. However, internal stresses can significantly affect patient safety and the reliability of structures under long-term exposure to loads and physiological environments of the human body.

The aim of the work was:

1) To investigate residual stresses in parts of the specified type manufactured by the SLS method
2) Provide methods for reducing residual stresses.

During the work, the following methods of reducing residual stresses were considered: heat treatment, vibration treatment and changing the scanning strategy, and their advantages and disadvantages were analyzed.

References

1. Agapovichev, A.V. Study of the influence of selective laser melting modes on the quality of workpieces / A.V. Agapovichev, A.V. Sotov, V.G. Smelov. – Samara: Publishing house of Samara University, 2017. – 32 p.,10 ill.

2. Peskova, A.V. Study of the formation of the structure of the VT6 titanium alloy material obtained by additive technologies / A.V. Peskova, D.I. Sukhov, P.B. Mazalov // Aviation Materials and Technologies. – 2020. – No. 1 (58). – P. 38–44. – DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-38-44.

UDC 621.9

DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING A PART OF THE FLANGE

© Golomazova A.O., Davydova S.O., Kulikov S.V.

Samara Natonal Research University, Samara, Russian Federation

e-mail: s.kulikov2002@gmail.com

Key words: flange, technological process, innovative technological process, detail.

This paper examines the issue of improving the basic technological process of the “Flange” part. During its analysis, changes were proposed, on the basis of which an innovative technological process was developed. In the innovative technological process, the working drawing of the part was analyzed, a more advantageous method for obtaining the blank was selected, the route of the technological process was designed, modern metalworking equipment and metal-cutting tools were selected, standardization of operations and calculation of the technological cost were carried out. From the economic comparison of the basic and innovative technological process, a conclusion was made that it is more advantageous to process the “Flange” part using the innovative technological process. The organizational and economic indicators of the workshop section were calculated [1; 2].

Currently, mechanical engineering uses automated design systems that reduce the development time of the technological process; modern metalworking equipment equipped with numerical software; manipulators; modern cutting tools that reduce processing time. The main task of engineers now is not only the competent organization of the production process, but also the rational and economically sound use of modern equipment and tooling in the development of the technological process.

Objective of the work: development of an innovative technological process for manufacturing the “Flange” part.

Tasks to be solved:

– analysis of the basic technological process;

– development of an innovative technological process;

– comparison of basic and innovative technological processes in terms of labor intensity and cost;

– calculation of organizational and economic indicators of the work of a section of the workshop;

– analysis of the efficiency of replacement of metalworking equipment.

References

1. Pronichev, N.D. Innovative production technologies in engine building: textbook / N.D. Pronichev, L.A. Chempinsky, A.P. Shulepov, A.V. Meshcheryakov; Samar. state aerospace University; Comp. – Samara, 2012. – 54 p.

2. Vishnyakov, A.E. Feasibility study for choosing a method for obtaining a workpiece / A.E. Vishnyakov / Samar. aerospace univ. – Kuibyshev: KuAI, 1981. – 68 p.

UDC 629.7.036

MOTEURS RUSSES MODERNES

© Mysov K.D., Merkulova L.P.

Université Nationale de Recherche de Samara, Samara, Fédération de Russie

e-mail: MysFen318@yandex.ru

Mots-clés: russes modernes, transport aérien, la construction aéronautique.

Un grand nombre de passagers et de marchandises sont transportés par les avions. Les avantages du transport aérien: la vitesse et la fiabilité. Un grand pays comme la Russie a besoin de la possibilité de déplacer rapidement quelque chose à une longue distance.

Le premier avion équipé d'un moteur a été créé par les frères Wright et nommé “Flyer-1”.

Cet avion a décollé le 17 décembre 1903. Le moteur de l'avion avait 12 chevaux, 77 kg de poids. De principaux composants du moteur étaient en aluminium. Pendant 40 ans, ce type du moteur était nécessaire dans la production d'avions [1–3].

La construction aéronautique civile est une industrie de haute technologie et stratégique qui nécessite des investissements importants et un soutien direct de l'état. L'affaiblissement de la position de Boeing (en raison de problèmes avec le 737 MAX) ouvre des possibilités pour les fabricants russes, mais la production en série de l'avion MS-21 a été reportée à plusieurs fois en raison de sanctions et de la nécessité de trouver de nouvelles solutions techniques [4; 5].

Moteurs d'avion russes prometteurs:

Moteur PD-8

Développeur: ODK “Saturn” (Rybinsk).

Utilisation: SSJ-100, BE-200.

Avantages: la réduction des coûts d'exploitation, la conformité aux exigences, assistance technique.

Caractéristiques: poussée 7–9 t, 2300 kg de poids.

Moteur PD-14

Développeur: "Perm moteurs d'avion".

Utilisation: MS-21, SSJ, An-148, Tu-204.

Avantages: la réduction du niveau bruit (15-20 dB en dessous des normes de l'OACI).

L'économie du carburant (10–15 % mieux que les analogues).

Le coûts d'exploitation réduits (de 14 à 17 %).

Inconvénients: la réduction de la traction à haute altitude.

Moteur PD-35

Utilisation: An-124, les avions à fuselage large prometteurs (CR929).

Caractéristiques: l'utilisation de composites, les technologies additives.

Économies: la réduction de 15 % du coût du cycle de la vie.

Moteur VC-650V

Objectif: remplacement des analogues étrangers pour les hélicoptères (Mi-34, Ka-226t, ansat).

Innovation: le premier moteur d'hélicoptère de l'histoire russe, conçu uniquement en utilisant la modélisation 3D.

Le moteur le plus prometteur est le PD-14, combinant des caractéristiques concurrentielles et un potentiel de modernisation. Le PD – 14 le plus proche du LEAP et du PW1000G est ses concurrents directs sur le marché des avions moyen-courriers. Jusqu'à présent, il leur est inférieur en termes d'efficacité énergétique, mais gagne en prix et en indépendance par rapport aux approvisionnements occidentaux. Pour le développement de l'industrie, il est nécessaire:

Réduire du fardeau fiscal;

attirer des spécialistes et des investissements étrangers.

Liste bibliographique

1. Котров, Д.В. Анализ двигателей самолетов XXI века / Д.В. Котров // Молодежь и XXI век – 2021: материалы XI Международной молодежной научной конференции (Курск, 18–19 февраля 2021 года): в 6 т. / отв. ред. М.С. Разумов. – Т. 6. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 97–100. – EDN: HMTTGN.

2. Кузнецов, Ф.А. Актуальные проблемы и перспективы развития гражданского авиастроения России в условиях антироссийских санкций стран Запада / Ф.А. Кузнецов // Актуальные проблемы внешнеэкономической деятельности в Российской Федерации: материалы научно-практической конференции Совета молодых ученых, Москва, 28 февраля 2020 года / под общ. ред. Л.А. Леваевой, Р.А. Колесниковой. – М.: Всероссийская академия внешней торговли Министерства экономического развития Российской Федерации, 2020. – С. 133–137. – EDN MOFADF.

3. Сяков, Е.Е. Отечественные и зарубежные авиационные двигатели пятого поколения / Е.Е. Сяков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 2, № 4 (14). – С. 422–424. – EDN: YUIIEX.

4. Официальный сайт компании «ОДК» (Объединённая двигателестроительная корпорация) // Продукция и услуги: Авиационные двигатели. – URL: https://www.uecrus.com/products-and-services/products/air (дата обращения: 02.05.2025).

5. Safran Aircraft Engines // Safran Group. – URL: https://www.safran-group.com/fr/societes/safran-aircraft-engines (дата обращения: 17.05.2025).

УДК 621.45.015.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫХЛОПНОГО ЭЖЕКТОРНОГО НАСАДКА НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС МГТД

© Алексенцев А.А., Милешин Е.И.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: aleksencev.aa@ssau.ru

Научный руководитель: Остапюк Я.А., старший преподаватель
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: испытательный бокс, газотурбинный двигатель, реактивное сопло, выхлопной эжекторный насадок, тяга.

Стендовые испытания газотурбинных двигателей (ГТД) – это, безусловно, ключевой этап для отработки решений, заложенных еще на стадии проектирования. Как известно, сами испытания можно организовать либо на открытом, либо на закрытом стенде. Стоит отметить, что открытый тип бокса дает важное преимущество: он позволяет тестировать ГТД большой размерности, при этом требуя меньших затрат на свое сооружение.

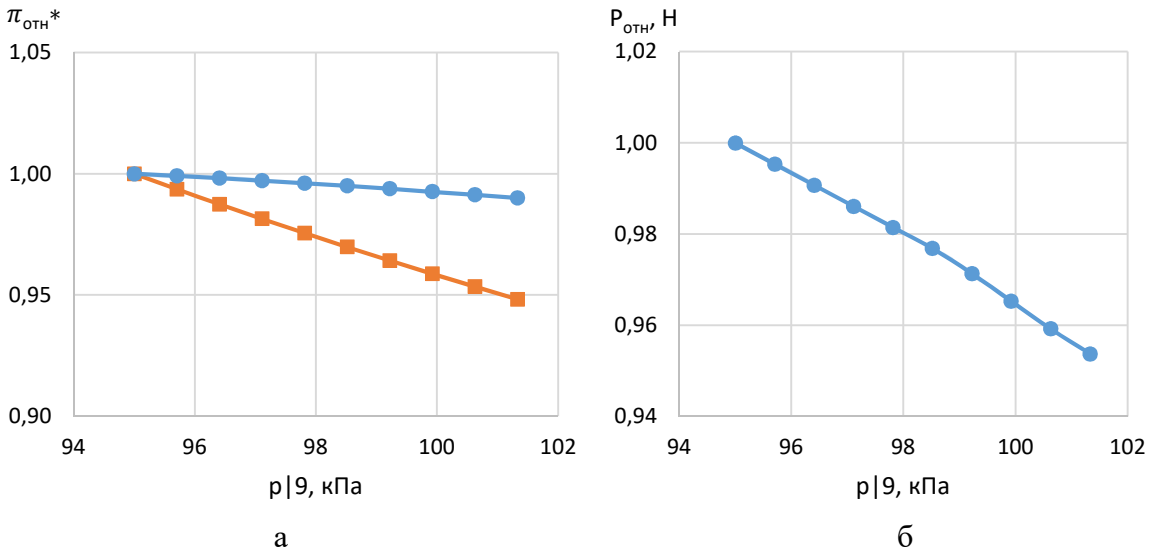
Однако сложность современных ГТД неизбежно ведет к ужесточению требований. Речь идет как о количестве, так и о качестве контролируемых параметров двигателя. Именно этот фактор зачастую делает необходимым создание закрытых испытательных боксов. Как показано в работах [1–3], существуют различные факторы, способные повлиять на измеряемые параметры двигателя. Эти же исследования предлагают и способы их приведения к нормальным условиям. Особо стоит упомянуть введение поправки на разряжение давления (относительно давления в самом боксе) при использовании выхлопного эжекторного насадка – данная поправка критически важна для точного определения тяги двигателя.

В данной работе мы проанализировали рабочий процесс реактивного сопла, установленного на малоразмерных ГТД с классом тяги 190 и 300 Н. Параллельно был спроектирован выхлопной эжекторный насадок. Его ключевая задача – снижение температуры в шахте шумоглушения, причем достичь этого нужно с наименьшими затратами в рамках модернизации существующей инфраструктуры стенда. Чтобы всесторонне проанализировать работу двигателя в новых условиях, были выполнены расчеты термогазодинамических параметров и проведен численный анализ рабочего процесса. Это позволило точно определить изменения ключевых параметров двигателя.

В основе наших расчетов лежит термогазодинамическая модель [4] двигателя. Ее особенность заключается в объединении моделей проектного расчета и модели реально выполненного двигателя. Подобный подход, что важно, дает возможность проводить расчеты на различных режимах работы. Благодаря этому мы смогли с высокой достоверностью смоделировать условия нахождения двигателя внутри закрытого бокса при его оснащении эжекторным насадком.

Нельзя не учесть, что давление на срезе сопла оказывает существенное влияние как на работу самого сопла, так и на параметры турбины. Поэтому оценка данного влияния была обязательным этапом исследования. При расчете характеристик турбины и сопла мы сознательно варьировали значение давления на срезе сопла. Результаты этого анализа представлены графически: рисунок 1, а демонстрирует зависимости

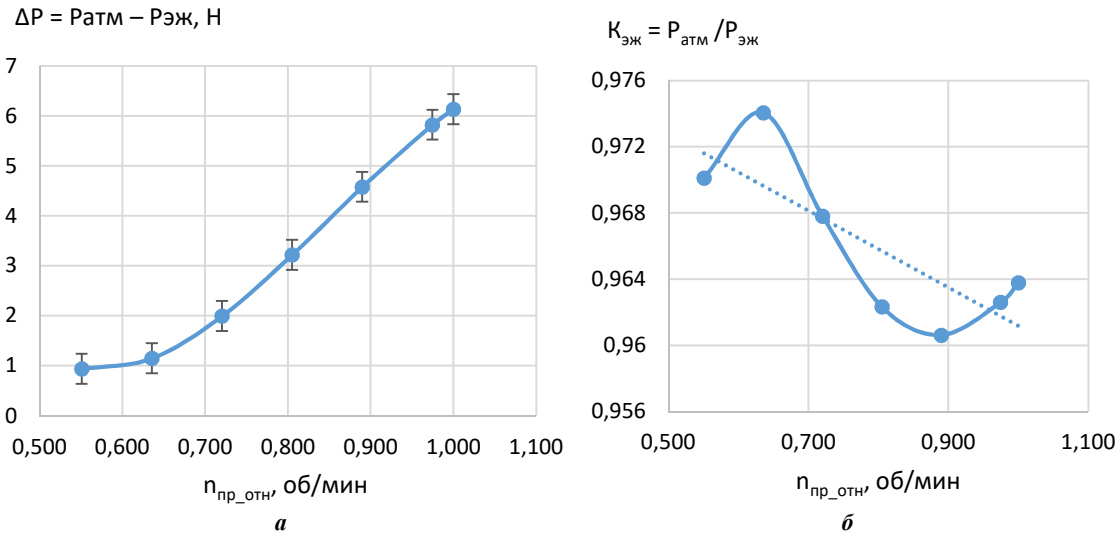
степени понижения давления для турбины и сопла, а рисунок 1, б показывает, как тяга двигателя изменяется в зависимости от давления на срезе сопла – конкретно для двигателя с классом тяги 190 Н.



а б

Рисунок 1 – Зависимости параметров двигателя от давления на срезе сопла: а – степени понижения давления турбины и сопла; б – тяги двигателя

Для подтверждения влияния давления на срезе сопла на тягу двигателя были проведены испытания двигателей и определены отклонения тяги от расчетных значений при постоянном давлении на срезе сопла от эксперимента (рисунок 2, а), также был определен коэффициент, учитывающий эффект эжекторного выхлопного насадка для приведения тяги двигателя к нормальным условиям (рисунок 2, б) для двигателя классом тяги 190 Н.



а *б*

Рисунок 2 – Расчетные зависимости: а – отклонения тяги от расчетных значений при постоянном давлении на срезе сопла от эксперимента; б – коэффициент, учитывающий эффект эжекторного выхлопного насадка для приведения тяги двигателя к нормальным условиям

Данный коэффициент позволяет получить формулу для определения приведенной тяги двигателя в условиях испытательного стенда. В формулах (1) для

двигателя классом тяги 190 Н и (2) для двигателя классом 300 Н используется коэффициент $К_{гр}$, который определяется непосредственно перед испытаниями при проведении градуировки стенда.

$$P_{\text{пр}} = \frac{101325}{p^*_{\text{вх}}} \cdot \left(K_{\text{гр}} \cdot P_{\text{гр}} + P_{\text{гр}_0}\right) \cdot \left(0{,}984 - 1{,}97 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{пр}}\right), \quad (1)$$

$$P_{\text{пр}} = \frac{101325}{p^*_{\text{вх}}} \cdot \left(K_{\text{гр}} \cdot P_{\text{гр}} + P_{\text{гр}_0}\right) \cdot \left(0{,}973 + 1{,}23 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{пр}}\right). \quad (2)$$

Таким образом использование термогазодинамических моделей позволяет получать коэффициенты учета систем стенда для получения коэффициентов пересчета в нормальные условия.

Работа выполнена по проекту FSSS-2022-0019, реализуемого в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», результат «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Библиографический список

1. Клинский, Б.М. Определение влияния аэродинамики бокса испытательного стенда на силу от тяги газотурбинного двигателя посредством изменения компоновки входного лемнискатного насадка / Б.М. Клинский // Вестник Московского авиационного института. – 2021. – Т. 28, № 4. – С. 163–179. – DOI: 10.34759/vst-2021-4-163-179.

2. Клинский, Б.М. Определение величины входного импульса как поправки к силе от тяги ГТД в (закрытом) боксе испытательного стенда / Б.М. Клинский // Авиационные двигатели. – 2019. – № 3 (4). – С. 25–34.

3. Клинский, Б.М. Определение аэродинамической силы в закрытом боксе стенда для испытаний ТРДД с большой степенью двухконтурности / Б.М. Клинский // Авиационные двигатели. – 2021. – № 1 (10). – С. 81–93.

4. Кузьмичев, В.С. Формирование виртуальной модели рабочего процесса газотурбинного двигателя в CAE системе «АСТРА» / В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич, В.Н. Рыбаков [и др.] // Труды МАИ. – 2013. – № 67. – С. 15.

УДК 629.7.036

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВО ВХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО КОНСТРУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КПД КОМПРЕССОРА ТУРБОВИНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

© Гатауллина Е.Д., Якимов А.Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Горячкин Е.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: gataullina.ed@ssau.ru

Ключевые слова: стойка, входное устройство, проточная часть, численное моделирование, турбовинтовой двигатель, потери.

Из-за возникновения потерь во входном устройстве газотурбинного двигателя снижаются следующие параметры двигателя: тяга, эффективность и мощность. Поэтому, оптимизация входного устройства и минимизация потерь являются важными задачами при проектировании и расчётной доводке двигателя.

В работе были исследованы пути улучшения структуры потока входного устройства турбовинтового двигателя, направленные на снижение потерь.

Было выполнено численное моделирования в программном комплексе NUMECA, которое показало, что на выходе стойки происходит запирание в узком месте межлопаточного канала при больших расхода воздуха, что вело к образованию развитых отрывных зон и большим потерям полного давления. Коэффициент восстановления полного давления составил 0.9856 [1–3].

В ходе исследования были рассмотрены такие пути снижения гидравлических потерь как:

- Изменение размера галтели;
- Перепрофилирование периферийного трактового обвода проточной части;
- Изменение толщины лопатки.

В первую очередь было проведено исследование по оценке влияния высоты галтели. В исходной модели высота галтели составляла 20 мм, но для исследования были рассмотрены еще два варианта, с высотой 10 и 5 мм [4]. Выполнив расчет еще двух вариантов и оценив результаты, было определено, что высота галтели не имеет значительного влияния как на структуру потока, так и на потери, однако для дальнейших исследований была выбрана модель с размером галтели 10 мм, коэффициент восстановления полного давления для которой составил 0.9859.

Следующим этапом было оценено влияние перепрофилирования периферийного трактового обвода проточной части. В ходе этого этапа были созданы несколько моделей, в каждой из которой производилось поэтапное перепрофилирование. В ходе перепрофилирования увеличивался периферийный диаметр на выходе из стойки, в то время как втулочный обвод проточной части и входная область оставались неизменными. Данное мероприятие было направлено на достижение более плавного периферийного обвода и устранения запирания в межлопаточном канале, абсолютное число Маха в которой составляло 0.55.

Таким образом, итеративно изменяя тракт, рассчитывая модель и оценивая результаты, удалось избавиться от зоны, в которой происходило запирание. В конечном

варианте значение коэффициента потерь составило 0.9922, а значение числа Маха снизилось до 0.53.

На последнем этапе было исследовано влияние уменьшения толщины лопатки на структуру потока и потери. Вариант стойки с уменьшенной толщиной лопатки на 10 %, на относительном расстоянии, равном 0.125 от выходной кромки, не дал значительных изменений. Таким образом, был сделан вывод оставить исходную конфигурацию.

В конечном итоге путем раскрытия тракта на периферии удалось снизить потери на 0.64 % от исходного варианта с высотой галтели 10 мм.

Библиографический список

1. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. – Пермь: Авиадвигатель, 2006. – 1204 с.

2. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник / В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев: в 2 кн. – Кн. 1. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ. – 4-е изд., испр. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 336 с.

3. Белоусов, А.Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: учебник / А.Н. Белоусов, Н.Ф. Мусаткин, В.М. Радько. – Самара: Самарский Дом печати, 2003. – 336 с.

4. Проектрование авиационных газотурбинных двигателе / В.П. Данильченко, Ю.Л. Ковылов, А.М. Постников, Д.Г. Федорченко, Ю.И. Цыбизов, С.В. Лукачев. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 620 с.: ил.

УДК 629.7.036.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В РЕШЁТКАХ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ ОСЕВЫХ ТУРБИН

© Ильин И.М.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Fantomjax@yandex.ru

Научный руководитель: Мельников С.А., ассистент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: лопаточные машины, CFD моделирование, турбина, модели турбулентности.

Сейчас основным инструментом анализа рабочего процесса турбомашин являются методы вычислительной газовой динамики (CFD), которые основаны на численном решении уравнений Навье-Стокса. На сегодняшний день это самый точный расчетный инструмент, который позволяет в полном объёме изучить структуру течения в канале любой формы с учетом всех нюансов реальной геометрии проточной части, таких как, галтели, зазоры, уступы и т. п. [1].

Выбранные профили экспериментальных решёток для CFD расчета представлены на рисунке 1. Решетки 5, 6, 7 представляют собой группу одинаковых профилей с разными углами установки.

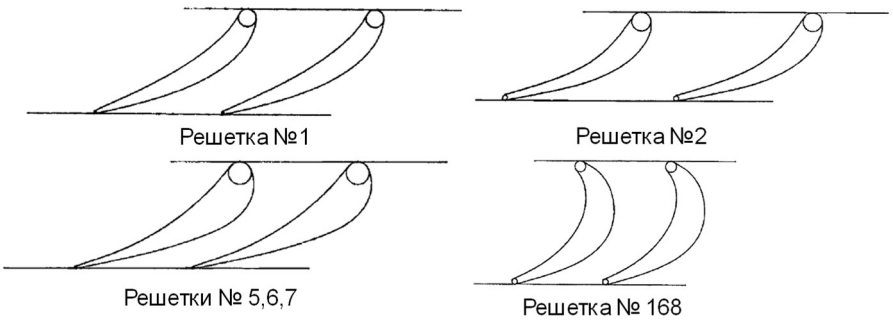


Рисунок 1 – Выбранные профили решеток для CFD расчета

Для решёток из [2] приведены полученные в ходе эксперимента распределения параметров по ширине межлопаточного канала и по высоте.

Важным моментом при обработке результатов испытаний являлось осреднение параметров потока вдоль фронта решётки. Средние параметры потока за решёткой находились осреднением по фронту действительных параметров при условии сохранения энтальпии торможения i_2^*, полного импульса и количества движения в исходном неоднородном и условном осреднённом потоках, для этого был подготовлен специальный макрос на языке программирования Python, запускаемый в программе CFView.

В атласе данные для различных турбинных решёток представлены следующие экспериментальные данные: интегральное значение профильных потерь $\xi_{пр}$ и угол потока на выходе из межлопаточного канала решётки $\beta_{2ср}$. Для удобства сопоставления характеристики решеток приведены в [2] в безразмерном виде. По построенным

профилям создавались 3D модели решеток для экспорта в Numeca «AutoGrid» с целью создания сеточной модели. Полученная сеточная модель представлена на рисунке 2. Настройки были заданы исходя из рекомендаций в [3]. Сеточная модель контролировалась по параметрам ER = 12, MR = 277.

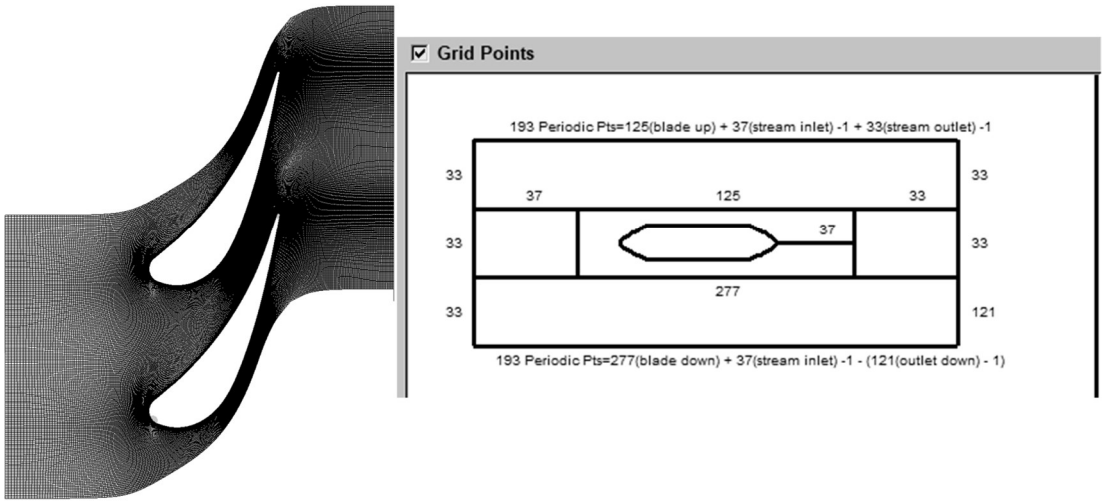


Рисунок 2 – Построенная сеточная модель и ее настройки в b2b-сечении

В качестве граничных условий задавался перепад давления по приведённой скорости из графика зависимости $\zeta_{пр} = f(\lambda_{2ад})$ в [2] для выбранных профилей решеток. На входе задавалось $p^* = 101325$ Па, $T^* = 288{,}13$ К.

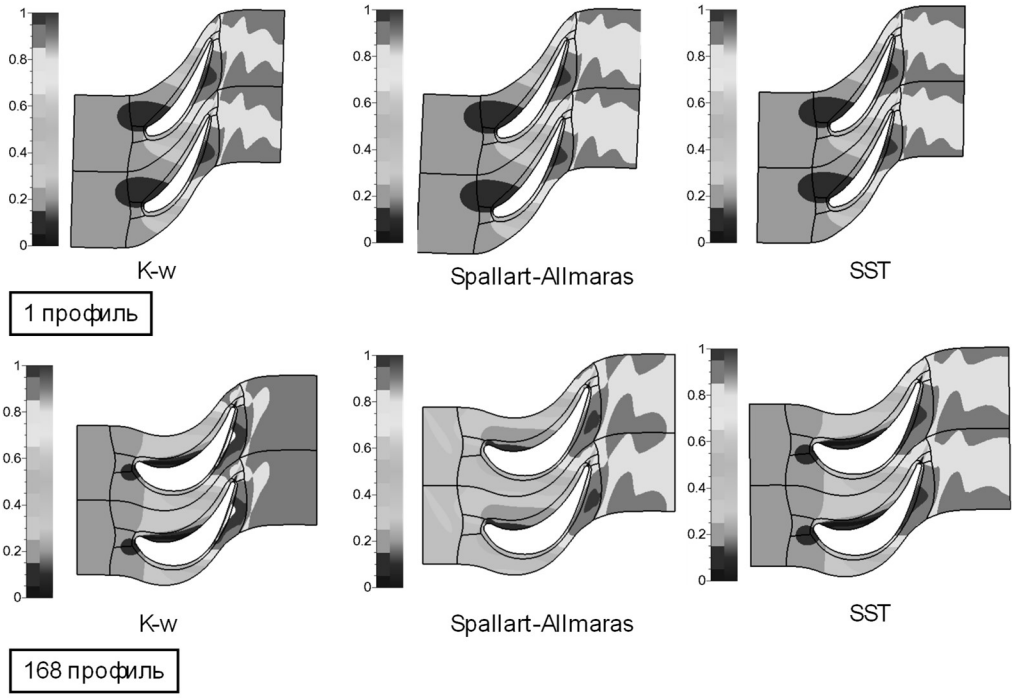


Рисунок 3 – Распределение числа Маха по высоте профилей 1 и 168 (М – 1)

CFD-расчет проводился с использованием следующих моделей турбулентности: Spallart-Allmaras; k-w (Wilcox); SST. При расчете профилей, в которых выходной угол потока из межлопаточного канала меньше 10 градусов от фронта решётки,

наблюдались проблемы сходимости расходов на входе и выходе из расчётной зоны, например для профилей 2, 5, 6, 7. Результаты расчёта по используемой модели для этих решёток не обрабатывались. Были обработаны результаты расчета профилей 1 и 168. Также была оценена разница между расчетными и экспериментальными значениями $\zeta_{пр}$ – коэффициента потерь по моделям турбулентности. На рисунке 3 представлено распределение числа маха по высоте профилей решетки 1 и 168 по разным моделям турбулентности в CFView при числе маха M = 1.

Таким образом сформулированы рекомендации по расчёту профилей турбинных решёток. Наименьшие расхождения с экспериментом получены с использованием модели турбулентности SA, но расхождения с экспериментом интегральных параметров коэффициента потерь и выходного угла потока превышают 5 % при моделировании дозвуковых режимов работы решётки.

Библиографический список

1. Батурин, О.В. Выбор модели для оценки профильных потерь в лопаточном венце с помощью методов математической статистики / О.В. Батурин, А.Ю. Горшков, Г.М. Попов [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т. 19, № 1 (2). – С. 319–324.

2. Венедиктов, В.Д. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин / В.Д. Венедиктов, А.В. Грановский // ЦИАМ. – 1990. – 393 с.

3. Попов, Г.М. Оптимизация рабочего процесса осевой неохлаждаемой турбины с использованием решателя 3D-уравнений Навье-Стокса / Г.М. Попов, О.В. Батурин, Е.С. Горячкин [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т. 19, № 1. – С. 107–115.

УДК 621.452.3

РАСЧЕТ КРЫЛА БПЛА НА ПРОЧНОСТЬ

© Липатов Н.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: 2022-02503@ssau.ru

Ключевые слова: расчет на прочность, метод сечений, сил и перемещений, статическая неопределимая система, монолитное крыло.

В данной работе освещены методы расчета на прочность монолитного крыла 3 методами: сил, сечений и перемещений. В ней разбираются случаи, когда следует применять тот или иной метод [1].

Сначала рассмотрим самый легкий способ – метод сечений. Возьмем сечение монолитного крыла на рисунке 1 можно увидеть вертикальные сечения, проведенные по длине крыла 1–21, 2–20 и т. д.

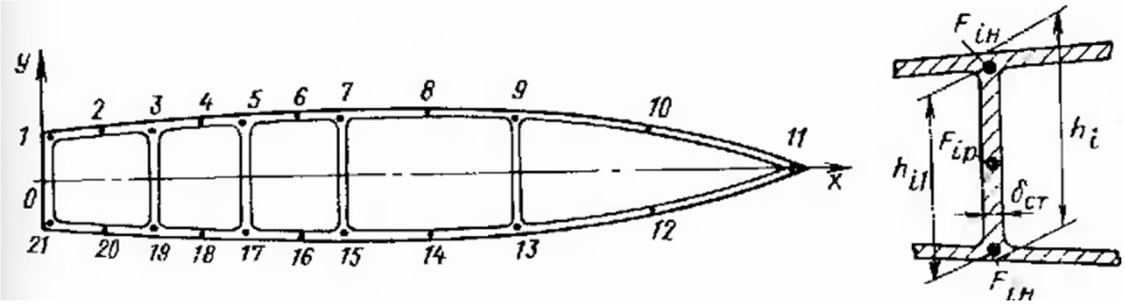


Рисунок 1 – Расчетная схема монолитного крыла

Для удобства расчета стенки заменяют разнесенными, сосредоточенными площадями из условия эквивалентности моментов инерции оси Oz, а оставшуюся площадь помещают в центре стенки.

Обшивку сосредотачивают в центре площади соответствующей панели.

При определении критических напряжений стенок нужно учитывать, что они нагружены переменными по высоте напряжениями.

Если крыло составлено из 2 половин, соединенных болтами или шпильками, то характер нагружения стенок сжатия половины будет иметь вид линейной функции.

Таким образом метод сечений очень простой в использовании, а также возможно произвести расчет за пределами пропорциональности. Но он общий, неточный и неподробный из-за этого разработали более совершенные методы.

Расчет в методе сил начинается с распределения нагрузки по лучам. Построив эпюру суммарных давлений для какого-либо сечения, найдем давления в точках пересечения его с лучами. Затем получим распределение погонной нагрузки по лучам. Вырежем теперь обшивку из всех панелей и оставшуюся систему назовем основной.

При определении изгибающих моментов лучи первый и *n*-й нужно рассматривать как заделанные балки с дополнительной опорой, но более правильно реакции опор также принять за неизвестные; необходимо рассмотреть единичные состояния, а лучи первый и *n*-й считать, как и другие, просто консольными балками.

Если лучи длинные, то предположение о постоянстве по ним потока q неправильно: нужно учесть его переменность по длине стороны или ввести

дополнительное деление панелей, считая, что между ними имеется пояс, потенциальная энергия которого в расчете не учитывается (рис. 2).

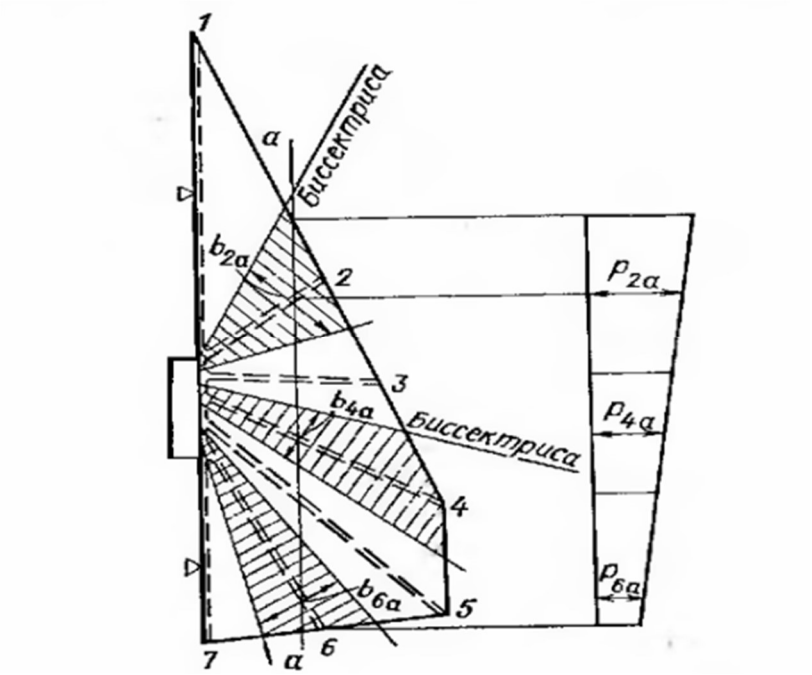


Рисунок 2 – Основная система

Нормальные нагрузки можно учесть и для четырехугольных панелей, но тогда их нужно принять за дополнительные неизвестные. Они должны быть учтены в потенциальной энергии, и их надо прикладывать

Метод сил имеет более сложное решение, но есть точный результат.

Как уже отмечалось, крылья, имеющие толстую обшивку и слабый набор или сплошные крылья, следует рассматривать как континуальные системы. Применяя к ним метод перемещений, за неизвестные нужно брать не отдельные значения прогибов, а их непрерывные функции (рис. 3).

Решение этих уравнений и удовлетворение граничным условиям при $z = 0$ и $z = l$ определяет функции, а следовательно, и прогиб крыла. Зная прогиб, можно определить максимальные напряжения на поверхности крыла.

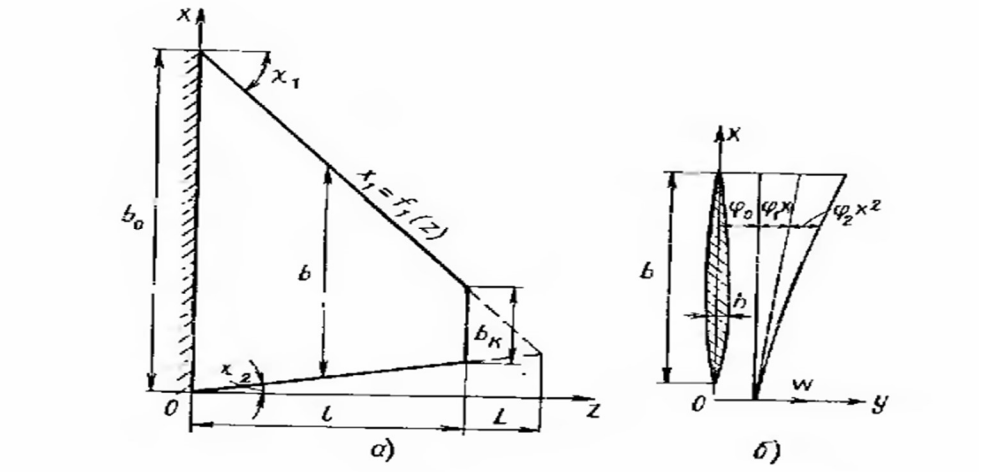


Рисунок 3 – Расчетная схема методом перемещений

В некоторых случаях, когда крыло имеет постоянное сечение или коническую поверхность, решение можно получить в квадратурах. Это является следствием стреловидности и влияния кручения, не учитываемых в балочной теории. В сечении по середине размаха влияние этих факторов сказывается слабее, и распределение напряжений мало отличается от балочного [1].

Приведены результаты такого расчета для крыла, показанного на рисунке 3, имеющего параболический профиль постоянной относительной толщины и нагруженного равномерно по поверхности распределения напряжений у заделки и по середине размаха. Там же показано распределение напряжений при расчете крыла как балки. Разница в напряжениях у заделки очень значительная, причина этого описана ранее.

Библиографический список

1. Фигуровский, В.И. Расчет на прочность беспилотных летательных аппаратов / В.И. Фигуровский / Министерство высшего и специального образования СССР. – М., 1973. – 368 с.

УДК 629.7.036

РАСЧЁТНАЯ ДОВОДКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛОВОГО АППАРАТА С КОНВЕКТИВНО-ПЛЁНОЧНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

© Мельников С.А., Бинь Т.Б.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Зубанов В.М., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m.asergey196@gmail.com

Ключевые слова: охлаждаемая турбина, охлаждаемый сопловой аппарат, сопряжённое моделирование, охлаждаемая рабочая лопатка.

Перед доводкой охлаждаемых лопаток турбины должна быть выполнена начальная конструкторская проработка и получена форма проточной части турбины в ненагруженном состоянии на основе результатов работы ЦД многодисциплинарного проектирования с использованием одномерных, двухмерных и трехмерных моделей [1; 2].

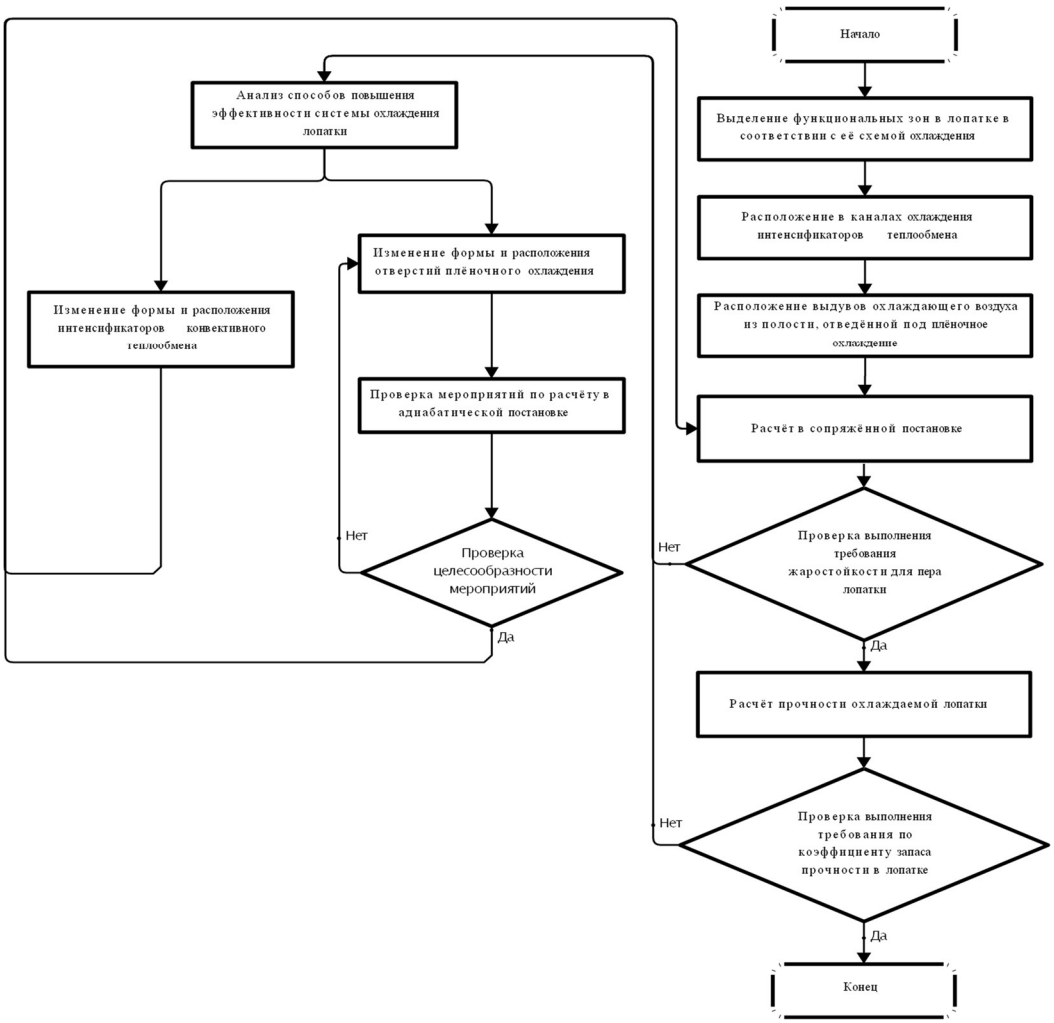


Рисунок – Блок-схема алгоритма доводки охлаждаемого соплового аппарата с конвективно-плёночной схемой охлаждения

На этом этапе формируется эскиз конструкции турбины с учетом каналов системы охлаждения, трактовых полок с перекрышами, стыковки турбины с соседними узлами двигателя.

После завершения подготовительного этапа выполняется доводка наиболее ответственных деталей охлаждаемой турбины. В работе предложены рекомендации для доводки сопловых аппаратов и рабочих лопаток турбин. На рисунке в качестве примера представлена блок-схема алгоритма расчётной доводки соплового аппарата с конвективно-плёночной системой охлаждения.

Рекомендации разработаны для доводки охлаждаемых сопловых аппаратов, рабочих лопаток и дисков рабочих колёс. Для каждого этапа доводки выбраны необходимые модели и требования, проверяемые по результатам трёхмерного моделирования [3].

Таким образом разработана методика доводки и обеспечения теплового и прочностного состояний охлаждаемой турбины. Методика включает в себя подготовительный этап конструкторской проработки и этап доводки наиболее ответственных деталей охлаждаемой турбины. Разработаны пошаговые алгоритмы, представлены рекомендации для всех этапов доводки деталей охлаждаемой турбины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10266, https://rscf.ru/project/23-79-10266.

Библиографический список

1. Логунов, А.В. Проблемы проектирования и производства высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД монография, в двух книгах / А.В. Логунов, Ю.Г. Быков. – Москва: Наука и технологии, 2023. – ISBN 978-5-93952-042-3.

2. Копелев, С.З. Охлаждаемые лопатки газовых турбин / С.З. Копелев. – М.: Наука, 1983. – 145 с.

3. Мельников, С.А. Решение тепловой и прочностной задачи при расчётной доводке охлаждаемой рабочей лопатки турбины с бандажной полкой / С.А. Мельников, В.М. Зубанов, А.В. Урлапкин [и др.] // Седьмая международная научно-техническая конференция «Динамика и виброакустика машин» – DVM – 2024. – Самара, 2024. – С. 105–106.

УДК 621.515

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕОМЕТРИИ ОТВОДЯЩЕГО КАНАЛА ЗА ЦЕНТРОБЕЖНЫМ КОМПРЕССОРОМ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ

© Петров С.Е.

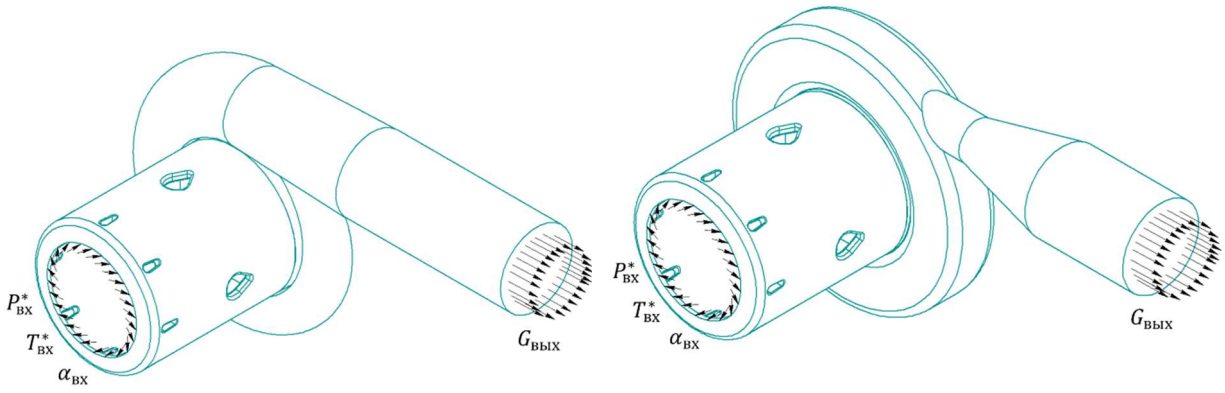
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: novikova@ssau.ru

Научный руководитель: Новикова Ю.Д., канд. техн. наук
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: центробежный компрессор, численная модель, коэффициент восстановления полного давления, пропускная способность, гидравлическое сопротивление.

В данной работе были исследованы 2 варианта геометрии отводящего канал (см. рис.). Геометрия для варианта 1 была спроектирована по методике, приведенной в [1], геометрия для варианта 2 представляла из себя кольцевой канал прямоугольной формы с закругленными углами постоянного сечения, как показано на рисунке.



Вариант 1 *Вариант 2*

Рисунок – Расчетные схемы различных вариантов отводящего канала

Для исследования рабочего процесса в улитке была построена расчётная модель в программном комплексе Ansys CFX. Расчёт выполнялся в стационарной постановке. В качестве граничных условий на входе в модель задавались полные температура и угол закрутки потока за ЦБК, на выходе – массовый расход.

На основе результатов, полученных с помощью созданной численной модели, были построены следующие зависимости:

1. Зависимость коэффициента восстановления полного давления в канале σ^* от пропускной способности на входе в канал μ [2].

Коэффициент восстановления полного давления рассчитывается по формуле:

$$\sigma^* = \frac{P^*_{вых}}{P^*_{вх}}. \quad (1)$$

Пропускная способность рассчитывается по формуле:

$$\mu = \frac{G_{\text{вх}} * \sqrt{T^*_{\text{вх}}}}{P^*_{\text{вх}}}. \quad (2)$$

2. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления канала от числа Рейнольдса на входе в канал (рис. 5).

Коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается по формуле:

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta P^*}{\rho_{\text{вх}} \cdot w^2_{\text{вх}}}. \quad (3)$$

Число Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{\rho_{\text{вх}} \cdot w_{\text{вх}} \cdot D_{\text{гидрав.}}}{\mu}. \quad (4)$$

В результате анализа полученных зависимостей был сделан следующий вывод: кольцевой канал прямоугольной формы с закругленными углами постоянного сечения заметно уступает улитке с круглым сечением: для кольцевого канала потери полного давления на максимальном расходе в 1,5 кг составляют почти 3 %, в свою очередь, для улитки – менее 0,5 %; коэффициент гидравлического сопротивления почти доходит до 7, для улитки – менее 1. Таким образом, для дальнейших исследований был выбран вариант геометрии 1.

Библиографический список

1. Батурин, О.В. Расчетное определение характеристик ступени турбины с помощью методов вычислительной газовой динамики: метод. указания / О.В. Батурин. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 53 с.

2. Абрамович, Г. Прикладная газовая динамика: в 2 ч. Ч. 1: учеб руководство: для втузов. – 5-е изд., перераб и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат. лит, 1991. – 600 с. – ISBN 5-02-014015-5.

УДК 629.7.036

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МИКРОТУРБИН

© Щербань А.И., Зубанов В.М., Ильин И.М.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: korneeva.ai@ssau.ru

Ключевые слова: микротурбина, CFD-моделирование, рабочий процесс.

Современные авиационные и космические системы требуют высокоэффективных, компактных и надежных источников энергии, среди которых особое место занимают микротурбины мощностью от 0,01 до 10 кВт. Они применяются в качестве вспомогательных силовых установок, приводов турбонасосных агрегатов, электрогенераторов, систем ориентации и стабилизации космических аппаратов. Однако проектирование микротурбин сопряжено с рядом сложностей, обусловленных их малыми габаритами, высокими скоростями вращения и нестационарными режимами работы [1]. Из-за небольших габаритных размеров данные турбины имеют большое значение относительного радиального зазора над рабочей лопаткой, а вихри вторичных течений смыкаются. Это приводит к тому, что, в отличие от осевых турбин с длинными лопатками, для микротурбин нельзя выделить четкие зоны вторичных течений. Эти особенности должны учитываться при численном моделировании рабочего процесса таких турбин.

Целью работы являлось исследование влияния настроек численных моделей рабочего процесса микротрубины на ее рассчитанные характеристики. В качестве предмета исследования выбран сопловой аппарат (СА) осевой микротурбины (ОМТ) [2], для которой были известны экспериментальные данные.

Расчет характеристик СА проводился в программном комплексе NUMECA FINE/Turbo с использованием моделей турбулентности Spalart-Allmaras. В качестве граничных условий на входе задавались полные давление и температура, на выходе – статическое давление p = 101325 Па. Рабочее тело – воздух (реальный газ). Режим работы СА ОМТ регулировался с помощью изменения значений полного давления на входе в СА.

По результатам расчетов выполнялось сопоставление расчетной зависимости коэффициента скорости СА от изоэнтропического числа Маха в сечении на выходе из СА с экспериментальной с целью верификации расчетной модели [3].

На следующем этапе с использованием верифицированной модели СА выполнялись исследования по влиянию настроек численной модели рабочего процесса СА ОМТ (количества элементов двухмерной сетки B2B, коэффициента роста ячеек по высоте проточной части ER_{FP} и максимального удлинения ячеек по высоте MR_{FP}) на погрешности определения характеристик СА ОМТ. Количество элементов 2D-сетки B2B менялось от 6700 до 89 000, модель турбулентности – Spalart-Allmaras. Параметры распределение ячеек по высоте менялись в диапазонах ER_{FP}: 1,05; 1,1; 1,15; 1,2 и MR_{FP}: 100, 50, 25 и 15. Полученные расчётные характеристики представлены на рисунках 1–2.

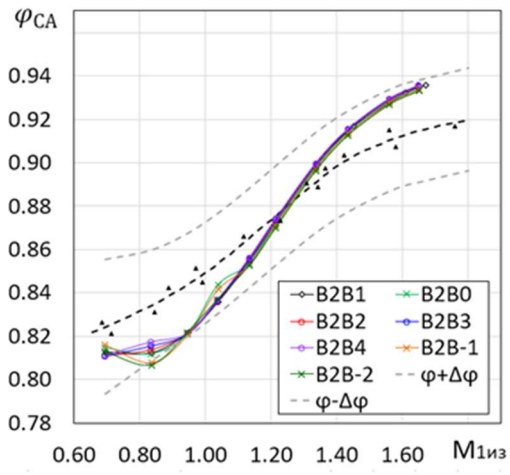


Рисунок 1 – Исследование влияния числа элементов двухмерной сетки межлопаточного канала B2B на рассчитываемую характеристику СА

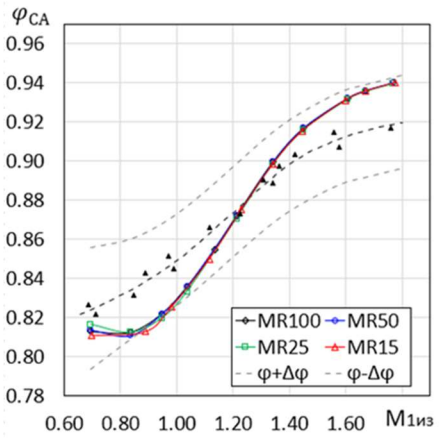


Рисунок 2 – Исследование влияния параметра MR_{FP} на рассчитываемую характеристику СА

В результате проведенных исследований были получены следующие рекомендации по формированию численных моделей рабочего процесса осевых микротурбин для выполнения поверочных и оптимизационных расчетов:

1. Для выполнения поверочных расчётов необходимо использовать модель с двухмерной сеткой *B2B2* и параметрами MR_{FP} = 50, ER_{FP} = 1,1, $\overline{y^+_{B2B1}} = 1$.

2. Для выполнения оптимизационных расчётов следует использовать модель с двухмерной сеткой *B2B0* и параметрами MR_{FP} = 50, ER_{FP} = 1,2, $\overline{y^+_{B2B1}} = 1$.

Дальнейшее исследование будет направлено на изучение настроек численной модели ступени осевой микротурбины.

Библиографический список

1. Наталевич, А.С. Воздушные микротурбины / А.С. Наталевич. – М.: Машиностроени», 1970. – 208 с.

2. Мусаткин, Н.Ф. Исследование влияния основных соотношений конструктивных размеров тракта на экономичность; осевых воздушных микротурбин для привода агрегатов: дис. … канд. техн. наук / Н.Ф. Мусаткин. – Куйбышев, 1978. – 191 с.

3. Сидоров, У.С. Ракетная двигательная установка со штыревым соплом: монография / У.С. Сидоров. – М.: ЭКСМО, 2021. – 206 с.

Секция 6
Перспективные исследования в машиностроении

УДК 621.452.932-187.4

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОПУСКНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ ФОРСУНОК АИ-20

© Абдрашитов Н.В., Саликов В.И.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nikab142003@gmail.com

Научный руководитель: Матвеев С.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: струйная форсунка, угол распыливания, коэффициент расхода, расходный комплекс, эксперимент, природный газ, воздух.

Газовые форсунки ГТД и ГТУ периодически требуют проверки их технических характеристик. Это связано с изменением их механических настроек и износом. В процессе эксплуатации, из-за образования отложений внутри топливных каналов, изменяется рабочий процесс горения и, как следствие, это приводит к нарушению требуемых параметров ГПА, таких как температурное поле на выходе из КС и выбросы вредных веществ, а также к уменьшению полноты сгорания топлива.

Определить степень износа без специального оборудования довольно сложно. С другой стороны, ограниченная доступность запчастей и возможные трудности в получении нужных компонентов могут снизить качество обслуживания и привести к увеличению сроков их ремонта.

В связи с этим необходимо искать альтернативные решения данной проблемы, использовать неоригинальные запчасти или ремонтировать старые узлы и детали со строгим контролем их характеристик. При этом одной из важнейших задач становится определение «эталонных характеристик» ремонтируемого узла или детали, которые невозможно найти.

В данной работе приведены результаты работы по определению «эталонной» расходной характеристики газовых форсунок двигателя АИ-20, который выпускался украинским предприятием ОАО «Мотор Сич» (г. Запорожье).

Для испытаний была смонтирована установка, которая включает расходомер, магистраль подвода воздуха к форсунке и замера давления до форсунки (рис. 1), а также штуцер для подключения исследуемой форсунки.



Рисунок 1 – Общий вид установки для определения расходных характеристик форсунок

Испытания проводились в несколько этапов:

– 1-й этап включал в себя продувку форсунок без каких-либо манипуляций с ними (по принципу так как поставили);

– 2-й этап заключался в том, что все отверстия в соплах форсунок были пройдены сверлами диаметром 1,0 и 1,5 мм (на всех 11 форсунках) и выполнена очистка сопел в ультразвуковой ванне (УЗВ) с бензолом;

– 3-й этап предусматривал экспериментальное определение расходных характеристик газовых форсунок.

Главная задача расходной характеристики – обеспечить точное соответствие между расчетными и фактическими параметрами подачи топлива. В практическом плане это означает:

• Определение точного количества топлива, поступающего в камеру сгорания при различных режимах работы двигателя;

• Обеспечение стабильности топливоподачи во всем рабочем диапазоне давлений;

• Возможность прогнозирования поведения форсунки при изменении внешних условий.

Следующим этапом работы было проведение классификации форсунок по расходному комплексу:

– расходный комплекс *B* камеры сгорания рассчитывался по следующей формуле

$$B = Gв \cdot \frac{\sqrt{T_к^*}}{p_к^*}.$$

где $p_К^* = \Delta p_К^* + p_Н$ – давление заторможенного потока в канале, Па;

$T_К^* = t_К^* + 273{,}15$ – температура воздуха в мерном участке, К;

Gв – расход воздуха, поступающий в модельную камеру сгорания, кг/с.

Было предоставлено большое количество форсунок для отбора их по расходному комплексу и систематизации отклонений (рис. 2).

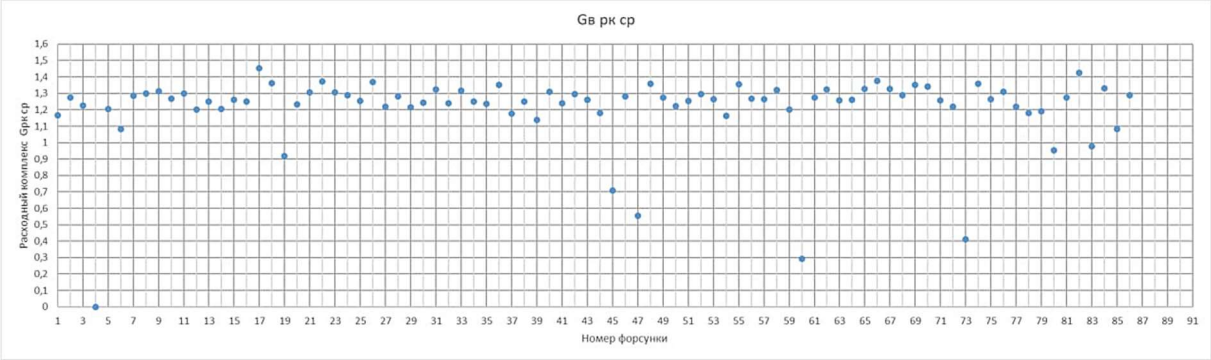


Рисунок 2 – Расходный комплекс для газовых форсунок АИ-20

Проведенное исследование расходных характеристик газовых форсунок двигателя АИ-20 позволило получить ряд важных научных и практических результатов. Для уточнения расходной характеристики было продуто ещё порядка 500 форсунок, методом статистического анализа отобраны результаты измерений и выбраны форсунки в качестве «эталона» по расходному комплексу.

УДК 621.91

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТАДИИ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ БЫСТРОРЕЖУЩЕГО РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 45

© Антипов К.С.[1], Зотов В.А.[1,2]

[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: Vlad198189@gmail.com

Научный руководитель: Евдокимов Д.В.[1,2], канд. техн. наук, доцент
[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: быстрорежущий инструмент, точение, износ, режим резания.

В данной работе представлен результат анализа поведения быстрорежущего инструмента на раннем этапе точения конструкционной стали 45. Особое внимание уделено стадии выхода в устойчивую зону резания – ключевому периоду, предшествующему равномерному износу. Исследование выполнено в рамках полного факторного эксперимента, но в настоящей публикации рассмотрен один режим: толщина срезаемого слоя a = 1 мм, поперечная подача S = 20 мм/мин при постоянной скорости резания 73,8 м/мин.

Снижение стойкости инструмента оказывает значительное влияние как на качество обработки, так и на производственную эффективность [1; 2]. Особенно важно изучать начальные стадии износа, так как именно в этот момент происходит адаптация инструмента к условиям резания. Эффективное определение начала устойчивой зоны позволяет повысить точность прогнозирования износа и корректировать режимы резания в реальном времени [3].

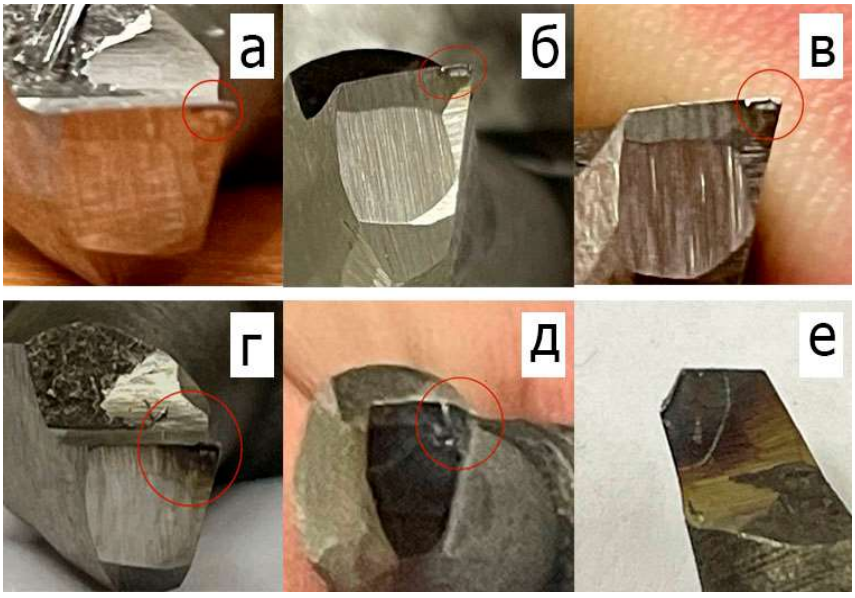


Рисунок 1 – Вид задней поверхности режущего клина резца в начале обработки (а) и претерпевшего износ на режиме: a = 1 мм, S_m = 20 мм/мин, ϑ_{max} = 73,8 м/мин спустя 4,7 мин (б), 14,1 мин (в), 23,6 мин (г), 37,7 мин (д), 37,7 мин (е)

В качестве объекта исследования рассматривался резец из быстрорежущей стали Р18. Точение проводилось на малоразмерном токарном станке [6], а износ контролировался визуально через равные интервалы времени по задней поверхности режущей кромки. На выбранном режиме были зафиксированы стадии изменения формы задней поверхности инструмента (рис. 1), а также построена кривая зависимости величины износа от времени и накопленного объема снятого материала (рис. 2).

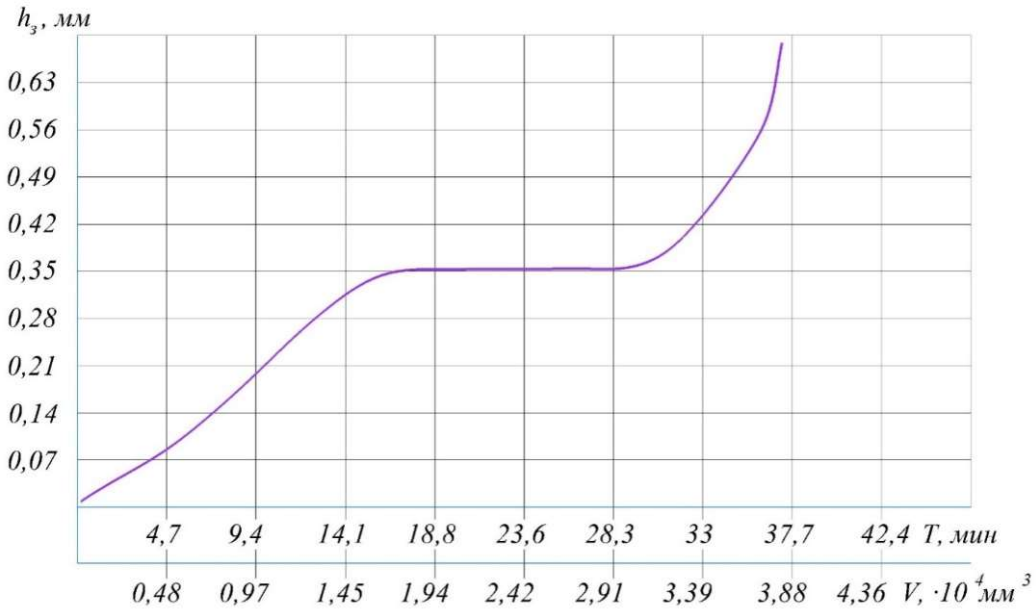


Рисунок 2 – Изменение величины износа по задней поверхности в зависимости от времени и объема снятого материала для режима а = 1 мм, S_m = 20 мм/мин, ϑ_{max} = 73,8 м/мин

Анализ показал, что стадия выхода в устойчивую зону работы инструмента при данном режиме завершается примерно через 14 минут. Далее начинается период стабильного износа. Этот эксперимент послужит базой для получения регрессионной зависимости описывающей стойкостные характеристики инструмента от параметров режима резания. Также это позволит установить их связь с производительностью обработки, выраженной через объём снятого материала [4; 5].

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (Госзадания) FMRW-2025-0052.

Библиографический список

1. Братухин, А.Г. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей / А.Г. Братухин, Г.К. Язов, Б.Е. Карасёв, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин. – М.: Машиностроение, 1997. – 416 с.

2. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

3. Повышение эксплуатационных свойств деталей путём регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке: учебное пособие / КуАИ; сост. К.Ф. Митряев. – Куйбышев, 1986. – 91 с.

4. Скуратов, Д.Л. Обработка конструкционных материалов. Процессы резания и режущие инструменты. Ч. 1 / Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов; М-во образования науки и Рос. Федерации. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т), 2012. – 196 с.

5. Скуратов, Д.Л. Обеспечение качества и эксплуатационной надежности деталей машин и авиационной техники / Д.Л. Скуратов, Д.В. Евдокимов, А.Н. Швецов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 104 с.

6. Зотов, В.А. Исследование влияния режимов токарной обработки на шероховатость поверхности при использовании малоразмерного станка / В.А. Зотов, В.Г. Павлов, С. Май, И. Цзян, Д.В. Евдокимов // Климовские чтения – 2024: перспективные направления развития авиадвигателестроения: сборник статей научно-технической конференции. – СПб.: Скифия-принт, 2024. – С. 424–429.

УДК 662.997:621.18

ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ ЛОПАТОК ЗАВИХРИТЕЛЯ НА ЭМИССИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ГАЗОВОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 4 МВТ

© Архипов Д.А., Желтов К.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: da_arhipov@mail.ru

Научный руководитель: Матвеев С.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: горелка, завихритель, природный газ, жаротрубный котел, газодинамическое моделирование, CFD-моделирование, горение, факел.

Газовые котлы широко применяются в энергетике и ЖКХ, но их эксплуатация сопровождается выбросами вредных веществ (NO_x, CO, SO_2, сажи). Одним из способов снижения эмиссии является оптимизация аэродинамики топочной камеры с помощью завихрителей. Угол установки лопаток влияет на турбулизацию потока, смесеобразование и температуру горения, что напрямую связано с образованием вредных веществ.

Одним из эффективных способов уменьшения выбросов является оптимизация процесса горения за счет улучшения аэродинамики топочной камеры. Для этого применяются завихрители – устройства, создающие турбулентное движение топливно-воздушной смеси. Угол установки лопаток завихрителя напрямую влияет на структуру потока, интенсивность смешения газа с воздухом и температурное поле в зоне горения. Оптимальная конфигурация завихрителя позволяет снизить локальные температурные пики, уменьшая тем самым образование термических NO_x, а также улучшить полноту сгорания, сокращая выбросы CO.

В работе проведена оценка вопросов ужесточения экологических норм и повышения КПД котлов, проведен обзор влияния завихрителей на процесс горения топлива в жаровой трубе

Для проведения численных экспериментов создана компьютерная модель исследуемого горелочного устройства и жаровой трубы с камерой котла мощностью 4 МВт, а также математическая модель для трехмерных расчетов рабочих процессов в зоне горения и проведен комплекс численных экспериментов процессов воспламенения и выгорания топлив, процессов тепло-массообмена и эмиссии оксидов азота в жаротрубном котле.

Расчетные исследования показали, что при работе на природном газе горелка обеспечивает устойчивое воспламенение и практически полное выгорание топлива. Однако, расчеты показали завышенные значения эмиссии оксидов азота, выше установленных значений для котлов класса III.

Для оценки влияния угла установки лопаток завихрителя на эмиссию вредных веществ в геометрическую модель горелки в канал основного воздушного контура установлен осевой лопаточный завихритель с углом установки 55. По результатам расчета эмиссии NOx в модернизированном варианте горелки можно заключить, что

проведенные мероприятия позволяют снизить эмиссию оксидов азота в 2 раза, по сравнению с исходным вариантом конструкции горелки (табл).

Таблица – Значения эмиссии вредных веществ на выходе из расчетной области

№ п/п	Конструкция горелки	Содержание вредных веществ на выходе из расчетной области					
		Расчетные значения				Нормативные значения по ГОСТ 30735 (класс I)	
		CO мг/м3	NO мг/м3	NO2 мг/м3	NOx мг/м3	CO мг/м3	NOx мг/м3
1	Исходная	53.1	13.9	76.8	98.1	130	80
2	Модернизированная	55.7	8.7	32.9	46.2		

УДК 621.438.001.5

ДОВОДКА КОНСТРУКЦИИ ОХЛАЖДАЕМОГО ПРОБООТБОРНИКА

© Ган Е.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: happy23098655@gmail.com

Научный руководитель: Матвеев С.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: авиационный ГТД, продукты сгорания, газовый анализ, хроматография, система отбора проб, охлаждаемый пробоотборник, моделирование.

В современных промышленных и лабораторных условиях особое значение имеет точный и оперативный отбор проб различных сред (газов, жидкостей, сыпучих материалов). Одной из ключевых проблем при пробоотборе является необходимость сохранения исходных свойств пробы, особенно в случаях, когда материал термолабилен или склонен к разложению при повышенных температурах. В таких ситуациях применение охлаждаемых пробоотборников становится критически важным для обеспечения достоверности дальнейших анализов.

Однако существующие конструкции охлаждаемых пробоотборников зачастую обладают рядом недостатков: недостаточная эффективность охлаждения, сложность эксплуатации, высокие энергозатраты или ограниченная долговечность. Это обуславливает необходимость совершенствования их конструкции с целью повышения надежности, экономичности и удобства использования.

Для рассмотрения газодинамических и теплообменных процессов в пробоотборнике была создана 3D-модель, по которой проводилось численное моделирование в программном пакете ANSYS FLUENT. Для верификации расчётов, был проведён эксперимент по изучению охлаждения газовой пробы в пробоотборнике.

Методами трехмерного численного моделирования была выполнена доводка конструкции охлаждаемого пробоотборника. Выбор наилучшего варианта охлаждения проводился по результатам расчётов в ANSYS Fluent. Геометрическая модель и КЭ-сетка расчётной области представлены на рисунке.

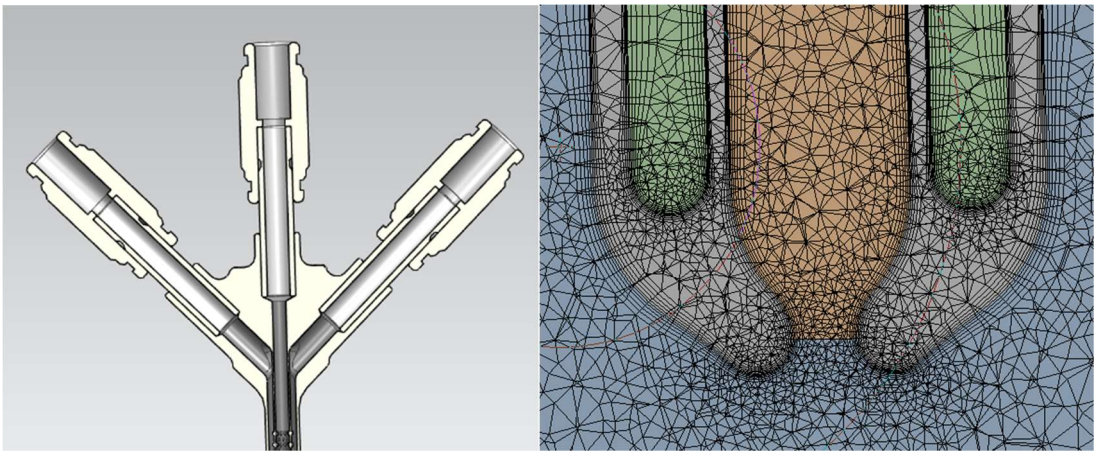


Рисунок – Объёмная модель и фрагмент КЭ-сетки пробоотборника в проточной части экспериментальной установки

Оценка полученных результатов проводилась в два этапа:

1) исследование влияния введения винтовых обводов в модель.

2) исследование влияния различных мероприятий по охлаждению в моделях с прямыми обводами.

Получены следующие результаты:

– введение в систему винтового обвода не оказывает положительное влияние на быстроту охлаждения пробы;

– продольное оребрение ускоряет охлаждение – это объясняется более развитой площадью каналов в сравнении с гладким вариантом;

– поперечное оребрение и система прямоугольных штырьков показали наилучшие результаты, что объясняется влиянием двух факторов:

1) ещё более развитая площадь канала по сравнению с продольным и поперечным оребрением;

2) переходы резкой формы создают срывные течения в пограничном слое как в канале пробы, так и в каналах с водой – это приводит к «обновлению» пристеночного слоя путём перемешивания его с ядром потока; таким образом, контакту со стенками подвергается рабочее тело из тех слоёв потока, которые в гладких вариантах обменивались теплом лишь с соседними слоями

УДК 678.026:621.793

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ УЗЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

© Гусев Д.В., Олехвер А.И., Гавричев И.В., Рожков М.С.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: gusev-danja@mail.ru

Научный руководитель: Ремшев Е.Ю., канд. техн. наук, доцент
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ключевые слова: полимерные композиционные покрытия, эксплуатационные свойства, скорость реализации, повышенная износостойкость, коррозионная защита, низкий коэффициент трения, агрегаты, комплексы, проектирование.

Введение

Современное машиностроение требует повышения характеристик узлов и деталей, работающих в условиях высоких нагрузок и трения. Разработка эффективных технологий формирования ПКМ-покрытий актуальна для повышения надёжности и ресурса силовых и трибологических узлов [1].

Материалы и методы исследования

Представлен способ формирования композитных узлов с заданными свойствами поверхностей, проведена его апробация с использованием испытательного стенда для грузовых автомобилей. В лаборатории «Материя» (Санкт-Петербург) разработано более 200 образцов, испытанных на кафедре Е4 БГТУ «ВОЕНМЕХ» с использованием оборудования SHIMADZU (рис. 1).

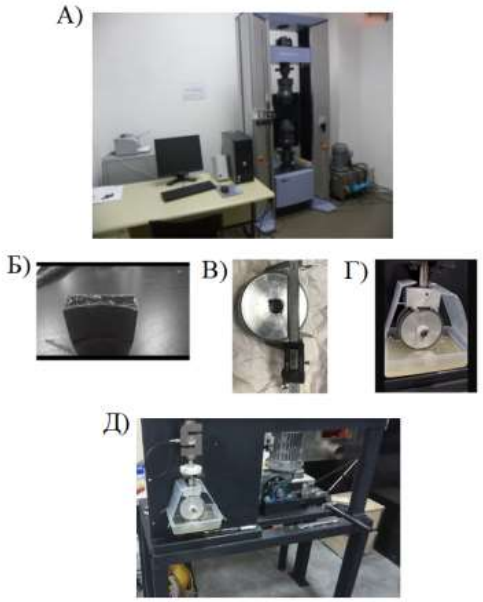


Рисунок 1 – Используемое оборудование для апробации технологического процесса А – испытательная машина SHIMADZU, Б – Композитный материал № 1, В – Композитный материал № 2, Г – Исследуемая пара трения, Д – Машина трения

Разработанный композит требует прецизионного смешивания компонентов. Процесс включает двухслойное нанесение на металлический вал с использованием специализированной машины и силиконовых форм с графитовыми вставками. Это обеспечивает гомогенность, снижение трения и высокую износостойкость [2].

Нанесение композита на металлический вал осуществляется в два слоя с использованием специализированного оборудования – разработанной формообразуюшей машины – рисунок 2. Последующее нанесение парафинового разделительного слоя обеспечивает минимизацию адгезии к формообразующим элементам [3]. Завершающим этапом является формование вращающегося элемента посредством заполнения силиконовых форм (12 шт.), содержащих графитовые смазочные вставки вместе со вторым композитным составом. Многоступенчатый процесс обеспечивает достижение оптимальных физико-механических характеристик материала, снижение коэффициента трения и повышение эксплуатационной эффективности вала.

Процесс нанесения и принципиальная схема показаны на рисунке 3 (А), (Б).

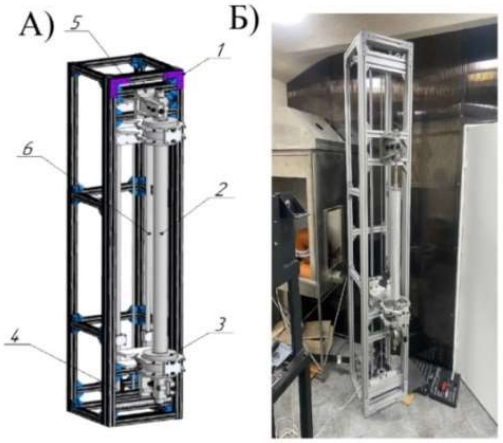


Рисунок 2 – Разработанная машина нанесения композита
А –3D модель машины (1 – рама, 2 – вал, 3 – формующая воронка, 4 – привод, 5 – бабка центрующая, 6 – прецизионная направляющая), Б – Фото машины в сборе

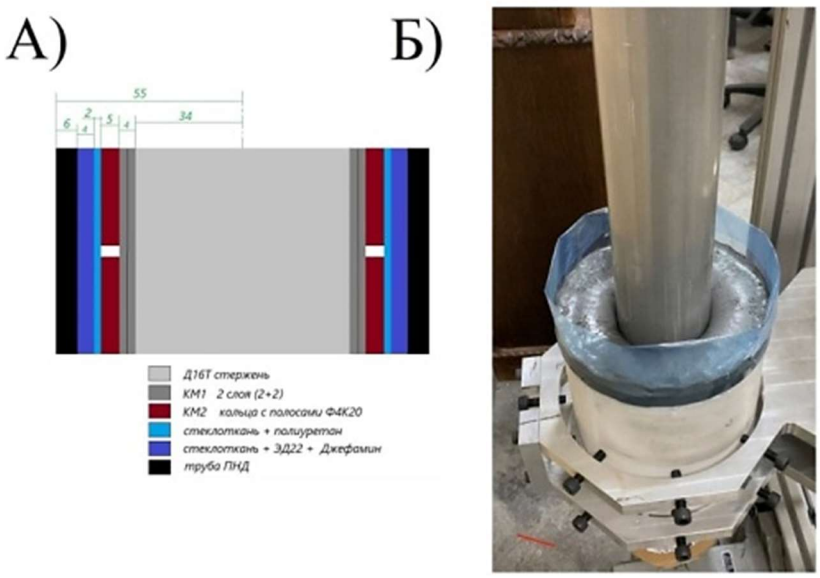


Рисунок 3 – Представление принципа работы машины
А – Принципиальная схема формирования слоев, Б – Процесс формирования первого слоя вид сверху

Для оценки характеристик был собран стенд на базе шасси Урал, позволяющий испытывать ролики в реальных условиях [4]. Экспериментально утверждено, что применение полимеров снижает износ, вибрацию, массу конструкции и повышает коррозионную стойкость. Разработанные ролики адаптированы для суровых условий (грязь, солёная вода, экстремальные температуры).

Результаты

В рамках проведенного исследования по разработке технологического процесса нанесения полимерных композиционных покрытий были получены следующие результаты.

1. Проведен анализ методов нанесения покрытий и определены оптимальные составы полимерных композиций.

2. Разработан технологический процесс с расчетом составов на основе смолы ЭД20.

3. Определены параметры (температура, давление, скорость), обеспечивающие качественное покрытие.

4. Спроектировано оборудование для реализации процесса.

Заключение

Разработанный подход позволяет лучше понять взаимосвязь между составом полимерных композиций, технологическими параметрами процесса нанесения и характеристиками получаемых покрытий. Это способствует развитию научных знаний в области материаловедения и технологии полимерных покрытий.

Библиографический список

1. Федоренко, В.А. Справочник по машиностроительным материалам / В.А. Федоренко. – М.: Машиностроение, 2009.

2. Клюев, В.В. Методы контроля качества покрытий / В.В. Клюев, В.С. Сенин. – М.: Спектр, 2008.

3. Бобров, А.А. Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении / А.А. Бобров. – М.: Академия, 2016.

4. Гусев, Д.В. Разработка технологического процесса нанесения полимерных композиционных покрытий с целью применения новых технологических решений при проектировании агрегатов и комплексов / Д.В. Гусев, Е.Ю. Ремшев, А.И. Олехвер // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 24–25 апреля 2025 года. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2025. – С. 117. – EDN: ELHKTV.

УДК 621.762.01

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

© Еремицкая К.Е.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ksenyaeremitskaya@gmail.com

Научный руководитель: Носова Е.А., д-р техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: заготовка, аддитивные технологии, контроль, отклонения, геометрические характеристики.

В данной работе исследуются основные технологические факторы, влияющие на точность размеров заготовки детали «Корпус задний» (рис. 1), полученной методом прямого лазерного выращивания (ПЛВ), включая мощность лазера, скорость наплавления, диаметр пятна и расход порошка [1].

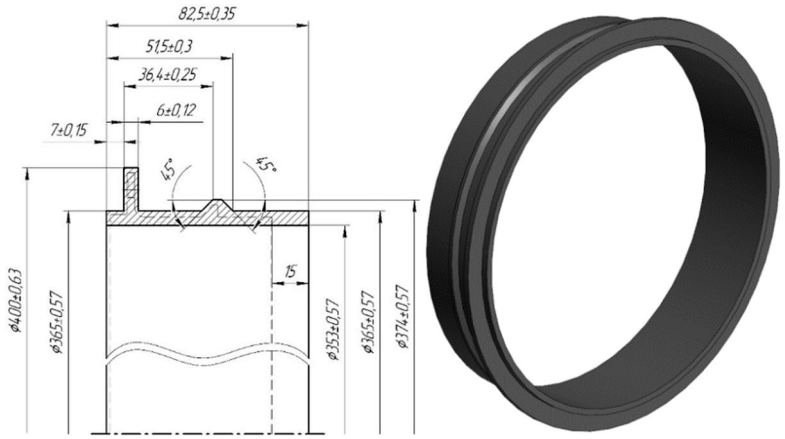


Рисунок 1 – Эскиз и 3D-модель заготовки детали «Корпус задний», полученной технологией прямого лазерного выращивания

Прямое лазерное выращивание относится к аддитивным технологиям, позволяющим создавать сложные металлические детали непосредственно из металлопорошковых композиций (МПК). Однако качество получаемой продукции зависит от множества параметров, влияющих как на микроструктуру материала, так и на его геометрию. Особенно важны параметры процесса, которые напрямую определяют форму и размеры формируемого валика.

Цель исследования – проведение контроля геометрии заготовки детали «Корпус задний» из стали 12Х18Н10Т, изготовленной методом ПЛВ на установке «ИЛИСТ-L», с анализом влияния технологических параметров на точность размеров изделия и разработка рекомендаций по повышению качества выращенных деталей.

Учитывать влияние полного комплекса этапов производства (рис. 2) будущей заготовки: начиная с моделирования и заканчивая постобработкой, необходимо не только, чтобы гарантировать геометрическую точность, но и минимальную пористость и дефектность, стабильность процесса, а также качественный контроль и прогнозируемый результат.

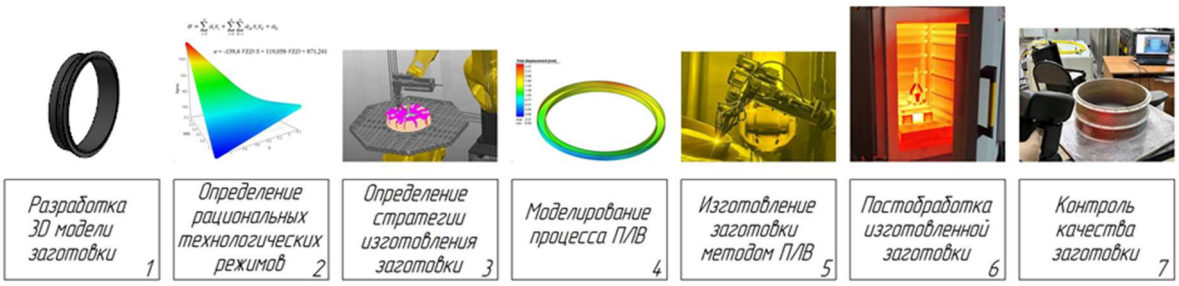


Рисунок 2 – Этапы изготовления заготовок деталей технологией ПЛВ

От проектирования 3D-модели зависит соответствие изделия чертежам. На этапе моделирования учитываются усадка, деформации и направление выращивания. В процессе наплавки технологические параметры, такие как мощность, скорость процесса, диаметр пятна лазера определяют ширину и высоту валика, а, следовательно, слоя и самого изделия в целом. Последующая постобработка же позволяет стабилизировать геометрию за счёт минимизирования и распределения остаточных напряжений в изделии, возникающих из-за резких перепадов температур в процессе ПЛВ.

Особо важен контроль не только геометрии, но и структуры наплавленного металла, который позволяет обнаружить дефекты, зависящие также от выбора режима наплавки и технологии постобработки: пористость, несплавления, трещины [2].

Благодаря исследованию полного комплекса производства заготовки детали «Корпус задний», выращенной при оптимально подобранном технологическом режиме (см. табл.), удалось провести контроль геометрии с помощью комплекса, состоящего из ручного 3D-сканера Scanform L5 и программного обеспечения Geomagic Control [3].

Таблица – Параметры режима наплавления для стали 12Х18Н10Т

Мощность лазера	1200 Вт
Скорость перемещения	20 мм/с
Диаметр лазерного пятна	2 мм
Расход порошка:	
– первый валик	13,6 г/мин
– внутренний валик	11,0 г/мин
– последний валик	12,8 г/мин

Благодаря анализу полученных данных в ходе сопоставления выращенной геометрии заготовки детали «Корпус задний» с эталонной, оказалось, что линейные размеры отличаются от эталонных, так как имеет место усадка металла, но необходимый компенсационный слой помог избежать брака изделия. Однако три диаметральных размера вышли за допуск, а два из них – за пределы минимального припуска. Это указывает на необходимость корректировки диаметрального припуска для обеспечения возможности механической обработки.

Таким образом, можно дать ряд рекомендаций по повышению качества выращенных деталей:

1. Оптимальные параметры режима наплавления для стали 12Х18Н10Т:

– мощность лазера – 1200 Вт;

– скорость – 20 мм/с;

– диаметр пятна – 2 мм;

– расход порошка: 13,6 г/мин (первый валик), 11,0 г/мин (внутренний), 12,8 г/мин (последний).

2. Применение справочного масштабирующего коэффициента 1,003 позволяет частично компенсировать усадку материала, но требует корректировки.

3. Использование 3D-сканирования и программного обеспечения Geomagic Control X позволяет эффективно проводить контроль выращенной геометрии.

4. Для снижения остаточных напряжений в изделии рекомендован отжиг I рода при температуре 0,4 от температуры плавления материала [4].

5. Необходимо скорректировать припуск таким образом, чтобы скомпенсировать отклонения, выходящие за допуск.

Библиографический список

1. Конструктивно-технологическое проектирование изделий аддитивного производства. – СПб: ИЛИСТ, 2022. – 125 с.

2. Балашов, А.В.Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью / А.В. Балашов, М.И. Маркова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1 (52). – С. 66.

3. Синьков, А.В. Технология 3D-сканирования и 3D-печати / А.В. Синьков, В.Н. Тышкевич; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – 2019. – URL: http://lib.volpi.ru (дата обращения: 01.03.2024).

4. Термическая обработка металлов. – URL: https://m-investspb.ru/poleznaya-informatsiya/termicheskaya-obrabotka-metalla (дата обращения: 08.06.2024).

УДК 621.914.1

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТОВ

© Зотов В.А.[1,2]

[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: Vlad198189@gmail.com

Научный руководитель: Евдокимов Д.В.[1,2], канд. техн. наук, доцент
[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: медицинские импланты, СВМПЭ, фрезерование, шероховатость, оптимизация режимов.

Шероховатость поверхности элементов скольжения из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), применяемого в медицинских имплантах, оказывает критическое влияние на срок их службы и надёжность [3]. В рамках данного исследования представлены предварительные результаты по фрезерной обработке СВМПЭ. Рассматриваются параметры шероховатости после двух режимов фрезерования. Планируется последующее построение математической модели, которая позволит провести наукоёмкую оптимизацию режимов резания для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя.

Современные медицинские эндопротезы подвергаются значительным циклическим нагрузкам, где параметры поверхности элементов скольжения напрямую влияют на износостойкость, биосовместимость и срок службы изделия [1; 2]. Одним из ключевых материалов для таких деталей является СВМПЭ – инертный, износостойкий и биосовместимый полимер. Однако обеспечение стабильного качества обработанной поверхности требует научно обоснованного подхода к выбору режимов резания.

Эксперименты проводились на малоразмерном фрезерном станке Optimum BF 20 Vario с блоком управления ЧПУ Reiner CNC57. В качестве инструмента использовались фрезы с различными геометриями заточки. Исследованы два первых режима обработки, отличающиеся глубиной фрезерования при одинаковой подаче и скорости резания, результаты представлены в табл. 1–2. Параметры шероховатости измерялись профилометром БВ-7669 в продольном и поперечном направлениях. Вид эндопротеза в сборе, используемое оборудование и процесс фрезерования представлены на рисунке.

Предварительные результаты демонстрируют чувствительность параметров шероховатости к изменению глубины фрезерования. Продолжается накопление данных для построения регрессионной модели, отражающей взаимосвязь между режимами обработки и качеством поверхности. Это позволит разработать цифровой инструмент для оптимизации фрезерных операций при производстве элементов имплантов, способствуя повышению их надёжности и ресурса.

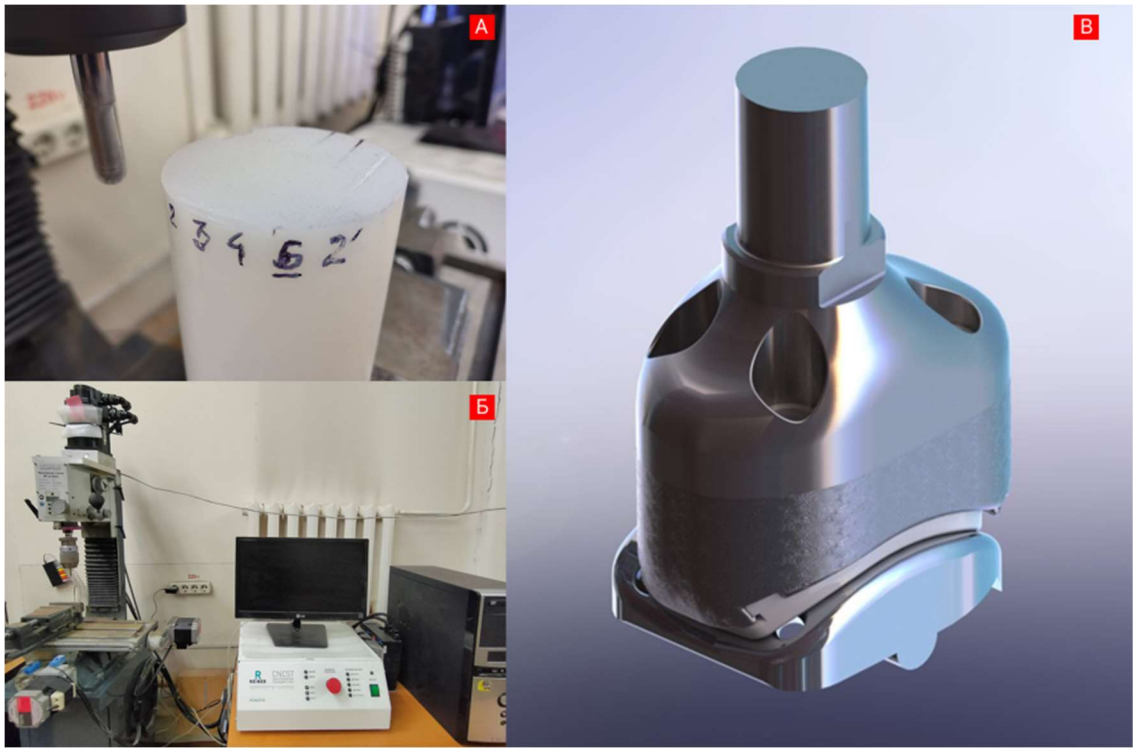


Рисунок – Процесс фрезерования – А, малоразмерный фрезерный станок Optimum BF 20 Vario – Б, вид ревизионного эндопротеза в сборе – В

Таблица 1 – Результаты первых двух экспериментов

Режимы обработки	Варианты измерения	Параметры шероховатости, мкм		
		Ra	Rz	Sm
1 режим	Шероховатость в продольном направлении	3,75	26,3	194
	Шероховатость в поперечном направлении	4,15	28,16	172,66
2 режим	Шероховатость в продольном направлении	2,75	24,43	213,66
	Шероховатость в поперечном направлении	3,48	14,5	176,33

Таблица 2 – Режимные параметры фрезерования

Номер опыта	Режимные параметры		
	Глубина фрезерования, t, мм	Скорость резания ϑ, м/мин	Подача на зуб S_z, мм/зуб
1	0,2	80,384	0,005
2	0,05	80,384	0,005

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (Госзадания) FMRW-2025-0052.

Библиографический список

1. Ivanov, V.V. Development of a Universal Algorithm for Designing Personalized Ankle Joint Endoprostheses / A.N. Nikolaenko, D.V. Evdokimov etc. // Biomedical Engineering. – 2023. – Vol. 57, issue 1. – № 1. – P. 48–51.

2. Piska, M. On the Machining o f Joint Implant UHMWPE Inserts / Miroslav Piska, Katerina Urbancova // NEWTECH 2022. – The 7th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, Rennes, France: MATEC Web of Conferences, September 8–10. – Rennes, 2022. – P. 1–16.

3. Повышение эксплуатационных свойств деталей путём регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке: учебное пособие / КуАИ; сост. К.Ф. Митряев. – Куйбышев, 1986. – 91 с.

УДК 662.611.41

ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ СУРРОГАТА АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА И ЕГО КОМПОНЕНТОВ

© Колобова О.А., Демидова М.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: olga.kolobova.04@mail.ru

Научный руководитель: Идрисов Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: керосин, суррогаты, нормальная скорость распространения пламени, кинетические механизмы, горение, расчетная модель, моделирование.

Нормальная скорость распространения пламени Sl – одна из основных фундаментальных характеристик, которая определяет скорость перемещения фронта пламени перпендикулярно своей границы в сторону свежих реагентов. Данные по скорости распространения пламени используется как при предварительном проектировании камер сгорания, так и на этапе численного моделирования процессов горения.

Авиационный керосин является смесью из нескольких десятков углеводородов, поэтому в расчетах используют суррогаты керосина – модельные смеси из меньшего количества углеводородов, но отражающих характеристики реального керосина. В данной работе были проведены исследования скорости пламени для компонентов основных структурных классов, входящих в состав авиационного керосина.

Экспериментальное исследование проводилось на установке НОЦ газодинамических исследований Самарского университета по определению нормальной скорости распространения пламени методом Heat Flux (рис. 1). Метод Heat Flux основан на измерении профиля температуры плиты горелки. Установка позволяет определять скорость пламени с абсолютной погрешностью 1 см/сек, при начальных температурах топливовоздушной смеси до 400 К и атмосферном давлении.



Рисунок 1 – Общий вид установки Heat Flux

Моделирование адиабатического, предварительно перемешанного одномерного пламени проводилось с использованием программного продукта ANSYS ChemKin. В расчётном исследовании сравнивались два кинетических механизма: высокотемпературный детальный механизм PoliMi (вер. 1412) [1], в котором содержится 14 100 реакций и 451 компонент; и механизм JetSurF 2.0 [2], содержащий 2163 реакции и 348 компонентов.

Верификация данных по нормальной скорости распространения пламени проводилась по результатам экспериментальных работ, полученных в НОЦ газодинамических исследований Самарского университета, для трех основных структурных классов, составляющих керосин: алканов, циклоалканов и ароматических углеводородов (рис. 2).

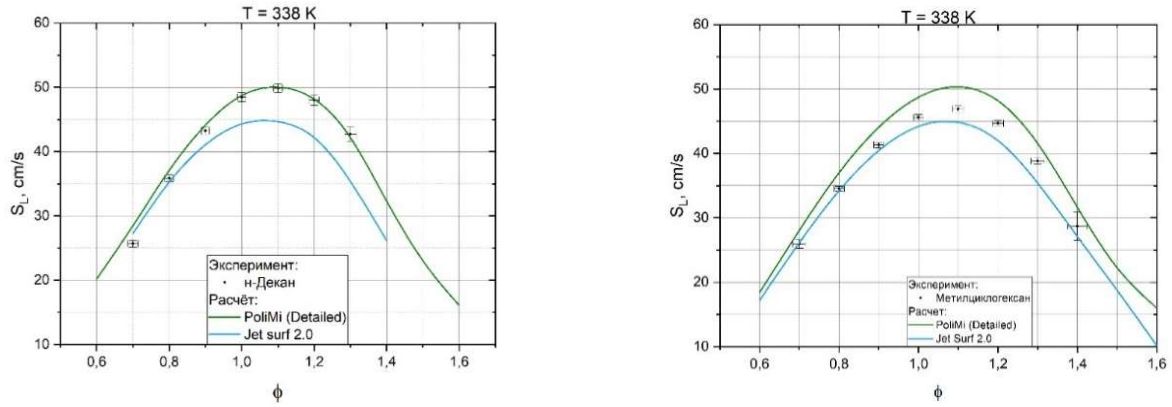


Рисунок 2 – Нормальная скорость распространения пламени компонентов суррогата авиационного керосина

В результате проделанной работы были получены новые расчетно-экспериментальные данные по нормальной скорости распространения пламени основных классов, входящих в суррогат авиационного керосина. был выбран и верифицирован детальный кинетический механизм на экспериментальных данных по нормальной скорости распространения пламени (SL), с использованием установки по определению нормальной скорости распространения пламени Heat Flux.

Проведенное расчётно-экспериментальное исследование по определению нормальной скорости распространения пламени горения различных углеводородных топлив показало, что опытные данные, полученные на установке Heat Flux, хорошо соответствуют данным, полученным в результате моделирования с использованием детального кинетического механизма PoliMi для групп ациклических углеводородов линейного или разветвленного строения, а также для циклических ароматических соединений. В то время как для исследования предельных углеводородов более удовлетворительны значения показывает механизм Jet Surf 2.0.

Библиографический список

1. Ranzi, E. Hierarchical and comparative kinetic modeling of laminar flame speeds of hydrocarbon and oxygenated fuels / E. Ranzi, A. Fassoldati, R. Grana, A. Cuoci, T. Faravelli, A.P. Kelley, C.K. Law // Progr. Energy Combust Sci. – 2012. – № 38. – P. 468–501.

2. Wang, H. Egolfopoulos FN, Law CK. USC Mech Version II. High-Temperature Combustion Reaction Model of H2/CO/C1–C4 Compounds / H. Wang, X. You, A.V. Joshi, S.G. Davis, A. Laskin. – URL: http://ignis.usc.edu/USC_Mech_II.htm.

УДК 662.611.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ БИОТОПЛИВА НА НОРМАЛЬНУЮ СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

© Конюхов К.Д., Ермошкин В.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: K1r1ll63@yandex.ru

Научный руководитель: Идрисов Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: углеводородное топливо, биотопливо, спирты, нормальная скорость распространения пламени, кинетические механизмы, горение, расчетная модель, моделирование.

Одним из направлений развития современных технологий горения является поиск энергоносителей, которые являлись бы альтернативой ископаемому топливу, традиционно применяемому в современных транспортных и стационарных двигателях. Среди альтернативных видов топлива больше внимания уделяется биотопливу, которое можно получить из возобновляемых источников энергии. Отличительной особенностью сжигания биотоплив является понижение выбросов CO2.

Среди биотоплив, которые приобретают все большую популярность, наибольший интерес представляет этанол. Он представляет собой хорошую альтернативу традиционному топливу из-за содержания в нем кислорода. Низкая теплотворная способность не мешает его потенциальному использованию в качестве альтернативы автомобильному топливу. Использование топлива на основе этанола в двигателях с искровым зажиганием становится все более актуальным из-за высокого значения октанового числа и высокой теплоты испарения, или в двигателях с воспламенением от сжатия, которые используют двухтопливные системы для совместного сжигания спирта и дизельного топлива.

В сочетании с современными системами управления процессом сгорания использование этанола должно привести к снижению вредных выбросов при сохранении улучшенных функциональных параметров двигателя. До настоящего времени многие экспериментальные исследования утверждали, что смешение топлива с этанолом снижает выбросы выхлопных газов бензинового и / или дизельного двигателей. Как правило, в этих исследованиях уменьшение вредных выбросов было связано с содержанием кислорода в этаноле, что улучшает сгорание и обеспечивает значительное снижение выбросов CO, HC и сажи, однако предполагается, что это может отрицательно повлиять на выбросы NOx.

В литературе имеется достаточно много данных для двигателей, работающих на смесях этанола с бензином или с дизельным топливом, но большинство из них трудно сравнивать друг с другом. При этом существует мало систематических фундаментальных экспериментов по определению выбросов NOx при сгорании смесей этанола. Скорость пламени также является важным фактором, влияющим на выбросы NOx, так как скорость пламени этанола выше, чем у бензина, это способствует более быстрому завершению горения на высоких скоростях, что может привести к более высокой эмиссии NOx при горении этанола

Скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени в направлении перпендикулярном его поверхности. Данная величина является

фундаментальной характеристикой топливовоздушной смеси, которая зависит от коэффициента избытка топлива, начальной температуры и давления. Данные по скорости распространения пламени используется как при предварительном проектировании камер сгорания, так и на этапе численного моделирования процессов горения.

В работе представлены результаты расчетно-экспериментального исследования нормальной скорости распространения пламени углеводородных топлив с добавками биотоплив при атмосферном давлении и начальной температуре смеси от 300 до 400 К. Определение нормальной скорости распространения пламени производилось методом нулевого теплового потока (Heat Flux). Полученные экспериментальные данные сравнивались с результатами численного моделирования адиабатических предварительно подготовленных ламинарных пламен.

УДК 621.438.001.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

© Лебедев В.И., Григорьев С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lebejonok@gmail.com

Научный руководитель: Матвеев С.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: авиационный ГТД, камера сгорания, оксид углерода, реакторные модели, эксперимент, моделирование.

Камера сгорания (КС) является основным узлом газотурбинного двигателя, определяющим его экологические характеристики. В настоящее время проблемы экологичности ГТД в основном решаются за счёт применения полуэмпирических методик и экспериментальной доводки опытных образцов. Перспективные методы расчёта характеристик турбулентного горения углеводородных топлив основываются на совместном решении нестационарных уравнений газовой динамики и детальной химической кинетики методами прямого численного моделирования (DNS). Однако в настоящее время в такой постановке решение задач применительно к камерам сгораниям ГТД не может быть реализовано из-за ограниченных возможностей вычислительной техники. Решение этой проблемы видится в применении комбинированных методов, заключающихся в достаточно точном решении каждой подзадачи в отдельности и объединении их в единый алгоритм.

В данной работе проводится расчётно-экспериментальное исследование образования оксидов углерода в лабораторной одногорелочной камере сгорания, работающей на газообразном углеводородном топливе, при помощи комбинированного метода расчета.

Комбинированный метод включает в себя подготовку геометрической модели с возможными упрощениями, выделение расчетной области разбиением на сеточную модель, настройкой математической модели и CFD моделированием. Моделирование производится в программном пакете ANSYS Fluent в стационарной, а затем нестационарной постановках и далее результаты обрабатываются с помощью реакторных моделей для прогнозирования эмиссионных характеристик модельной камеры сгорания (КС). Отработка методики производилась на газообразном топливе с целью исключения процессов распыла и испарения капель, а также в связи с наличием верифицированного кинетического механизма окисления газообразного топлива GRI 3.0 [1].

При анализе значений массовых концентраций монооксида углерода и несгоревших углеводородов установлено, что с помощью метода LES+RNM, получены значения более близкие к экспериментальным, чем значения, полученные с помощью метода LES. При этом погрешность между экспериментальными данными и методом LES+RNM составляет менее ±10 % (см. рис.).

В результате получено, что:

– сравнение расчётных и экспериментальных значений массовых концентраций компонентов воздуха (азота и кислорода) показывает расхождение между не более 5 между экспериментальными и расчётными значениями. При этом расхождение между

расчётными методами LES и LES+RNM при анализе значений массовых концентраций компонентов составило менее ±1 %;

– при анализе значений массовых концентраций основных продуктов сгорания (H2O и CO2) установлено, что с помощью метода LES+RNM, получены значения более близкие к экспериментальным, чем значения, полученные с помощью метода LES. При этом погрешность между экспериментальными данными и методом LES+RNM составляет менее ±10 %;

– при сравнении значений массовых концентраций монооксида углерода и несгоревших углеводородов, погрешность между экспериментальными данными и методом LES+RNM составляет менее ±10 %

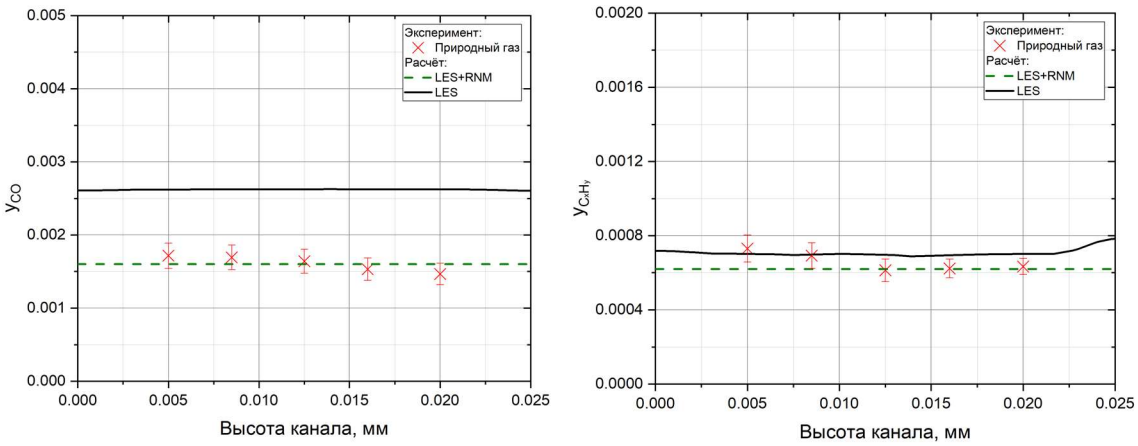


Рисунок – Сравнение значений массовых концентрации CO и несгоревших углеводородов между экспериментальными и расчётными данными

Библиографический список

1. GRI-Mech 3.0: kinetic mechanism for natural gas combustion. – Электрон. дан. – Беркли: The Gas Research Institute, 1999. – URL: https://combustion.berkeley.edu/gri-mech/version30/text30.html (дата обращения: 05.09.2025).

УДК 62-233.3/.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАГЛЯДНОГО МАКЕТА ПЛАНЕТАРНОЙ СТУПЕНИ РЕДУКТОРА

© Левкович В.Ю., Власова П.М., Соколова В.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: levkovich.vitalij@bk.ru

Научный руководитель: Чемпинский Л.А., канд. техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: макет, планетарная передача, аддитивные технологии.

Редуктор представляет собой механизм, который позволяет уменьшить число оборотов, увеличивая в то же время крутящий момент. Он позволяет работать двигателю на оптимальных оборотах, преобразуя их в нужную для вала угловую скорость. Самой важной характеристикой как ступени редуктора, так и всего механизма в целом является передаточное отношение. Оно показывает во сколько раз уменьшается скорость вращения при передаче и во сколько раз увеличивается крутящий момент выходного вала. Задача проектирования редуктора заключается в достижении нужного (обычно достаточно высокого) передаточного отношения при минимальных габаритах и массе устройства. Широкое распространение в конструировании редуктора получила планетарная передача [1; 2].

В рамках выполненной работы создан наглядный макет планетарной передачи и методическое обеспечение (анимация, иллюстрации (рис. 1)) для понимания его работы студентами – будущими специалистами.

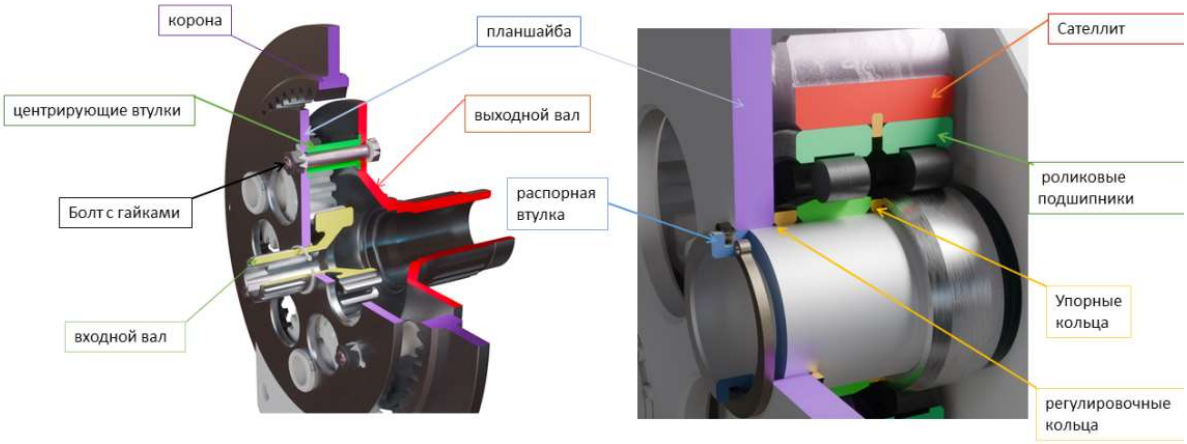


Рисунок 1 – Иллюстрация редуктора

Преимуществами планетарной передачи является меньшие габариты, меньшая нагрузка на каждый зуб. Габаритный размер планетарной ступени редуктора чуть больше диаметра большей из шестерён. Передаточное отношение равно сумме количества зубов у солнечной шестерни и короны, деленной на количество зубов солнечной шестерни. То есть происходит понижение скорости в соотношение количества зубчиков у короны к количеству у зубчиков солнца + 1 раз. Также нагрузка распределяется между всеми планетарными шестернями, что линейно снижает нагрузку на каждую из них. Таким образом по всем рассмотренным параметрам такая передача имеет свои преимущества, из-за чего и получила такое распространение.

Создана 3D-модель планетарной ступени редуктора в САПР Adem 9.05. Из него в формате STL была экспортирована полигональная модель. С помощью программного обеспечением IdeaMaker для слайсинга был создана управляющая программа для 3D принтера Raise 3D N2 Dual. Благодаря использованию аддитивных технологий получилось быстро и дёшево создать нужные детали [3]. Этим способом была изготовлена рабочая модель планетарной передачи с возможностью ее сборки и разборки (рис. 2). Для этого каждая деталь печаталась отдельно. Были в том числе изготовлены элементы, которые требуют сложной поддержки.



Рисунок 2 – Макет редуктора

Были изготовлены тестовые образцы для проверки усадки материала [4]. В соответствии с полученными результатами были скорректированы настройки печати для своих задач. При необходимости корректировали детали в пакете Adem 9.05.

В ходе выполнения работы мы успешно создали наглядный макет планетарной передачи и методическое обеспечение, которое поможет студентам разобраться в конструкции механизма. Мы убедились в очевидных преимуществах применения аддитивных технологий для создания макетов механизмов.

Библиографический список

1. Чемпинский, Л.А. Моделирование конструкции вертолетного редуктора в среде ADEM VX. Моделирование первой ступени: учеб. пособие / Л.А. Чемпинский. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. – 76 с.: ил.

2. Чемпинский, Л.А. Моделирование конструкции вертолетного редуктора в среде ADEM VX. Моделирование выходной ступени: учеб. пособие (рукопись в редакции автора).

3. Абрамова, И.А. Технология послойного наплавления Fused Deposition Modeling / И.А. Абрамова, Д. Полков // Наука и военная безопасность. – 2016. – № 3 (6). – С. 111–114. – EDN: XHYSCZ.

4. Ермаков, А.И. Влияние технологических параметров 3D-печати PLA-пластиком на характеристики готовых изделий / А.И. Ермаков, И.И. Цыганков // X Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, Минск, 06–10 декабря 2021 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 60–61. – EDN: XTQSIP.

УДК 658.562

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ 8D МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

© Лузик А.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nastya.luzik.03@mail.ru

Научный руководитель: Савич Е.К., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: управление качеством, автоматизация, управление несоответствиями, методика решения проблем, восемь дисциплин.

В условиях современной конкурентной среды обеспечение высокого качества продукции и бесперебойности производственного процесса напрямую зависит от эффективности управления качеством поставок сырья и комплектующих материалов. Возникновение несоответствий в поставках является неизбежным явлением, однако своевременное выявление, анализ и устранение причин их возникновения позволяют минимизировать негативное влияние на деятельность предприятия.

Управление несоответствиями в поставках – это процесс выявления, анализа, устранения и предотвращения несоответствий сырья или комплектующих материалов, поступающих от поставщиков. Этот процесс направлен на минимизацию влияния дефектных поставок на производственные и бизнес-процессы, а также на повышение общей надёжности цепочки поставок [1].

Традиционные методы управления несоответствиями, основанные на ручном сборе и обработке информации, характеризуются высокой трудоемкостью, длительными сроками реагирования и повышенным риском ошибок. Автоматизация данного процесса позволяет значительно повысить его эффективность за счет:

1) сокращения времени на выявление и регистрацию несоответствий;

2) обеспечения оперативного доступа к информации о несоответствиях для всех заинтересованных сторон;

3) автоматизации анализа данных и выявления коренных причин возникновения проблем;

4) ускорения процесса разработки и внедрения корректирующих действий;

5) повышения прозрачности и контроля на всех этапах управления несоответствиями.

Внедрение автоматизированной системы управления несоответствиями позволяет не только повысить оперативность реагирования на возникающие проблемы, но и создать условия для непрерывного улучшения процессов и предотвращения повторного возникновения дефектов. Одним из эффективных инструментов, применяемых для решения проблем, связанных с несоответствиями в поставках, является структурированная методика 8D (Eight Disciplines Problem Solving), позволяющая команде специалистов выявить коренные причины проблемы и разработать комплексные корректирующие действия для их устранения. Его задача состоит в том, чтобы проанализировать проблему, выявить слабые места в системе менеджмента, которые привели к возникновению проблемы. Результатом методики 8D является отчет 8D (8D Report) [2]. Бизнес-процесс «Отработка запросов 8D» представлен на рисунке 1.

Для обеспечения эффективного сбора, анализа и последующей автоматизации процесса решения проблем, связанных с несоответствиями, разработана стандартизированная форма отчета 8D (рисунок 2). Данная форма, структурированная в соответствии с принципами методика 8D, предназначена для систематической фиксации информации на каждом этапе решения проблемы, начиная с формирования команды и заканчивая внедрением корректирующих действий и предотвращением повторного возникновения несоответствия.

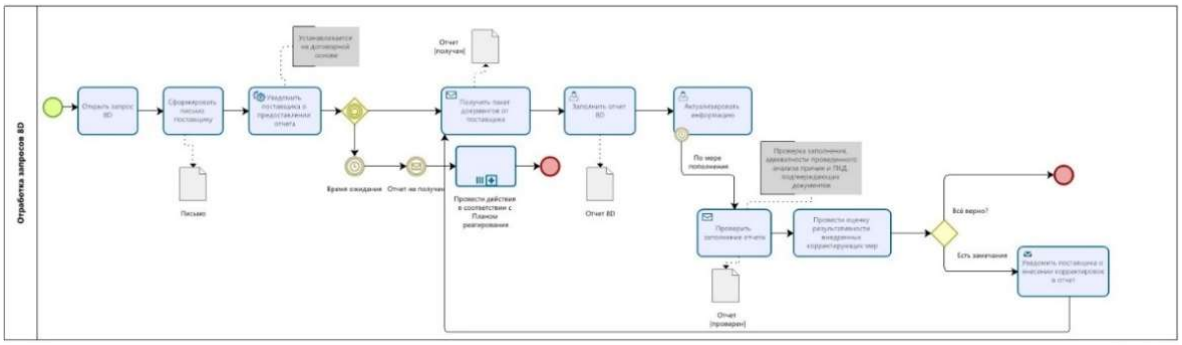


Рисунок 1 – Бизнес-процесс «Отработка запросов 8D» в нотации BPMN

Разработанная форма отчета служит основой для создания автоматизированного инструмента, обеспечивающего прозрачность процесса, возможность отслеживания прогресса решения проблемы в режиме реального времени и поддержку принятия обоснованных решений на основе анализа данных. Автоматизация заполнения и анализа данной формы позволит значительно сократить временные затраты, повысить точность данных и обеспечить эффективное взаимодействие между участниками процесса решения проблем.

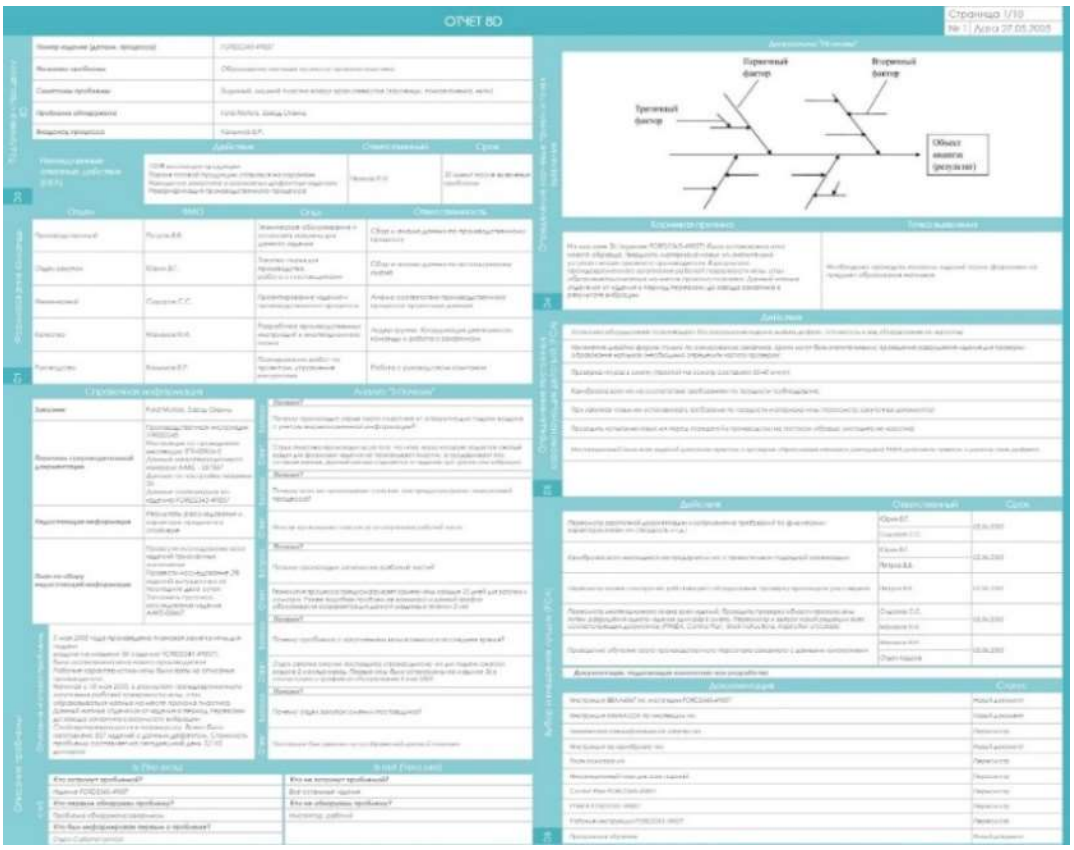


Рисунок 2 – Фрагмент отчета 8D

Автоматизация процесса управления несоответствиями в поставках, подкрепленная стандартизированной формой отчета 8D, является ключевым фактором повышения эффективности и качества на современных промышленных предприятиях. Внедрение таких автоматизированных решений позволяет оптимизировать процессы выявления, анализа и устранения причин несоответствий, обеспечивая оперативное реагирование, снижение издержек и создание основы для непрерывного улучшения.

Библиографический список

1. Савич, Е.К. Цифровизация процесса управления качеством закупок и поставок сырья и комплектующих материалов / Е.К. Савич, И.П. Васильева, А.Д. Лузик // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 75–83.

2. Гулевич, Ю.Н. Методика «8D» как инструмент управления логистическими затратами для предприятий машиностроения / Ю.Н. Гулевич, Г.М. Наливайко // Обработка информации и принятие решений. – 2021. – С. 39–46.

УДК 662.753.1:662.612.3

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУРРОГАТА КЕРОСИНА В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

© Паницков А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: apanitskov@inbox.ru

Научный руководитель: Идрисов Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: суррогат, авиационный керосин, горение, расчёт, углеводород, эксперимент, моделирование, камера сгорания.

Авиационный керосин представляет собой топливо, используемое в газотурбинных двигателях летательных аппаратов. Наиболее распространёнными марками являются Jet A-1 (международный стандарт) и TS-1 (российский аналог).

Суррогат керосина – смесь известного состава, состоящую из ограниченного количества химических компонентов и воспроизводящую основные свойства реального топлива. Также для численного моделирование окисления суррогата авиационного топлива необходимо иметь детальный и редуцированный кинетические механизмы, который должен в полной мере моделировать необходимые физико-химические свойства керосина.

В работе произведена классификация свойств керосина марки ТС-1, влияющих на процессы в камере сгорания ГТД, а также способов их расчётно-экспериментального исследования. Определены основные свойства, необходимые для формирования суррогата керосина марки ТС-1, а также их референтные значения. Обоснованы выбранные свойства с точки зрения рабочего процесса камеры сгорания.

Проведено расчётно-экспериментальное исследование процессов горения выбранных суррогатов керосина марки ТС-1 на модельной индивидуальной камере сгорания на стендах Научно-образовательного центра газодинамических исследований Самарского университета. Компонентный состав исследуемых суррогатов представлен в таблице.

Таблица – Компонентный состав суррогатов керосина

Наименование суррогата	Состав суррогата, %
н-декан	н-декан 100
Суррогат С	н-декан 60 додекан 20 метилциклогексан 20
Samara U	н-декан 20 додекан 40 бутилциклогексан 25 бензол 15

Результаты экспериментов по определению состава продуктов сгорания представлены на рисунке.

В результате было проведено экспериментальное исследование по составу продуктов сгорания на выходе из модельной индивидуальной камеры сгорания при использовании в качестве топлива нормального декана, трехкомпонентного суррогата С и четырехкомпонентного суррогата SU2, а также авиационного керосина марки ТС-1.

Показано, что суррогат Samara U2 совпадает с исследуемым керосином с точностью в 5 % для основных компонентов продуктов сгорания.

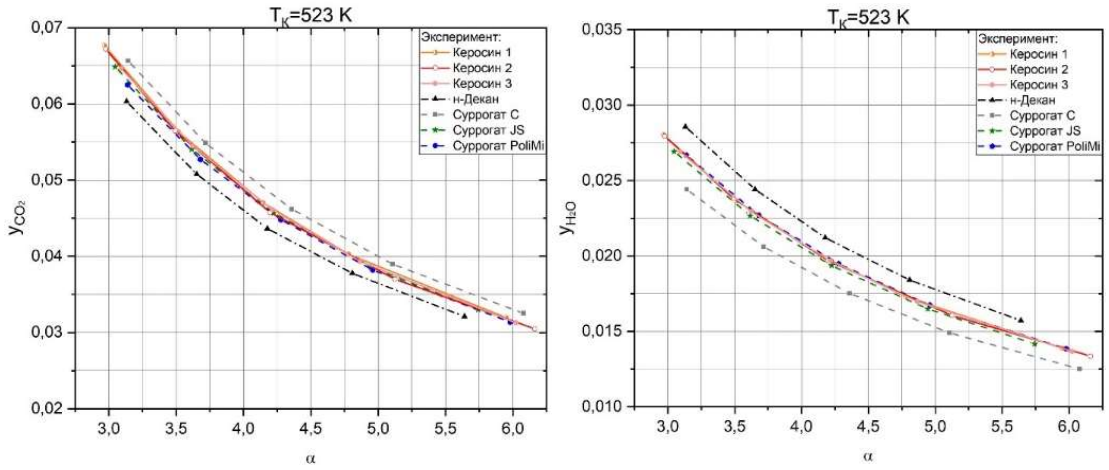


Рисунок – Сравнение массовых концентраций CO_2 и H_2O при горении суррогата и керосина

Проведённый расчёт суррогата Samara U2 показал удовлетворительное согласование с экспериментальными данными и подтвердил возможность использования выбранного суррогата для моделирования процессов в камерах сгорания ГТД.

УДК 532.517.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРУЧЕННОГО ТЕЧЕНИЯ

© Пашкова Н.Д.[1,2], Чуприн Г.Е.[2]

[1]*Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, г. Казань, Российская Федерация*
[2]*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Молочников В.М.[1,2], д-р техн. наук, с.н.с.
[1]*Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, г. Казань, Российская Федерация*
[2]*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация*

e-mail: pashkova-2000@mail.ru

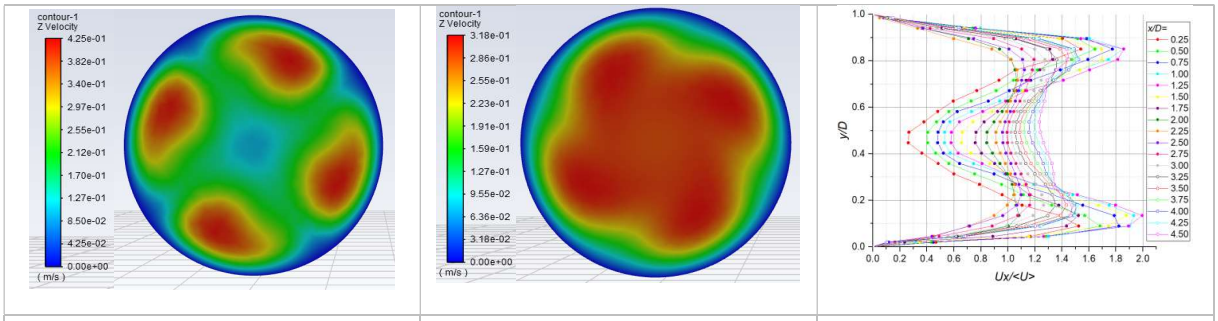
Ключевые слова: закрученное течение, ламинарно-турбулентный переход, перемежаемость, вихрь.

Закрученные течения встречаются в различных технических приложениях (форсунки, центрифуги, диспергаторы и т. д.). Такие течения имеют сложный трехмерный и нестационарных характер, что усложняет их изучение. Наибольшее число исследований подобных течений проводилось для турбулентного потока, а ламинарные и переходные режимы практически не изучены [1], хотя закрутка при определенных условиях может приводить к затягиванию ламинарно-турбулентного перехода или, напротив, к более ранней турбулизации потока по сравнению с течением без закрутки. Закрутка может интенсифицировать теплоотдачу за элементами дискретной шероховатости поверхности теплообменников и систем охлаждения при их работе в области низких и умеренных чисел Рейнольдса, а также в микро- и миниканалах смесительных устройствах. Важнейшей областью применения результатов исследования процессов ламинарно-турбулентного перехода в закрученных отрывных течениях в каналах является биомеханика кровообращения, а именно гемодинамика течения в элементах сердечно-сосудистой системы человека. В 30-х годах XX столетия был зарегистрирован факт закрутки крови в крупных сосудах. Однако влияние данного фактора на гемодинамику элементов сердечно-сосудистой системы (в частности, в области соединения шунта с артерией) практически не изучено. Целью настоящего исследования является изучение структуры течения в трубе после локальной закрутки потока для дальнейшего применения результатов при изучении его влияния на структуру отрывных зон при номинально ламинарных режимах течения.

Исследование проводилось двумя методами: эксперимент и численное моделирование. Для экспериментального исследования использовалась установка, принцип работы которой описан в [2]. Рабочий участок представлял собой гладкую прозрачную трубу с внутренним диаметром d = 17.4 мм с четырехлопастным лопаточным завихрителем, имеющим на выходе угол установки лопаток 23˚. Измерения были выполнены с использованием планарного оптического метода Smoke Image Velocimetry (SIV). Изучалось стационарное течение с числами Рейнольса Re = 240, 500, 800, 1200, 1500, 1640. Прямое численное моделирование выполнялось на основе решения нестационарных трехмерных уравнений Навье-Стокса в расчетной среде Ansys Fluent. Использовалась неструктурированная тетраэдральная сетка с 4 641 820 ячеек. Показано удовлетворительное совпадение расчетных и

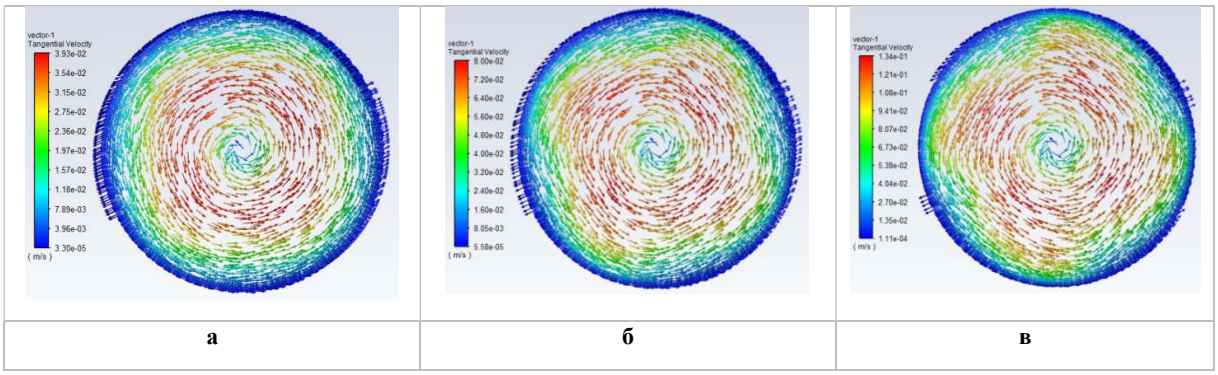
экспериментальных профилей скорости до Re = 240–800, однако при дальнейшем увеличении числа Рейнольса наблюдаются некоторые расхождения в результатах, что, скорее всего, объясняется отличием геометрии реального завихрителя, от его модели, используемой при численном моделировании.

Результаты исследования показывают, что непосредственно за лопатками завихрителя формируются зоны с максимумами скорости, которые вращаются ниже по течению и далее «размываются» за счет вязких эффектов (рис. 1). При наименьшем числе Рейнольса (Re = 240) это происходит на расстоянии трех калибров от завихрителя, при Re = 500 на x/d ≈ 9, а при дальнейшем увеличении Re ядро вихря не имеет осесимметричную структуру и сохраняет локальные максимумы скорости в следе от лопаток (рис. 2).



а	б	в

Рисунок 1 − Результаты численного моделирования распределения осевой компоненты скорости при Re = 500 (а − x/d = 1; б − x/d =5.17) и эксперимента (в)



а	б	в

Рисунок 2 – Результаты численного моделирования распределения окружной компоненты скорости при различных числах Рейнольса на расстоянии x/d = 9.2: а – Re = 500; б – Re = 800; Re = 1200

В распределении окружной скорости потока непосредственно за завихрителем можно выделить две зоны: область вынужденного и область свободного вихря. По результатам эксперимента эта граница четко видна на расстоянии 0.75…0.81 радиуса (варьируется от Re). Изменение окружной компоненты скорости не имеет линейной зависимости от радиуса на участке вынужденного вихря, на основе чего можно сделать вывод, что жидкость движется не по закону твердого тела, который полностью справедлив в случае идеально жидкости (рис. 3).

Для оценки интенсивности закрутки течения вводят интегральный параметр закрутки *S*, определяющий отношение момента количества движения потока к осевому количеству движения [3] (рис. 4). Из рисунка видно, что при Re = 240 степень закрутки в конце области измерений полностью затухает, а течение становится классически ламинарным (что подтверждается профилями скорости и низким уровень пульсаций). При Re = 500 закрутка также монотонно убывает, профиль скорости имеет тенденцию к восстановлению, но на исследованной длине трубы полностью не выравнивается.

При Re ≥ 800 степень закрутки слабо зависит от числа Рейнольса, что в дальнейшем позволит анализировать влияние одинаковой степени закрутки на характер течениях с различными скоростями (соответствующих указанному диапазону исследования по Re).

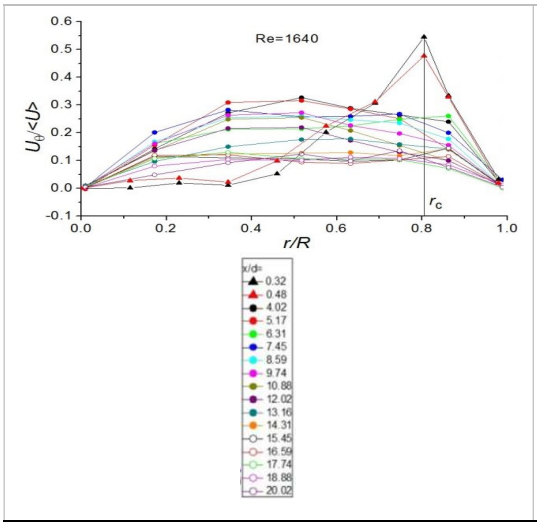


Рисунок 3 – Изменение окружной скорости на разном удалении от завихрителя при Re = 1640 при экспериментальном исследовании

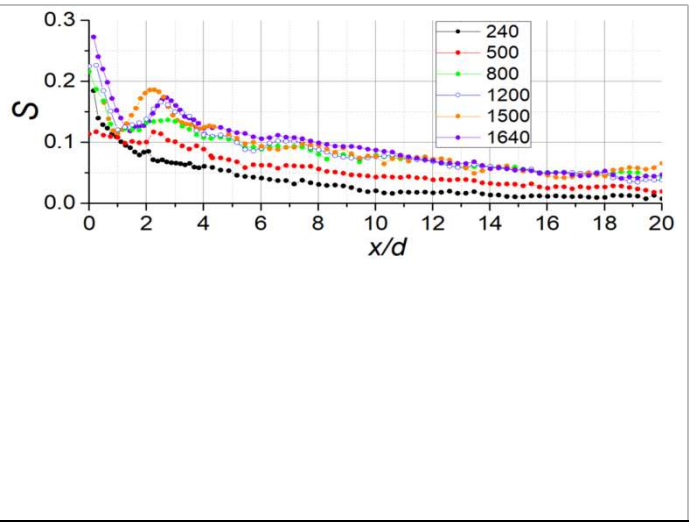


Рисунок 4 –Изменение степени закрутки на различных числах Рейнольса по длине канала при экспериментальном исследовании

Одним из важных аспектов в исследовании закрученного течения является наличие или отсутствие прецессии ядра вихря – его периодическое отклонении от оси симметрии канала и колебания вокруг этой оси на относительно низких частотах. Данное явление было зафиксировано только при Re = 1640, что скорее всего, объясняется возмущениями, возникающими от области обратных течений, формируемых непосредственно за заверителем. При меньших числах Рейнольдса зоны возвратных токов вблизи завихрителя не обнаружено.

Для изучения влияния закрутки потока на процессы ламинарно-турбулентного перехода были предприняты попытки обнаружения признаков перехода к турбулентности: резкого роста пульсаций скорости и появления перемежаемости течения (чередование периодов ламинарного и турбулентного течения на осциллограммах скорости). В экспериментах при Re ≤ 800 среднеквадратичные пульсации скорости составляли менее 2 % от среднерасходной скорости потока, что характерно для ламинарного потока. С увеличением числа до Re = 1200 наблюдалось трехмодовое распределение интенсивности пульсаций скорости по диаметру трубы, что характерно для перехода к турбулентности в гладкой трубе при незакрученном течении. При Re > 1200 обнаружен значительный рост уровня пульсаций (до 20 %), а также появление областей с перемежаемостью свидетельствует о наличии признаков ламинарно-турбулентного перехода.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (грант № 25-19-00133).

Библиографический список

1. Helgadóttir, Á. Mesh twisting technique for swirl induced laminar flow used to determine a desired blade shape / Á. Helgadóttir [et al.] // Applied Sciences. – 2018. – Т. 8, №. 10. – С. 1865.

2. Молочников, В.М. Гемодинамические аспекты проблемы увеличения срока службы сосудистых трансплантатов / В.М. Молочников // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2023. – Т. 66, № 11. – С. 94–108.

3. Щукин, В.К. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах / В.К. Щукин, А.А. Халатов. – М.: Машиностроение, 1982. – 200 с.

УДК 621.438.001.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

© Персиянцев К.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kira.persiyantsev@mail.ru

Научный руководитель: Идрисов Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: камера сгорания, газотурбинная установка, эмиссия вредных веществ, технологии сжигания топлива, численное моделирование, детальная химическая кинетика.

Газотурбинные установки (ГТУ) широко применяются в энергетике, авиации и промышленности. Эффективность их работы во многом зависит от процессов смесеобразования и горения в камере сгорания. Неравномерность горения, высокая эмиссия вредных веществ и тепловые нагрузки требуют оптимизации конструкции и режимов работы.

В работе рассмотрены современные научные представления об образовании оксидов углерода и оксидов азота. Показаны основные пути их образования. Предложены кинетические механизмы горения природного газа с хорошим прогностическим уровнем.

Проведено упрощение геометрической модели камеры сгорания, выполнена конечно-элементная сеточная модель и проведены расчёты процессов смешения топлива и воздуха, и процесс горения ТВС.

В рамках проведенной работы было выполнено исследование влияния распределения топлива на образование вредных веществ (см. рис.) [1].

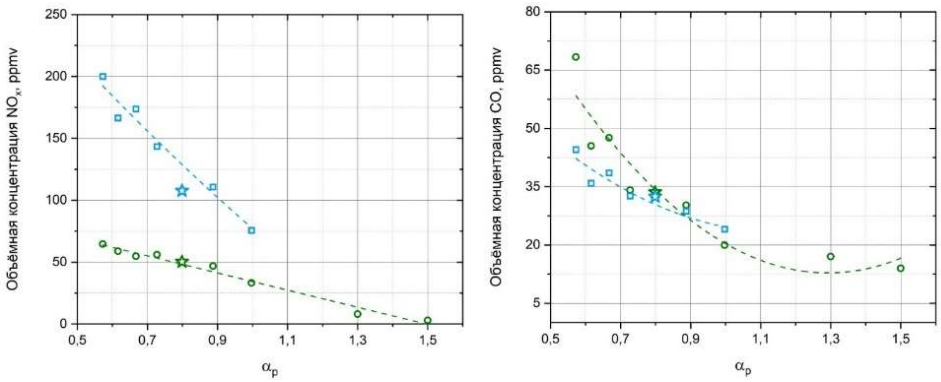


Рисунок – Зависимости концентраций NO_X и CO от коэффициента избытка воздуха через центральное горелочное устройство; квадраты – реакторная модель, треугольники – CFD-расчёт

В результате получено, что при приближении коэффициента избытка воздуха в «пилотном контуре» к стехиометрии, объём зоны с максимальными температурами уменьшается, она становится более компактной, смесь быстрее прогорает и тем самым меньше образуется оксидов азота. Этот факт способствует более интенсивному перемешиванию зон 2 и 3 чем для базового варианта (a = 0.8), или вариантов расчёта с более богатым фронтом через контур Pilot, и тем самым приводит к снижению выбросов CO.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, не внося изменений в геометрию жаровой трубы и фронтового устройства, можно рекомендовать перераспределить топливо по контурам со значениями состава топливовоздушной смеси близкими к a = 1.3 для уменьшения эмиссии CO и NOx. Эмиссия вредных веществ представлены в таблице.

Таблица – Значение эмиссии вредных веществ

α_p	–	1.49	1.3	1	0.89	0.8	0.73	0.67	0.62	0.57
CO	ppm	14	17	20	30	34	34	48	45	68
NOx	ppm	3	8	33	47	50	56	55	59	65

Библиографический список

1. Матвеев, С.Г. Расчет образования CO и NOx в камерах сгорания ГТД / С.Г. Матвеев, С.В. Лукачев, М.Ю. Орлов, И.В. Чечет, М.Ю. Анисимов, Ю.В. Красовская. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. – 41 с.

УДК 656.135

ВНЕДРЕНИЕ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

© Сидорова А.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: theatanna.n@gmail.com

Научный руководитель: Савич Е.К., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: предиктивная диагностика, техническое обслуживание, грузовой автотранспорт.

Работа грузового автомобильного транспорта стала основой экономики страны и важнейшим элементом в цепочке поставок товаров. Современный рынок предъявляет повышенные требования к надёжности, скорости доставки и низких расходов, тем самым вынуждая транспортные компании решать непростые задачи. Чтобы соответствовать таким требованиям активно внедряются новейшие цифровые технологии, особенно в сфере эксплуатации и ремонта подвижного состава.

Традиционно техническое обслуживание автомобилей осуществлялось на соблюдении установленных производителей норм и правил: менять запчасти строго по регламенту, независимо от фактического состояния транспортного средства. Но такая практика далеко не идеальна – внезапные отказы техники, вынужденные отмены рейсов, рост эксплуатационных издержек. Регламентные схемы, ориентированные на интервалах пробега или временной промежуток между осмотрами, демонстрируют низкую степень эффективности [1–3].

Современный этап характеризуется осознанием потребности перехода к предиктивным технологиям диагностики и техобслуживания. Эти решения обеспечивают возможность непрерывного контроля технического состояния автотранспорта в режиме реального времени посредством современных цифровых решений. Предупреждение потенциальной неисправности значительно сокращает риск возникновения критичных ситуаций, способствует снижению расходов и поддержанию положительной репутации перевозчика.

Цель представленного исследования заключается в теоретическом обосновании и практической демонстрации практической выгоды от реализации прогностического подхода к сервисному обслуживанию парков грузовых автомобилей. Анализируются сложившиеся практики эксплуатации автомобильной техники, сравниваются традиционные методы с современными концепциями предиктивной аналитики.

Предиктивный подход коренным образом отличается от общепринятых планово-предупредительных процедур. Суть его проста: он основан на мониторинге текущих характеристик каждого отдельного автомобиля, сборе статистических данных и определении оптимального момента осуществления технических воздействий [4].

Основные этапы успешной реализации предложенного подхода включают:

– установку датчиков для отслеживания ключевых показателей функционирования техники (температура, вибрация, нагрузка и т. п.);

– внедрение специализированной платформы для эффективного накопления и обработки больших объёмов данных;

– применение алгоритмов интеллектуального анализа данных и машинного обучения для выявления рисков;

– организацию единого информационного пространства для оперативной координации действий персонала и принятия своевременных решений.

Преимуществами перехода на прогностическое обслуживание являются:

– повышение уровня безопасности дорожного движения и жизни людей путём раннего устранения выявленных недостатков;

– сокращение количества незапланированных простоев за счет заблаговременного обнаружения отклонений от нормы;

– экономия финансовых ресурсов за счет сокращения объема избыточных профилактических мероприятий;

– увеличение срока службы подвижного состава ввиду предотвращения тяжелых повреждений;

– укрепление имиджа предприятия и привлечение потребителей, заинтересованных в стабильности и качестве услуг.

Важно учитывать, что при переходе на предиктивные технологии необходимы: продуманная организация; четкая координация усилий; понятный и пошаговый план; поддержка и готовность руководства компании на всех уровнях принять инновационные идеи. Переход на предиктивную диагностику открывает путь к эффективному использованию возможностей цифровой трансформации и созданию устойчивых конкурентных преимуществ.

Освоив это, предприятие сможет уверенно двигаться вперёд, используя возможности цифровой эпохи и укреплять свои позиции среди конкурентов. Исследование пригодится тем специалистам и управленцам, кто хочет вывести обслуживание своей техники на новый уровень. Осознанное применение новых технологий делает автомобили более выносливыми и снижает число непредвиденных проблем.

Проблемами при внедрении предиктивной диагностики являются: высокие первоначальные инвестиции, трудность встраивания новой системы в существующие бизнес-процессы и нехватка квалифицированных кадров. Следовательно, исследование направлено на разработку комплексных руководств по постепенному внедрению предиктивных инструментов, обучение сотрудников работе с новыми технологиями и создание объективных метрик оценки результатов преобразований.

Таким образом, внедрение предиктивной технологии в обслуживание грузового автотранспорта приведет к улучшению финансовой устойчивости и повышению качества предоставляемых услуг.

Библиографический список

1. Фёдоров, Ю.Н. Искусственный интеллект и моделирование состояния автомобильных двигателей / Ю.Н. Фёдоров // Вестник Нижегородского университета имени Н.И. Лобачевского. Серия «Информационные технологии». – 2023. – № 1. – С. 11–18.

2. Акулова, Е.А. Внедрение систем искусственного интеллекта в транспортной отрасли / Е.А. Акулова, К.Г. Кучма // Инновационное развитие техники и технологии наземного транспорта: сборник статей Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2021. – С. 223–225.

3. Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы / Р.Р. Сафиуллин, Л.А. Симонова; под ред. Р.Н. Сафиуллина. – М.: Директ-Медиа, 2024.

4. Сервис и эксплуатация транспортных средств в условиях цифровой трансформации: учебное пособие / Е.В. Дуганова, И.А. Новиков, Н.А. Загородний. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 138 с. – ISBN: 978-5-4497-1614-9.

УДК 662.997.2:662.934

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТАНО-ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В МОДЕЛЬНОЙ ОДНОГОРЕЛОЧНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

© Сергеев И.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: sergeevia63@mail.ru

Научный руководитель: Идрисов Д.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: горелочные устройства, камера сгорания, газотурбинная установка, эмиссия вредных веществ, метано-водородные смеси, водород, численное моделирование, экспериментальные исследования.

В условиях глобального перехода к низкоуглеродной энергетике и ужесточения экологических норм возрастает интерес к альтернативным видам топлива. Одним из перспективных направлений является использование водородсодержащих газовых смесей, в частности, метано-водородного топлива [1]. Добавка водорода к природному газу (метану) позволяет улучшить характеристики горения: повысить скорость воспламенения, расширить пределы устойчивого горения и снизить выбросы углекислого газа (CO_2) и оксидов азота (NO_x) [2]. Однако внедрение таких смесей требует детального изучения их горения в реальных условиях камер сгорания, поскольку водород существенно изменяет термодинамические и кинетические параметры процесса.

В работе проведено расчетно-экспериментальное исследование горения метано-водородных смесей в лабораторной камере сгорания. Изучено влияние добавки водорода на стабильность горения, температурные поля и эмиссию вредных веществ. В процессе экспериментального исследования горения МВС в модельной камере сгорания были получены зависимости по влиянию добавки водорода в топливо, коэффициента избытка воздуха, температуры подогрева воздуха и доли МВС в пилотный контур на состав продуктов сгорания. Выявлено, что конечные продукты сгорания изменяются согласно физико-химическим представлениям о процессе горения, а именно, при увеличении доли водорода в топливе содержание O_2 в продуктах сгорания увеличивается, а CO_2 уменьшается. В условиях проведения данного эксперимента температура воздуха на входе значительного влияния не оказала, так как для поддержания постоянного ΔР и ТГ на выходе для каждого режима подбирался коэффициент избытка воздуха. Влияние альфа, как и увеличение доли топлива в пилотный контур схоже с поведением концентраций продуктов полного сгорания полученных при исследовании добавок водорода в топливо.

Эмиссия CO уменьшается при увеличении добавки водорода и увеличении коэффициента избытка воздуха (см. рис.), влияние температуры и доли топлива в пилотный контур не оказали существенного влияния.

Концентрация NOX в продуктах сгорания уменьшается с увеличением доли водорода в топливе. Однако наблюдается, что при увеличении α концентрация оксидов азота при добавках водорода 20 % и 25 % уменьшается, а при добавке 50% увеличивается.

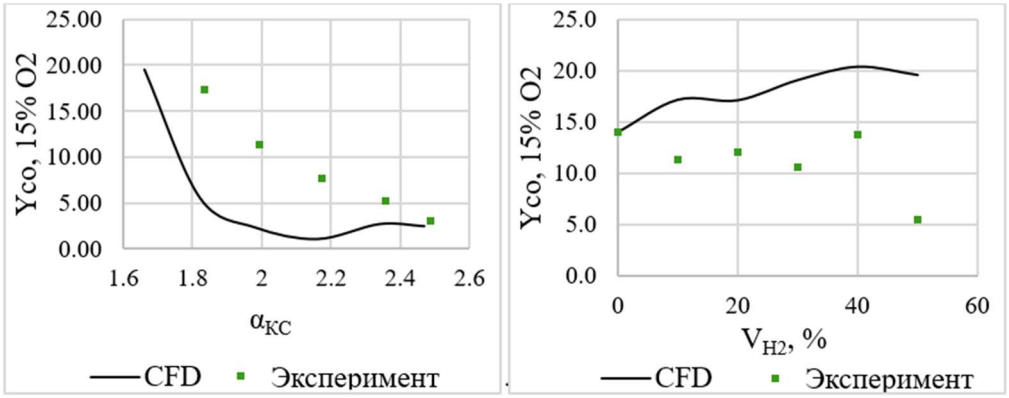


Рисунок – Сравнение экспериментальных и расчётных значений концентраций CO в зависимости от коэффициента избытка воздуха и доли водорода в топливе

Результаты могут быть использованы при разработке экологичных горелочных устройств для энергетики и промышленности.

Библиографический список

1. Аксютин, О.Е. Концепция крупномасштабного развития инновационных систем производства и распределения метано-водородного топлива как эффективного альтернативного энергоносителя / О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков, В.Г. Хлопцов, В.А. Казарян, А.Я. Столяревский // International gas union. – 2012. – С. 1–13.

2. Владимиров, А.В. Новые технологии снижения вредных выбросов и CO2 в продуктах сгорания ГТУ и ГТД путем подмешивания и постепенного перехода к водородному топливу / А.В. Владимиров, Е.Д. Свердлов, А.Н. Дубовицкий // Авиационные двигатели. – 2022. – Т. 2, № 15.

УДК 658.562

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

© Фролова А.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: anastasiy-f@mail.ru

Научный руководитель: Савич Е.К., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: анализ измерительных систем, измерительные системы, цифровой инструментарий.

Современные производственные предприятия сталкиваются с необходимостью постоянного повышения точности, воспроизводимости и достоверности результатов измерений. Стандарты управления качеством требуют обязательного анализа измерительных систем (MSA), основным методом которого является оценка повторяемости и воспроизводимости, однако традиционные методы проведения MSA, основанные на ручном вводе данных и использовании электронных таблиц, не соответствуют требованиям цифровой трансформации. Целью настоящего исследования является разработка цифрового инструмента, обеспечивающего автоматизированное выполнение анализа измерительных систем.

Процедура анализа измерительных систем применяется для реализации исследований пригодности измерительных систем, а также постоянного наблюдения пригодности процессов измерения и контроля устойчивости измерений. Анализ измерительных систем проводится в случаях:

– появления нового процесса производства;
– появления нового средства измерения;
– опасений потребителя;
– внутренних потерь качества на процессе приемочного контроля.

Анализ измерительных систем включает определение следующих характеристик:

повторяемость;
воспроизводимость;
смещение;
стабильность;
линейность.

И позволяет определить, какая часть общей изменчивости процесса обусловлена измерительной системой. В традиционном подходе расчёты производятся вручную или с помощью Excel, что увеличивает риски ошибок, снижает скорость обработки и делает анализ несистемным.

На рисунке представлена блок-схема процедуры анализа измерительных систем.

В работе проведена структуризация процедуры анализа измерительных систем, а также установлены границы процесса, определены его входы и выходы, поставщики и потребители. Проведено моделирование бизнес-процесса анализа измерительных систем.

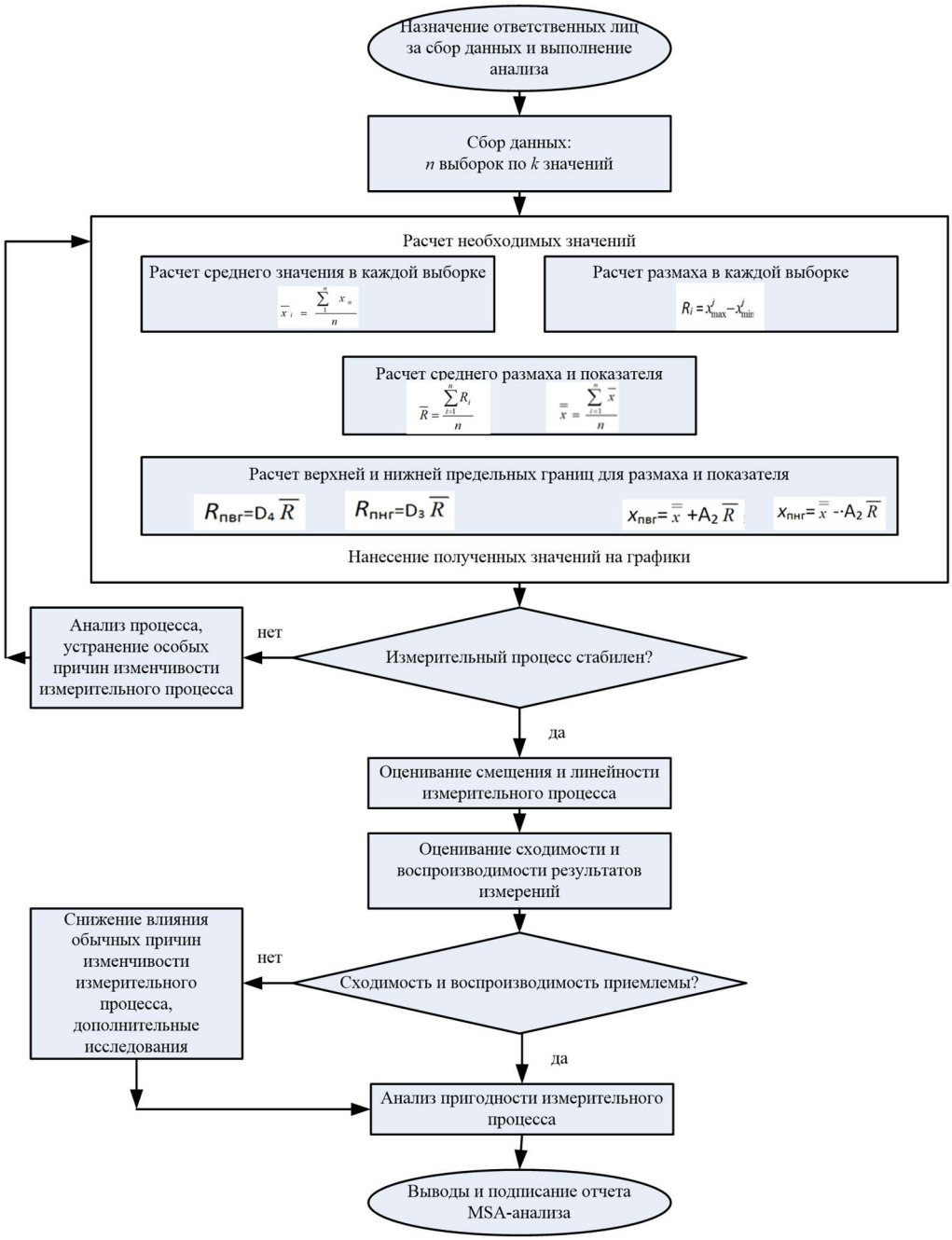


Рисунок – Блок-схема процедуры анализа измерительных систем

Исходя из проведенного анализа определена архитектура цифрового инструментария, включающая в себя пять ключевых компонентов:

- модуль сбора данных,
- модуль обработки,
- модуль статистического анализа,
- модуль визуализации
- модуль интеграции с внешними информационными системами.

Предложенная архитектура обеспечивает полный цикл анализа измерительных систем от сбора данных до интеграции результатов в цифровую систему менеджмента качества. Цифровой инструментарий позволит предприятиям автоматизировать процессы оценки метрологической пригодности, повысить достоверность измерений, минимизировать затраты и обеспечить соответствие требованиям международных стандартов качества [1; 2].

Таким образом, цифровой инструментарий для проведения анализа измерительных систем позволит обеспечить стабильный и достоверный расчет ключевых характеристик измерительной системы в автоматизированном режиме, исключая влияние человеческого фактора и существенно сокращая временные и трудовые затраты. Помимо этого, цифровой инструментарий позволяет формировать сквозной цифровой след и оперативно реагировать на отклонения в характеристиках измерений, что повышает обоснованность управленческих решений в области контроля качества. Таким образом, цифровизация анализа измерительных систем является важным шагом на пути к построению интеллектуального производства, соответствующего требованиям Индустрии 4.0 и международных стандартов качества.

Библиографический список

1. Савич, Е.К. Структурная модель цифровой платформы системы менеджмента качества / Е.К. Савич, Д.В. Антипов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – Вып. 10. – С. 172–177.

2. Васильев, В.А. Цифровые технологии в УК / В.А. Васильев, С.В. Александрова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 10. – С. 7.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОР И НЕСПЛАВЛЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

© Шарфутов М.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: sharfmat31@mail.ru

Научный руководитель: Чемпинский Л.А., канд. техн. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, электродуговая наплавка.

В работе рассмотрены основные способы предотвращения и устранения пор и несплавлений, возникающих во время 3D-печати, а также конструкция устройства магнитно-импульсной обработки, благодаря которой снижается пористость заготовки, полученной электродуговой наплавкой. Технология магнитно-импульсной обработки (МИО) позволяет улучшить структуру и свойства образцов, что особенно важно для изделий ответственного назначения (рис. 1).

Для проведения эксперимента по электродуговой наплавке с одновременным воздействием МИО создан экспериментальный стенд, на котором проводилось наплавление исследуемых образцов [1].

Технология обработки импульсными магнитными полями сварочной ванны заключается в следующем: при включении сварочного агрегата электрическая дуга образует сварочную ванну расплавленного металла свариваемых деталей. Одновременно с этим включается магнитно-импульсная установка, батарея конденсаторов которой периодически разряжается на индуктор, расположенный сзади сварочной головки, после чего возникающее импульсное магнитное поле воздействует на расплав сварочной ванны [2].

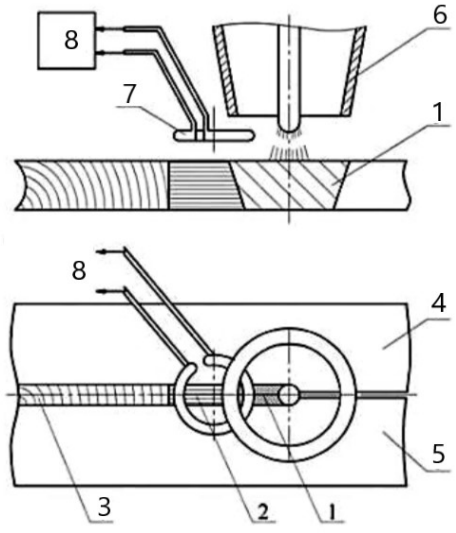


Рисунок 1 – Технологическая система воздействия МИО на расплав сварного шва: 1 – зона расплавления соединяемых металлов; 2 – зона затвердевания металла; 3 – зона полного затвердевания металла; 4, 5 – свариваемые элементы; 6 – сварочная головка; 7 – индуктор; 8 – генератор магнитных импульсов

Суть метода заключается в преобразовании энергии магнитного импульса в тепловое и силовое воздействие на расплавленный металл. Импульсный ток, возникающий в результате разряда конденсаторной батареи, протекает через индуктор, вызывает импульсное магнитное поле. Переменное магнитное поле формирует вихревые токи противоположного направления по отношению к току индуктора, в толще расплавленного металла возникает импульсное давление и электродинамические силы, которые образуют ударные волны, вызывающие образование потоков металла в жидкости расплава [2].

В результате исследований [2] установлено, что воздействие импульсного магнитного поля (ИМП) на расплав сварочной ванны способствует формированию более плотной структуры сварного шва (рис. 2), приводит к значительному снижению его пористости, а также к снижению уровня остаточных напряжений.

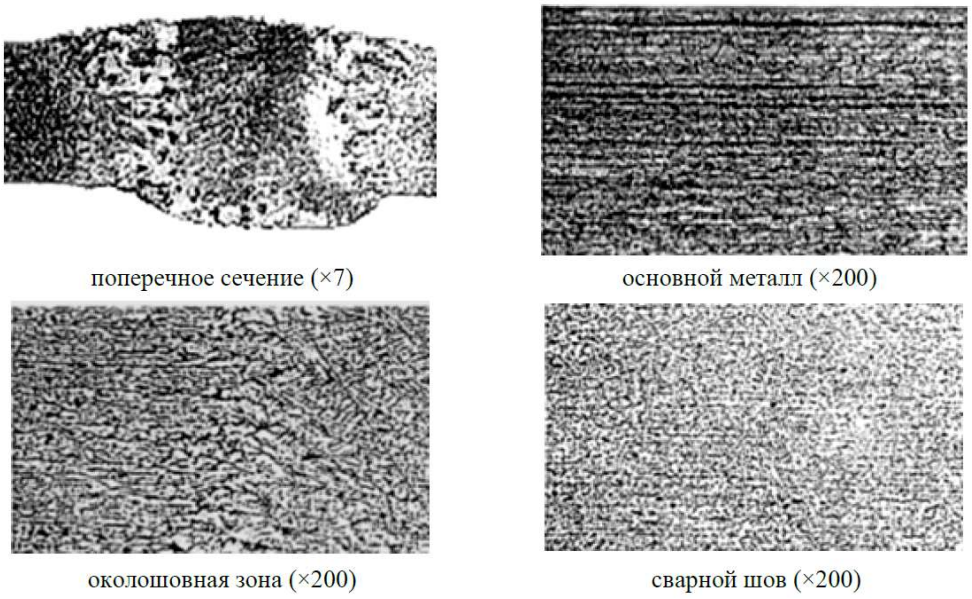


Рисунок 2 – Сварка плавлением с воздействием ИМП (W=0.92кДж)

Изучая результаты исследований, были сделаны следующие выводы: магнитно-импульсная обработка оказывает ощутимое модифицирующее воздействие на микроструктуру сплава Св-АК5. Максимальное измельчение дендритов α-Al установлено при обработке наплавляемых слоев с энергией разряда 186 Дж. Несплавления слоев отсутствуют [1].

Исследования микротвёрдости образцов показало незначительное уменьшение после магнитно-импульсной обработки, однако это соответствует требованиям к материалу, что доказывает достаточную твёрдость и качество заготовок. Механические испытания показали повышение предела прочности и относительного удлинения [1].

Библиографический список

1. Скороумов, А.К. Исследование влияния параметров магнитно-импульсной обработки в процессе электродуговой наплавки на структуру и свойства образцов из алюминиевого сплава: выпускная квалификационная работа / А.К. Скороумов.

2. Прокофьев, А.Б. Магнитно-импульсная обработка материалов (МИОМ): монография / А.Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.: ил.

УДК 662.997:621.18

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ СЫРОЙ НЕФТИ В ГАЗОВОМ КОТЛЕ МОЩНОСТЬЮ 4 МВТ

© Этенко С.А., Карпов А.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: stepanetenki@gmail.com

Научный руководитель: Матвеев С.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: горелка, нефть, жаротрубный котел, газодинамическое моделирование, CFD-моделирование, горение.

Сырая нефть остается одним из ключевых энергоресурсов мировой экономики, несмотря на активное развитие возобновляемой энергетики. В ряде регионов, особенно в нефтедобывающих странах, ее использование в качестве топлива для энергетических установок экономически оправдано из-за доступности и относительно низкой стоимости по сравнению с очищенными нефтепродуктами. Однако сжигание сырой нефти в промышленных котлах сопряжено с рядом технологических и экологических проблем, требующих глубокого изучения.

Котлы мощностью 4 МВт широко применяются в децентрализованной энергетике – на нефтепромыслах, в удаленных поселках и на промышленных объектах, где подключение к магистральным газовым сетям невозможно или нерентабельно. В таких условиях сырая нефть зачастую становится основным или резервным топливом. Однако ее химическая неоднородность, высокое содержание сернистых, азотистых и металлосодержащих примесей, а также склонность к образованию сажистых отложений существенно осложняют эксплуатацию котельного оборудования.

В рамках работы выполняется формирование математических моделей процессов сжигания котельно-печного топлива при работе горелочного устройства мощностью 4 МВт. Модели разрабатываются для случаев сжигания следующих видов котельно-печного топлива:

– нефть по ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия» [1].

Сравнение характеристик различных топлив представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик различных топлив

Параметр	Сырая нефть	Мазут	Природный газ
Теплота сгорания, МДж/кг	42–45	39–42	48–50
Содержание серы, %	0.5–3.0	1.0–4.0	<0.01
Температура воспламенения, °C	250–400	200–350	600–650

Таблица 2 – Значения эмиссии вредных веществ на выходе из расчетной области

№ п/п	Режим	CO мг/м3	NO мг/м3	NOx мг/м3
1	100%	295.9	390.2	597

Для моделирования процессов горения в проточной части жаровой трубы котла сгенерирована дискретная (сеточная) модель проточной части (см. рис.).

При моделировании процессов распыла и горения сырой нефти использовался суррогат, найденный в открытых литературных источниках. Результаты расчетов эмиссии CO и NOx представлены в таблице 2.

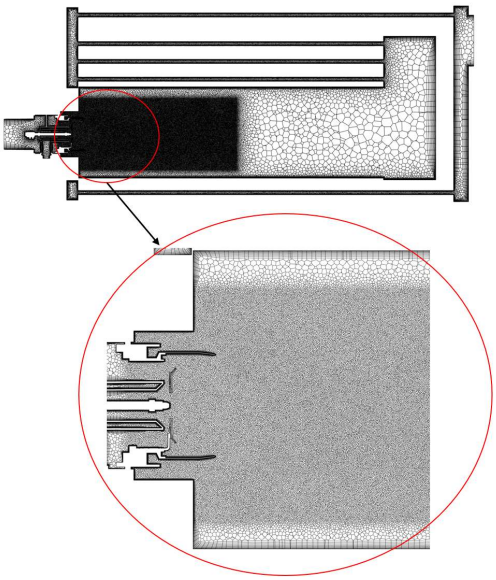


Рисунок – Дискретная модель проточной части котла с установленным горелочным устройством

В результате выполнения расчетов процессов горения сырой нефти в проточной части водогрейного котла можно заключить, что исходная конструкция горелочного устройства не позволяет обеспечить нормы по эмиссии оксидов азота (250 мг/м3), по CO (160 мг/м^3).

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51858-2002 (2017). Нефть. Общие технические условия. – Введ. 2018–07–01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 14 с.

Секция 7
Электроника и приборостроение

UDC 621.396; 681.3.06

DER EINFLUSS DER DISKRETISIERUNGFREQUENZ BEI N-PSK-SIGNALEN AUF DIE QUALITÄT EINES KOMMUNIKATIONSSYSTEMS

© Shipulya A.D., Martynova O.N.

Nationale Forschungsuniversität Samara, Samara, Russische Föderation

e-mail: shipulyaartyom@yandex.ru

Schlüsselwörter: Synchronisation, SDR, PSK, Übertragung, Diskretisierung.

Bei SDR-basierten Transceivern muss der Betrieb des analogen Teils mit dem Betrieb des digitalen Teils koordiniert werden. Im DSP-Gerät werden Datenbits in Symbole umgewandelt, wonach die resultierenden Symbole Interpolations- und Filterphasen durchlaufen. Bei der Signalerzeugung wird der Interpolationskoeffizient häufig zu hoch eingestellt; das Verhältnis von Anzahl pro Symbol (SPS) kann 40 oder mehr betragen. Dieser Ansatz erhöht die Genauigkeit der Signalanzeige bei der weiteren Umwandlung in eine analoge Form, erhöht jedoch gleichzeitig die Anforderungen an die verwendeten DAC- und Rechengeräte. Die Genauigkeit der Signalanzeige bei der Bildung eines modulierten Funksignals beeinflusst die Qualität seiner anschließenden Demodulation. Durch die Bewertung dieses Einflusses können wir Anforderungen an das SPS-Verhältnis und dementsprechend an die DAC-Parameter genauer formulieren [1; 2].

Im Rahmen der Arbeit wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt, bei denen das HackRF-one SDR-Gerät als Sender und das RTL SDR als Empfänger verwendet wurden. Im Experiment wurden BPSK-, 8-PSK-, 16-PSK- und 16-QAM-Modulationen verwendet. Bei den Modulationsarten BPSK und 8-PSK hing die Kommunikationsqualität in geringem Maße vom Verhältnis der Anzahl pro Symbol ab. Bei der Verwendung von sps-Werten über 20 blieb die Anzahl der Fehler bei der Funkübertragung nahezu unverändert. Bei der 16-PSK-Modulation nahm die Synchronisationsqualität mit abnehmender sps merklich ab. Bei einem SPS-Verhältnis von 10 fand keine Frequenzsynchronisierung statt und es wurde keine Datenübertragung durchgeführt. Bei der 16-QAM-Modulation trat bei einem SPS-Verhältnis von 4 keine Synchronisation auf. Der Einfluss des SPS-Verhältnisses auf die Übertragungsqualität ist also bei Modulationen höherer Ordnung am ausgeprägtesten.

Bibliographie

1. Saalmann, K. Verwendung eines Software Defined Radio (SDR) und der Schaltungsentwicklung in GNU Radio im Anwendungsfall wM-Bus / K. Saalmann. – URL: https://repo.bibliothek.uni-halle.de/bitstream/1981185920/100542/1/SaalmannKevin_Verwendung_eines_Software_Defined_Radio.pdf (Datum des Zugriffs: 28.02.2025).

2. GNU Radio Manual and C++ API Reference. – URL: https://www.gnuradio.org/doc/doxygen (Datum des Zugriffs: 28.02.2025).

UDC 629.76.05+623.462

DEVELOPMENT OF ON-BOARD ELECTRONICS FOR A GUIDED ROCKET MODEL

© Yudanova E.S., Davydova S.O.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

e-mail: evelina.yudanova@mail.ru, davidova.so@ssau.ru

Key words: on-board electronics, student model.

This paper presents the development of onboard electronics for a student model for training to participate in the Super-GIRD league of the All-Russian “Air Engineering School” [1].

The layout of the on-board compartment of a model is considered (Fig. 1) [2].

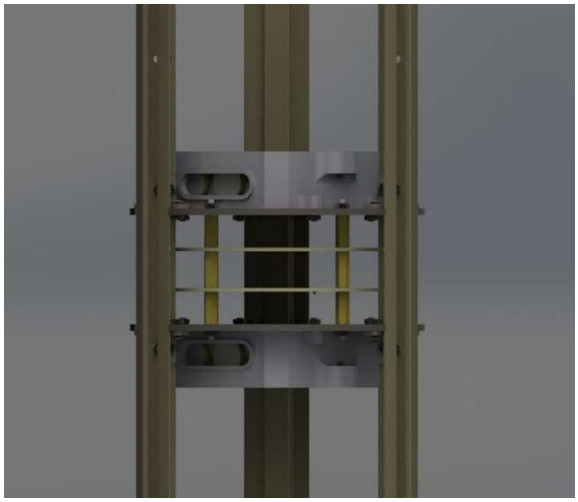


Figure 1 – Onboard compartment layout

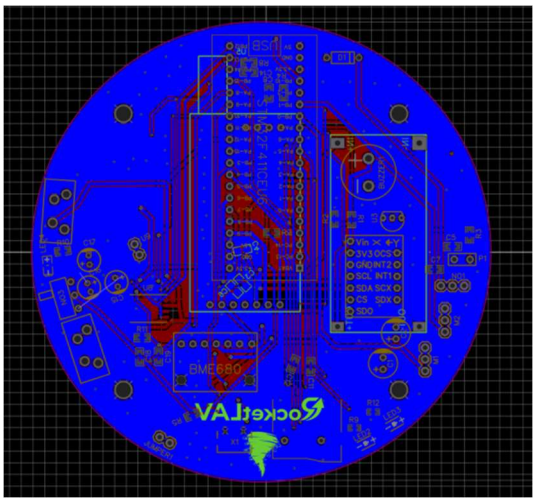


Figure 2 – The board of the “BURYA”

Next, an electronic unit consisting of two printed circuit boards was designed. The element base consists of 3 BME680 barometers and 3 GY-LSM6DS3 accelerometers for acceptable reliability and data completeness.

The boards are drawn inside the project (Fig. 2).

There are also two types of memory used on the board – sd card and flash memory. This is necessary to be able to capture flight data in case of emergency descent of the model.

References

1. CanSat Air Engineering School in Russia. – URL: https://roscansat.com (accessed: 03.05.2025) (in Russ.).

2. Dendobrenko, B.N. Automation of REA design / B.N. Dendobrenko, A.S. Malik // Textbook for universities. – Moscow: Vysh. school, 1980. – 174 p. (in Russ.).

УДК 629.051

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ КОНСТРУКТОРА МИНИАТЮРНЫХ РАКЕТ MINIROCKET

© Ануфриев Г.А., Яковлева П.С., Кумарин А.А.

e-mail: anufriev.g.a@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: космическое образование, STM32, электронный конструктор, конструктор миниатюрных ракет.

В настоящее время в сфере образовательной электроники популярны различные комплексные аппаратно-программные средства прототипирования электронных систем, например, Arduino. Однако для обучения школьников в сфере ракетомоделизма с дальнейшим участием в профильных чемпионатах [1] необходимы более узконаправленные платформы.

В частности, для области миниатюрных ракет [2] требуется максимально компактный формат электроники, одновременно с этим обеспечивающий измерения различных параметров полёта (давления, температуры, кажущегося ускорения, магнитного поля), сохранение данных на энергонезависимую память и передачу радиотелеметрии. Также необходима возможность запуска силовой нагрузки: электропривода для системы спасения, обеспечивающей выброс парашюта в нужный момент времени, или электрозапала, необходимого для запуска твердотопливного двигателя на безопасном расстоянии.

На основе данных требований была составлена структурная схема платы электроники на базе микроконтроллера STM32 (см. рис.); разработана принципиальная схема и печатная плата бортовой электроники.

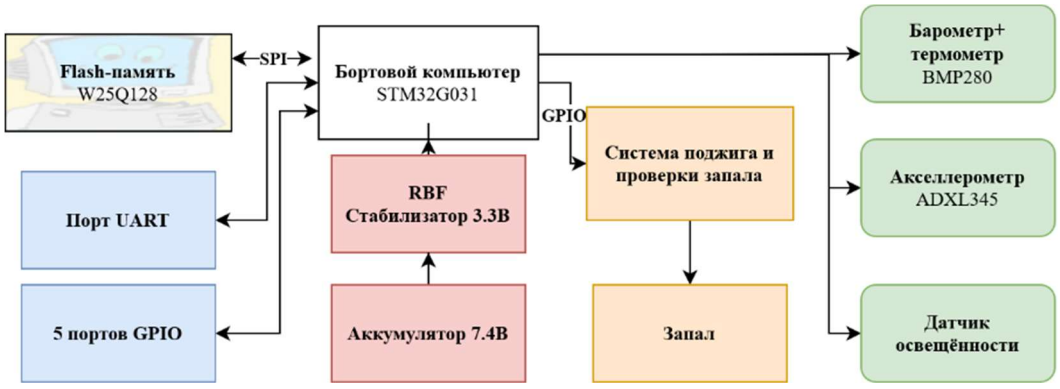


Рисунок – Структурная схема электроники

В ходе работы были изготовлены прототипы плат электроники, адаптирована среда разработки Arduino IDE для микроконтроллера STM32 и разработаны библиотеки для упрощения работы с датчиками. Также был создан сборник уроков по работе с данной платформой, позволяющий самостоятельно или в рамках занятий быстро освоить программирование микроконтроллера.

Разработанная система позволяет ускорить процесс разработки электроники для миниатюрной ракеты, её программирования и имеет возможности расширения функционала за счёт добавления дополнительных модулей. Первые прототипы были апробированы при работе со школьниками в рамках программы «Сириус.Лето: начни свой проект» и на Региональном Чемпионате Воздушно-Инженерной школы, где показали свой потенциал.

Библиографический список

1. Радченко, В.В. Проект «Воздушно-инженерная школа» / В.В. Радченко, И.А. Соболев, Н.Н. Веденькин // 40-е Академ. чтения по космонавтике. – 2015. – С. 307–308.

2. Яковлева, П.С. MINIROCKET: космодром на заднем дворе / П.С. Яковлева, Г.А. Ануфриев, А.А. Кумарин // Дорога в космос. – 2024. – С. 471.

УДК 612.176

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В СПОРТЕ

© Арсентьева А.И.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация

e-mail: anyaarsentyeva26@mail.ru

Научный руководитель: Тюрина М.М., канд. техн. наук, доцент
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева –КАИ, г. Казань, Российская Федерация

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, спорт, спортивная медицина.

В современном спорте, ориентированном на достижение максимальных результатов, особую важность приобретает задача контроля за функциональным состоянием организма спортсмена, в особенности, его сердечно-сосудистой системы (ССС). Электронные устройства мониторинга ССС позволяют получать оперативную и точную информацию о физиологических параметрах, что способствует оптимизации тренировочного процесса и снижению риска развития неблагоприятных последствий интенсивных физических нагрузок. Данная статья представляет собой анализ актуальности и перспектив применения таких устройств в спорте.

В процессе исследования данной темы был проведен систематический обзор российских научных публикаций. Исключались исследования, посвященные клиническим аспектам лечения сердечно-сосудистых заболеваний у неспортсменов.

Результат анализа публикаций выявил следующие основные направления исследований в области электронного мониторинга ССС в спорте:

Оценка функционального состояния ССС с использованием вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Ряд исследований [1–3] посвящен изучению возможностей анализа ВСР для оценки адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам, выявления признаков переутомления и перетренированности, а также прогнозирования спортивной работоспособности. Показано, что изменения показателей ВСР могут служить ранними проявлениями неблагоприятного воздействия интенсивных физических нагрузок на ССС.

Телеметрический мониторинг ССС в течение тренировочного процесса.

В настоящем время активно разрабатываются и внедряются телеметрические системы для мониторинга ЧСС, ЭКГ и других физиологических параметров спортсменов во время тренировок [4]. Эти системы позволяют получать информацию о реакции организма на различные виды нагрузок во время тренировок, что способствует индивидуализации тренировочного процесса и повышению его эффективности.

Диагностика нарушений сердечного ритма у спортсменов.

Некоторые исследования [5] посвящены изучению распространенности и особенностей нарушений ритма сердца у спортсменов, а также оценке эффективности различных методов их диагностики, включая холтеровское мониторирование ЭКГ и имплантируемые петлевые регистраторы. Отмечается важность своевременного выявления нарушений ритма, которые могут представлять угрозу для жизни спортсмена.

Оценка эффективности тренировочных программ на основе данных мониторинга ССС.

В ряде работ [6] представлены результаты оценки эффективности различных тренировочных программ на основе данных, полученных с использованием электронных устройств мониторинга ССС. Показано, что индивидуализация тренировочного процесса на основе мониторинга физиологических параметров позволяет достичь лучших результатов и снизить риск развития перетренированности.

Данные исследования подтверждают актуальность и перспективность применения электронных устройств мониторинга ССС в спортивной практике. Использование этих устройств позволяет получать ценную информацию о функциональном состоянии организма спортсмена, что способствует оптимизации тренировочного процесса, профилактике переутомления и своевременному выявлению патологических изменений. Однако, необходимо учитывать, что эффективность мониторинга зависит от правильного выбора устройств и индивидуального подхода к каждому спортсмену.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на:

• Разработку новых, более доступных и удобных в использовании устройств мониторинга ССС, адаптированных к потребностям спортсменов.

• Создание алгоритмов автоматизированного анализа данных и систем поддержки принятия решений для тренеров и спортивных врачей.

• Проведение масштабных клинических исследований для оценки эффективности различных стратегий мониторинга ССС в спорте и разработки практических рекомендаций по их применению.

Таким образом, электронные устройства мониторинга ССС являются важным инструментом в спортивной медицине. Описанные исследования демонстрируют их потенциал для оптимизации тренировочного процесса, профилактики переутомления и своевременного выявления сердечно-сосудистых заболеваний у спортсменов. Дальнейшее развитие этого направления и внедрение его результатов в практику спортивной подготовки позволит повысить уровень спортивных достижений и обеспечить безопасность профессиональных спортсменов.

Библиографический список

1. Шлык, Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: монография / Н.И. Шлык. – Ижевск: Удмуртский университет, 2009. – 259 с.

2. Баевский, Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности применения / Р.М. Баевский. – М.: Медицина, 2002. – 28 с.

3. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца: новый взгляд на старую парадигму / В.М. Михайлов. – Иваново: Изд-во ИГМА, 2017. – 516 с.

4. Полевая, С.А. Телеметрические и информационные технологии в диагностике функционального состояния спортсменов / С.А. Полевая, Е.В. Рунова, М.М. Некрасова [и др.] // Современные технологии в медицине. – 2012. – № 4. – С. 94–98.

5. Шилова, М.А. Внезапная сердечная смерть лиц молодого возраста: факторы риска, причины, морфологические эквиваленты / М.А. Шилова // Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. – 2015. – № 6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnezapnaya-serdechnaya-smert-lits-molodogo-vozrasta-faktory-riska-prichiny-morfologicheskie-ekvivalenty (дата обращения: 19.06.2025).

6. Будагаев, Д.С. Подготовка лыжников-гонщиков в соревновательном периоде с использованием анализа вариабельности сердечного ритма / Д.С. Будагаев, В.Ю. Лебединский, А.В. Вайнер-Кротов // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. – 2012. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-lyzhnikov-gonschikov-v-sorevnovatelnom-periode-s-ispolzovaniem-analiza-variabelnosti-serdechnogo-ritma (дата обращения: 19.06.2025).

УДК 629.7.05

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ СПЕКТРОМЕТРА АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА

© Бухвалов А.И., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: aleck.buxvaloff@yandex.ru

Ключевые слова: фоторезистор, спектрометр, система наведения, мультиплексор, шаговый двигатель.

В рамках чемпионата «Воздушно-инженерной школы» участники создают свои атмосферные аппараты, которые в дальнейшем запускаются на малогабаритных ракетах. Для создания одного из таких аппаратов, изучающего Солнце, возникла необходимость в разработке алгоритма и системы управления ориентацией прибора, изучающего спектр излучения Солнца, с помощью фоторезисторов.

Целью данной работы является разработка системы наведения спектрометра атмосферного аппарата на Солнце.

Существуют различные способы определения ориентации в пространстве. В данной работе был выбран вариант определения углового положения аппарата относительно Солнца, с помощью фоторезисторов, а поворот спектрометра осуществлять с помощью шагового двигателя [1; 2].

В связи с большим количеством датчиков освещённости было принято решение о создании отдельной платы для их интеграции в основной стек бортовых систем, а также для управления шаговым двигателем, к которому крепится спектрометр. 3D-модель и схема платы представлены на рисунках 1 и 2.

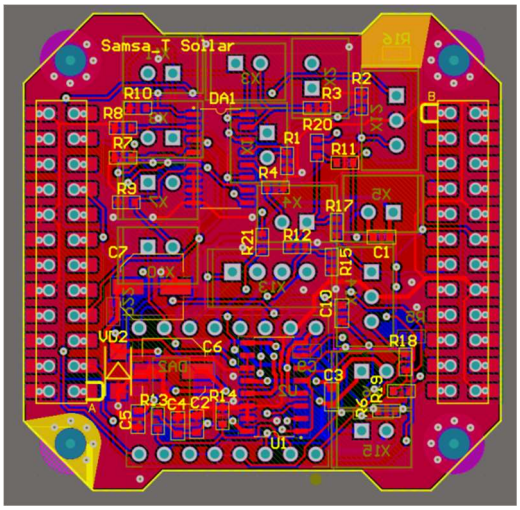


Рисунок 1 – Схема платы

Рисунок 2 – 3D-модель платы

Бортовая электроника основана на конструкторе пикоспутника MiniSat. Печатные платы бортовых систем стека имеют размеры 48x48мм и специализированную 48-выводную шину для электрического подключения плат между собой.

Одной из проблем оказалось недостаточное количество доступных в шине выводов микроконтроллера с функцией аналоговых измерений для одновременного

анализа данных со всех фоторезисторов. Эта проблема была решена путём использования внешнего мультиплексора CD4051, чья принципиальная схема подключения представлена на рисунке 3.

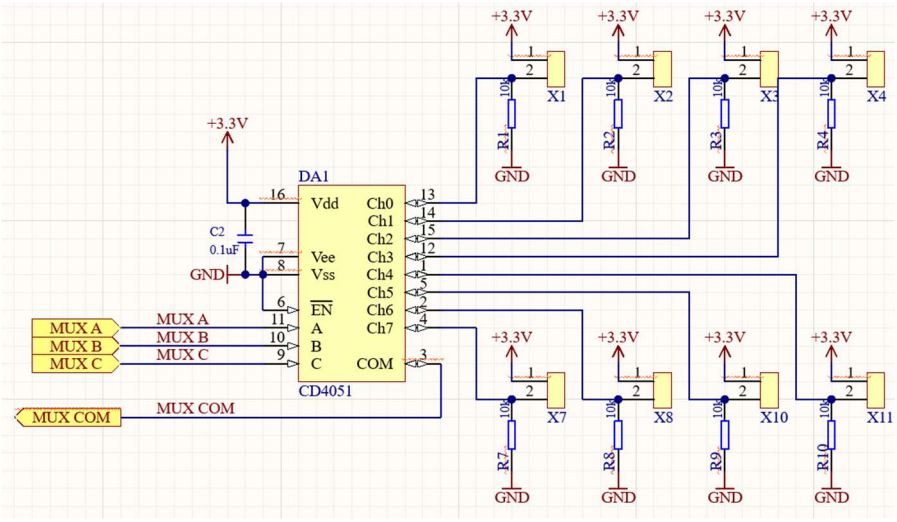


Рисунок 3 – Принципиальная схема подключения мультиплексора и фотодатчиков

Схема подключения каждого фоторезистора была представлена в виде делителей напряжения. Где сам фотодатчик расположен в верхнем плече.

Для сбора для дальнейшего анализа данных с фоторезисторов использовались 3 входа управления, с помощью которых последовательно переключались внутренние ключи в мультиплексоре. Показания на соответствующем выводе с делителя напряжения отправляются через вывод MUX COM на вывод аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера в составе бортового компьютера аппарата.

Микроконтроллер принимает показания с каждого датчика, из полученного массива находит максимальное значение, а далее формирует управляющий сигнал на драйвер шагового двигателя.

Поворот самого спектрометра на соответствующий угол осуществлялся с помощью шагового двигателя 28BYJ, который подключался через специализированный драйвер A4988.

Испытания показали, что плата успешно функционирует и спектрометр автоматически поворачивается в направлении наибольшей интенсивности света.

Таким образом, в рамках данной работы была спроектирована и реализована плата системы автоматического наведения на свет для атмосферного аппарата для исследования Солнца. Электроника в составе аппарата планируется к летным испытаниям в рамках чемпионата «Воздушно-инженерная школа».

Библиографический список

1. Электроника конструктора для чемпионата CANSAT / В.А. Ягубян, А.В, Ищанов, Ю.О. Королихина, А.Г. Черняев, А.А. Кумарин // XV Королевские чтения: междунар. молодеж. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова: сб. тр. (8–10 окт., г. Самара, 2019). – Самара, 2019. – Т. 1. – С. 429.

2. Открытая документация на конструктор пикоспутника MiniSat. – URL: gitlab.com/minisat (дата обращения: 16.06.2025).

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

© Вершинин Д.А., Серко П.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: demid.vershinin2018@yandex.ru

Научный руководитель: Акулов С.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: электрокардиография, фотоплетизмограмма, пульсовая волна, Python, обработка сигналов.

В статье приводится описание разработанного программного кода для обработки ЭКГ-сигнала и фотоплетизмограммы, написанного на языке программирования Python. Приведен основной алгоритм обнаружения R-зубцов электрокардиограммы (ЭКГ), максимумов фотоплетизмограммы (ФПГ) и расчета временной задержки между ними.

Исследование распространения пульсовой волны (ПВ) играет важную роль в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы. Скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) связана с жёсткостью артерий и может служить индикатором риска развития гипертонии, атеросклероза и других нарушений [1].

Разработано устройство для синхронной регистрации электрокардиографии и фотоплетизмограммы, включающее в себя следующие компоненты:

Структурная схема разработанного устройства приведена на рисунке 1.

1. Модуль AD8232 – предназначен для регистрации ЭКГ.
2. Модуль XD-58C – предназначен для регистрации ФПГ.
3. Микроконтроллер Arduino Nano – предназначен для аналого-цифрового преобразования и передачи данных на ПК.

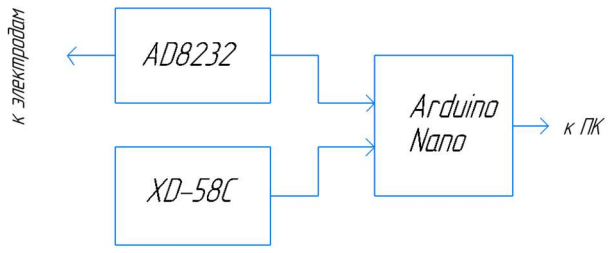


Рисунок 1 – Структурная схема регистратора ЭКГ-сигнала и ФКГ-сигнала

В настоящее время для обнаружения R-зубцов существует ряд алгоритмов:

1. Алгоритм Пана-Томпкинса – этот алгоритм основан на анализе наклона, амплитуды и ширины QRS комплексов и состоит из последовательности фильтров и методов [2].

2. Алгоритмы, основанные на производной – используют первую и вторую производные сигнала ЭКГ для усиления крутых участков, соответствующих R-зубцам [3].

3. Метод, основанный на подсчете числа пересечений нуля – основан на функции, полученной при подсчете числа пересечений нуля на ЭКГ-сегмент [3].

4. Корреляционный алгоритм – использует функцию взаимной корреляции между эталонным QRS-комплексом и сигналом ЭКГ [4].

Разработанная авторами программа включает в себя следующие этапы:

1. Прием данных – чтение сигналов ЭКГ и ФПГ через последовательный порт ПК.

2. Обнаружение пиковых значений – использование функции find_peaks, из библиотеки SciPy, которая в качестве основных аргументов принимает пороговое значение, массив данных, и минимальную дистанцию между пиками. Алгоритм анализирует сигнал и сопоставляет значения соседних точек. Если значение точки превышает значения соседних точек, то она считается пиком.

3. Расчет задержки – определение временной разницы между соседними пиками, вывод на экран и запись в txt-файл значений временной задержки с дальнейшим расчетом скорости распространения пульсовой волны.

4. Отображение сигналов в реальном времени при помощи библиотеки Matplotlib.

Разработанный алгоритм приведен на рисунке 2.

```
if len(ecg_data) > MIN_DISTANCE:
    ecg_peaks_indices, _ = find_peaks(ecg_data,
                                      height=ECG_PEAK_THRESHOLD,
                                      distance=MIN_DISTANCE)
    ecg_peaks = [(time_data[i], ecg_data[i]) for i in ecg_peaks_indices]

    pulse_peaks_indices, _ = find_peaks(pulse_data,
                                        height=PULSE_PEAK_THRESHOLD,
                                        distance=MIN_DISTANCE)
    pulse_peaks = [(time_data[i], pulse_data[i]) for i in pulse_peaks_indices]

    if ecg_peaks and pulse_peaks:
        last_ecg_time = ecg_peaks[-1][0]
        last_pulse_time = pulse_peaks[-1][0]
        last_delay = last_pulse_time - last_ecg_time
        delay_text.set_text(f'Задержка: {last_delay:.1f} мс')
```

Рисунок 2 – Листинг программного кода

Разработанное программное обеспечение было протестировано на сигналах из базы данных Physionet, погрешность измерения скорости распространения пульсовой волны составила менее 5 %.

Библиографический список

1. Laurent, S. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / S. Laurent, J. Cockcroft, L. Van Bortel, P. Boutouyrie, C. Giannattasio, D. Hayoz, B. Pannier, C. Vlachopoulos, I. Wilkinson, H. Struijker-Boudier // European Heart Journal. – 2006. – Vol. 27, № 21. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehl254.

2. Ziti, F. Analysis of Pan-Tompkins Algorithm Performance with Noisy ECG Signals // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1532. – Art. № 012022. – DOI: 10.1088/1742-6596/1532/1/012022.

3. Рослякова, А.В. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения R-зубца электрокардиосигнала / А.В. Рослякова, П.Г. Чупраков // Вятский медицинский вестник. – 2012. – № 2.

4. Жаринов, О.О. Применение корреляционно-экстремального метода для решения задач обнаружения и оценивания положений опорных точек QRS-комплексов в электрокардиограмме / О.О. Жаринов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 5 (75).

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ И ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ

© Вершинин Д.А., Серко П.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Акулов С.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: demid.vershinin2018@yandex.ru

Ключевые слова: электрокардиограмма, фотоплетизмограмма, пульсовая волна.

В статье приводится описание разработки устройства регистрации электрокардиограммы и фотоплетизмограммы, состоящего из специализированного модуля AD8232 фирмы Analog Devices, модуля XD-58C и платформы Arduino Nano. Приведена структурная схема, основные характеристики разработанного устройства и результаты проведенных испытаний.

Исследование параметров гемодинамики играет важную роль при ранней диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы. Параметры электро-кардиограммы несут важную количественную информацию о синхронной работе отделов сердца, в то время, как параметры фотоплетизмограммы используются при оценке состояния сосудистого русла крупных сосудов [1].

Одним из таких показателей является скорость распространения пульсовой волны, процесс измерения которой состоит из следующих процедур:

– регистрация ЭКГ и ФПГ

– оцифровка сигналов при помощи микроконтроллера;

– вывод сигналов через последовательный порт на экран/монитор;

– обработка сигнала и вычисление временной задержки между R-зубцом и максимумом пульсовой волны.

В качестве ключевых требований к аппаратуре регистрации вышеуказанных сигнлов можно выделить высокую степень интеграции компонентов, малые габаритные размеры, низкое энергопотребление и малый уровень шумов [2].

Были проанализированы ряд схемотехнических решений с учетом выделенных требований. При построении канала регистрации ЭКГ был сделан выбор в пользу модуля AD8232 Analog Devices. AD8232 – это интегрированный блок обработки сигналов для ЭКГ. Он предназначен для регистрации, усиления и фильтрации биопотенциалов в условиях помех, например, вызванных движением или удалённым расположением электродов. Используемый в работе модуль XD-58C – это оптический датчик сердечного ритма (пульсометр), построенный на принципе отраженной фотоплетизмографии. В качестве контроллера была выбрана платформа Arduino Nano с процессором Atmega328 (аналоговый вход – 10 разрядный АЦП).

Структурная схема разработанного устройства приведена на рисунке 1.
Устройство состоит из модуля AD8232, состоящего из 3-полюсного ФНЧ, подавляющего высокочастотные шумы мышечного сокращения, 2-полюсного ФВЧ, устраняющего артефакты движения, встроенного фильтра ВЧ, опорного генератора, подавляющего дополнительные помехи, выходного буфера и инструментального усилителя с коэффициентом подавления синфазного сигнала 80 дБ и 3 отводов для электродов.

Модуль XD-58C состоит из зеленого светодиода, фотодиода, операционного усилителя, усиливающего слабый сигнал с фотодиода и ФНЧ.

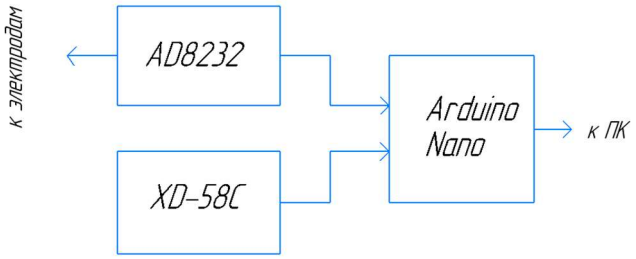


Рисунок 1 – Структурная схема регистратора ЭКГ-сигнала и ФКГ-сигнала

Микроконтроллер обеспечивает аналого-цифровое преобразование и передачу дискретизированного сигнала через последовательный порт на ПК.

Питание осуществляется от батареи из двух аккумуляторов LitoKala ёмкостью 3200 мАч с выходным напряжением 7.4 вольта.

Разработанное устройство полностью удовлетворяет заданным техническим требованиям.

Разработанное устройство показано на рисунке 2.

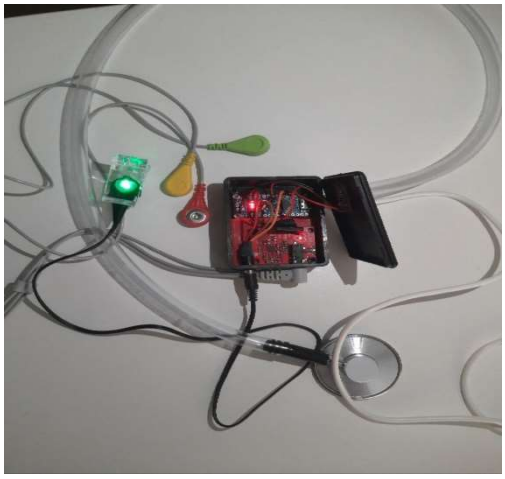


Рисунок 2 – Разработанной устройство

В ходе испытаний были получены стабильные сигналы ЭКГ и ФПГ с частотой дискретизации 100 Гц. Проведены измерения задержки распространения пульсовой волны у группы испытуемых: 6 человек в возрасте 19 – 20 лет, датчик пульса располагался на верхней фаланге указательного пальца. Уровни шумов каналов ЭКГ и ФПГ составили менее 30 и 50 мкВ соответственно.

Библиографический список

1. Laurent, S. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / S. Laurent, J. Cockcroft, L. Van Bortel, P. Boutouyrie, C. Giannattasio, D. Hayoz, B. Pannier, C. Vlachopoulos, I. Wilkinson, H. Struijker-Boudier // European Heart Journal. – 2006. – Vol. 27, № 21. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehl254.

2. Karimpour, P. Photoplethysmography for the Assessment of Arterial Stiffness / P. Karimpour, J.M. May, P.A. Kyriacou // Sensors (Basel). – 2023. – Vol. 23, № 24. – DOI: 10.3390/s23249883.

УДК 621.314

ЭЛЕКТРОНИКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ МАНЕВРИРОВАНИЯ НАНОСПУТНИКА

© Соборницкая А.Н., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: altSobor@yandex.ru

Ключевые слова: наноспутник, CubeSat, суперконденсаторы, балансировка суперконденсаторов, блок маневрирования.

Миниатюризация космических аппаратов привела к широкому распространению наноспутников различного назначения [1]. Необходимо создание компактных, надежных и эффективных электронных систем управления, обеспечивающих точное выполнение функций ориентации и стабилизации аппарата в космосе. Двигательная установка в рамках аппарата формата CubeSat позволяет корректировать орбиту для сведения с орбиты отработавшего свой ресурс аппарата или выполнении группового полета.

Цель работы была разработка электроники для системы управления блоком маневрирования наноспутником, которая могла бы заряжать суперконденсатры, управлять процессом нагрева и осуществлять мониторинг систем. На рисунке представлена общая структурная схема.

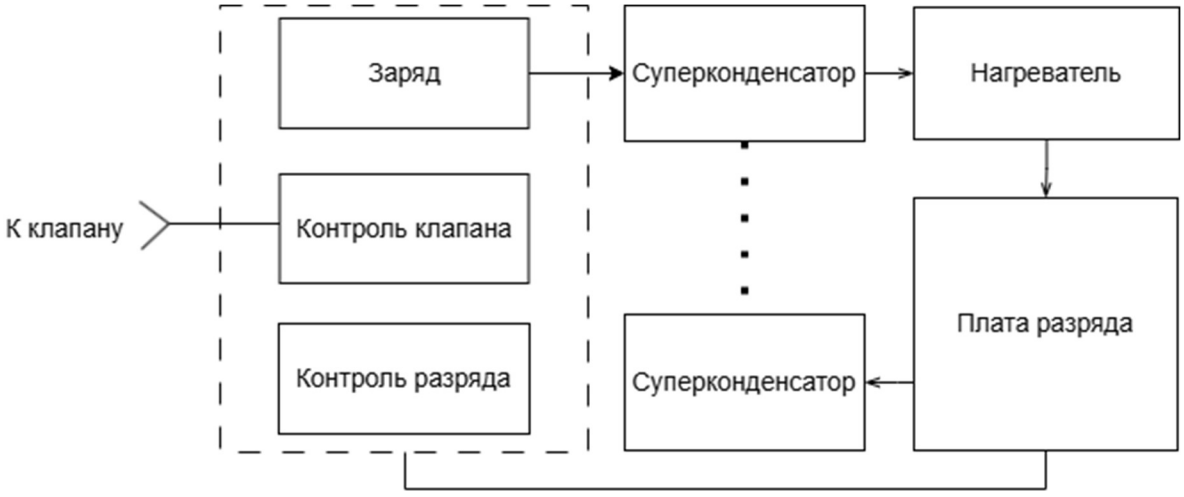


Рисунок – Общая структурная схема управления блоком маневрирования наноспутником

Система делится на две отдельные печатные платы. Суперконденсаторы и нагреватель подключаются к плате управления разрядом. Система управляется микроконтроллером, который взаимодействует с бортовым компьютером спутника по интерфейсу I2C. Микроконтроллер управляет открытием клапана, процессом заряда батареи суперконденсаторов, измерением напряжения на каждом из них и их разрядом на нагреватель в режиме предварительного нагрева и полного разряда. При этом каждый из суперконденсаторов обладает индивидуальной системой балансировки с

контролем напряжения и возможностью отключения конденсатора от зарядной цепи с и без участия микроконтроллера [2].

В рамках работы была разработана электроника для управления блоком маневрирования.

Библиографический список

1. Cubesat design specification // CubeSat Program, Calif. Polytech. State. – 2004. – Vol. 8651, № June. – P. 22.

2. Kulu, E. CubeSats & Nanosatellites – 2024 Statistics, Forecast and Reliability / E. Kulu // Int. Astronaut. Congr. (IAC 2024). – 2024. – Vol. C, № October. – P. 14–18.

УДК 629.7.05

АТМОСФЕРНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

© Фурсин И.А., Полубояринов В.М., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nil@nilsidik.art

Ключевые слова: оптическая связь, атмосферный аппарат, передача данных.

В рамках чемпионата «Воздушно-инженерной школы» участники создают свои атмосферные аппараты, которые в дальнейшем запускаются на малогабаритных ракетах. Одним из требований к спутникам была передача данных с датчиков, но у классического способа через радиоволны есть недостатки: наличие значительного количества внешних источников помех, особенно при работе в радиолюбительском диапазоне частот, и относительно небольшой дальности связи при разрешенной мощности передачи. Для решения этой проблемы была выбрана полезная нагрузка в виде блока передачи данных с помощью оптического сигнала.

В данной работе представлены результаты разработки и летных испытаний аппарата. Бортовая электроника сделана на основе конструктора пикоспутников MiniSat [1]. Полезная нагрузка была спроектирована и изготовлена полностью самостоятельно и крепится в нижней части спутника. Топология разработанной печатной платы, 3D-модель крпеления, изготовленная плата и собранный модуль представлены на рисунках 1–4.

Печатная плата была изготовлена методом избирательного испарения паяльной маски с помощью лазерного маркера и дальнейшего травления открытых участков меди с помощью раствора персульфата аммония.

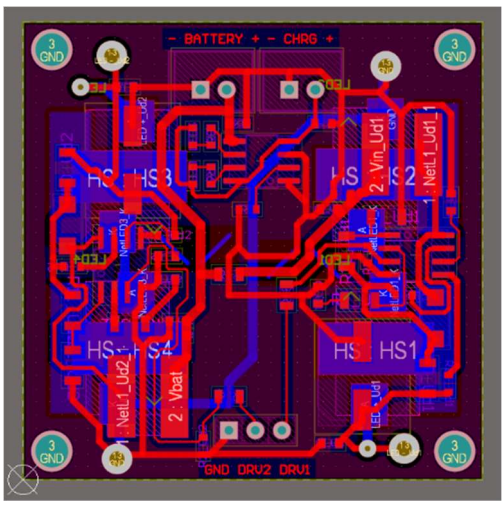


Рисунок 1 – Схема платы

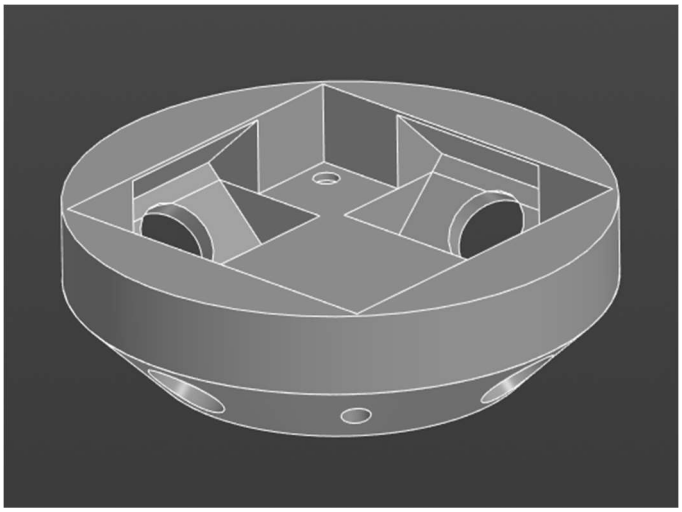


Рисунок 2 – 3D-модель крепления

Передача данных осуществляется с помощью настраиваемой модуляции яркости и частоты светодиодов. В данной работе применялась азбука Морзе, однако система позволяет осуществлять и другие модуляции, в том числе и на более высоких частотах, не воспринимаемых человеком без специализированных приборов. Прием данных

производится с помощью оптических систем или даже невооруженным глазом. В данной работе использовался компактный телескоп и камера смартфона. В полете система оптопередачи отключена до момента, когда спутник вылетит из ракеты-носителя и достигнет апогея полета. Яркость светодиодов была подобрана так, чтобы свет от них был заметен на небе даже днем. Так как система потребляет большое количество энергии, в блок оптопередачи был установлен отдельный аккумулятор. Мигание светодиодов может использоваться не только для передачи данных, но и для поиска аппарата после полета [2].

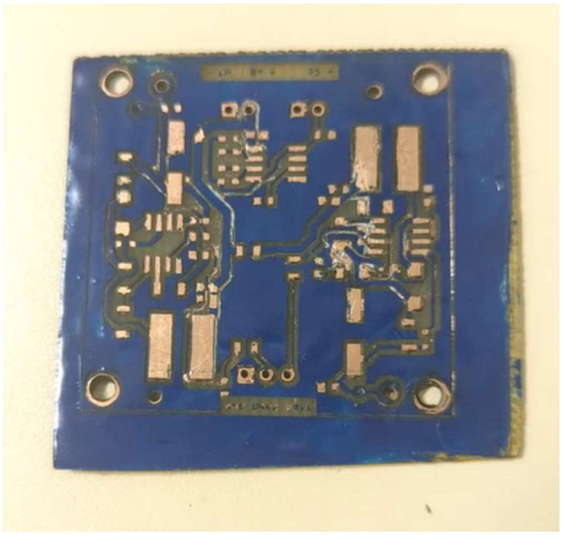


Рисунок 3 – Вытравленная плата

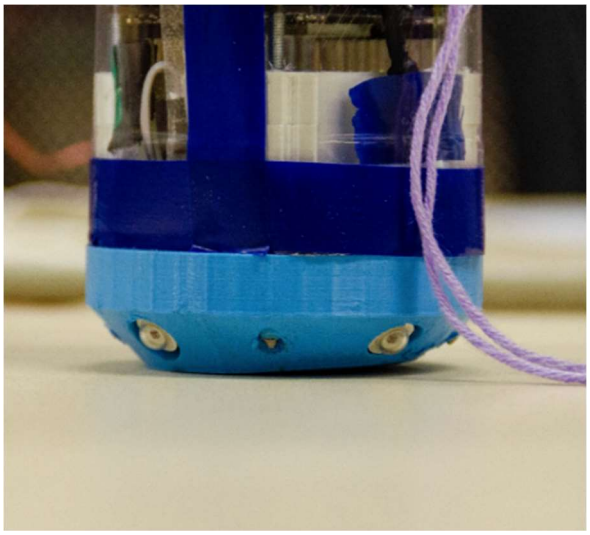


Рисунок 4 – Модуль в сборе

На данный момент был проведен успешный запуск аппарата в рамках всероссийского этапа «Воздушно-инженерной школы». Во время полета было записано видео, а после расшифрованы переданные данные. В качестве тестовых данных передавалась фиксированная фраза SG love. Пример расшифровки представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Пример расшифровки

Испытания показали, что аппарат и *система оптической передачи* успешно функционирует и данные удается расшифровать. Таким образом, в рамках данной работы был спроектирован и реализован аппарат с системой оптической передачи данных.

Библиографический список

1. Яковлева, П.С. Разработка экспериментальной ракеты для вывода малых ракет и атмосферных спутников на высоту свыше 400 метров / П.С. Яковлева, Г.А. Ануфриев, А.А. Кумарин // Труды XVI Общероссийской молодёжной научно-технической конференции, приуроченной к 90-летию Юрия Алексеевича Гагарина: в 4 т. – СПб., 2024. – Т. 1. – С. 220–224.

2. Открытая документация на конструктор пикоспутника MiniSat. – URL: gitlab.com/minisat (дата обращения: 16.06.2025).

Секция 8
Информационные технологии и анализ данных

УДК 004.89

УДАЛЕНИЕ ТЕНЕЙ С АЭРОФОТОСНИМКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

© Альгашев Г.А., Кремущенко П.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: polinakremuschenko@gmail.com

Ключевые слова: обнаружение теней, удаление теней, компьютерное зрение, нейронные сети, свёрточные сети.

Аэрофотосъёмка широко применяется в задачах мониторинга окружающей среды, картографии, сельского хозяйства и градостроительства. Однако одним из ключевых препятствий для автоматизированной обработки таких изображений являются тени, возникающие от зданий, деревьев и облаков. Особенно критично это для беспилотных летательных аппаратов, где качество данных напрямую влияет на эффективность аналитических моделей [1]. Проблема усугубляется вариативностью освещения, угла падения солнечных лучей и сложностью рельефа, что приводит к появлению ложных или частичных теней, а также к снижению точности существующих алгоритмов анализа изображений [2].

Классические методы устранения теней базируются на преобразованиях яркости, использовании цветовых моделей, например HSV и YCbCr, анализе гистограмм и морфологических операциях. Такие подходы недостаточно устойчивы к сложным структурам теней, характерным для аэрофотоснимков.

Современные методы используют компьютерне зрение и глубоке обучение. В начале каждому пикселю присваивается метка «тень»/«не тень», для этого применяются сверточные нейронные сети, а также специализированные модели, такие как U-Net или модифицированные версии YOLO [3]. После сегментации тени удаляются с помощью генеративных моделей, среди них – архитектуры на основе генеративных состязательных сетей GAN, модели восстановления цвета, например CDNet, а также современные решения для генеративного инпейнтинга: LaMa и generative_inpainting.

В данной работе предлагается следующий подход к удалению теней с аэрофотоснимков:

1. Детектированние теней: используется модель yolov8s-seg, обученная на кастомном датасете. Эта модель позволяет выделить точные контуры теневых областей на изображении, формируя бинарную маску «тень»/«не тень». Такой подход обеспечивает высокую скорость и точность детекции даже на изображениях высокого разрешения.

2. Генеративное восстановление: для восстановления информации в области тени применяются современные генеративные модели инпейнтинга – LaMa и generative_inpainting. Эти модели способны не только корректировать цвет, но и восстанавливать текстурные детали, "дорисовывая" скрытые за тенью объекты и поверхности. LaMa использует архитектуру, которая позволяет ей генерировать реалистичные детали даже на больших участках. Generative_inpainting основана на глубоких сверточных сетях с механизмами контроля глобального контекста, что важно для восстановления сложных структур.

В дополнение к описанному подходу были рассмотрены и более простые методы удаления объектов с изображения, такие как histogram matching и инпейтинг из библиотеки OpenCV (cv2).

Метод histogram matching заключается в выравнивании гистограмм цветовых каналов затенённой области с гистограммами соседних незатенённых участков, что позволяет частично скорректировать цветовые и световые искажения теней.

Инпейтинг из cv2 реализует заполнение выделенных масок с помощью алгоритмов на основе диффузии или телескопического инпейнтинга, восстанавливая текстуру и цвет на основе информации из окружающих пикселей.

Результаты применения histogram matching и cv2 inpainting представлены на рисунке, где видно ограниченное качество восстановления по сравнению с генеративными моделями.

Удаление теней с аэрофотоснимков – актуальная и технологически сложная задача, от решения которой зависит качество последующего анализа данных. Классические методы уступают по гибкости и точности современным нейросетевым подходам, основанным на семантической сегментации и генеративном инпейнтинге. Интеграция моделей сегментации, например YOLOv8s-seg с передовыми генеративными архитектурами LaMa иди generative_inpainting позволяет не только эффективно обнаруживать и устранять тени, но и восстанавливать скрытые детали изображения (смю рис.).



Рисунок – Удаление тени с помощью простых методов
а) inpaint (OpenCV); б) histogram matching

Таким образом, представленный комбинированный подход, интегрирующий высокоточную сегментацию теней с помощью YOLOv8s-seg и их последующее генеративное восстановление моделями LaMa или generative_inpainting, демонстрирует значительный потенциал для решения сложной задачи удаления теней с аэрофотоснимков. В отличие от классических методов, таких как histogram matching или cv2.inpainting, которые часто дают лишь частичную коррекцию цвета и текстуры, современные генеративные модели способны воссоздавать реалистичные детали и структуры, скрытые тенью, существенно повышая информативность изображения.

Библиографический список

1. Алексейчук, А.С. Применение сверточных нейронных сетей в задаче устранения теней с фотографии / А.С. Алексейчук, Ю.Д Мукин. – М.: Московский авиационный институт, 2024. – Т. 14, № 1. – С. 41–51.

2. Бочаров, Д.А. Алгоритм детекции и компенсации теней от облаков на мультиспектральных спутниковых снимках для местностей сельскохозяйственных угодий / Д.А. Бочаров, Д.П. Николаев, М.А. Павлова, В.А. Тимофеев. – М.: Российская академия наук, 2021. – Т. 21, №4. – С.295-312.

3. Ultralytics, YOLO Docs: instance segmentation. – URL: https://docs.ultralytics.com/ru/tasks/segment.

УДК 004.032.2

МОДЕЛЬ ТРАФИКА СЕМАНТИЧЕСКОГО КЭША В ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ

© Батыршина Я.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Гребешков А.Ю., д-р техн. наук, доцент
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yana.borovskaya.98@mail.ru

Ключевые слова: информационно-ориентированная сеть, контент, коррелированный трафик, система массового обслуживания.

В данной работе исследуется концепция распространения контента в информационно-ориентированной сети (ИОС) (Information Centric Network, ICN) [1]. ИОС является новой парадигмой для описания современных телекоммуникаций, где сетевое взаимодействие осуществляется на основе контента. Концепция ИОС позволяет автоматически кэшировать контент в любом месте сети, независимо от приложения конечного пользователя благодаря облачным технологиям и распределенной обработке данных. Контент в рассматриваемой предметной области есть совокупность семантически определенных данных, которые имеют содержательный смысл, и связаны с определенной формой представления, например данные в бинарной форме, в текстовой форме, если речь идет о сенсорных данных или телеметрия. В работе рассматривается проблема анализа динамики распространения контента для обеспечения единого ситуационного информирования с помощью сенсорной сети.

В предлагаемой информационной модели ИОС любое устройство, которое распознает запрос контента, может ответить на запрос, прежде всего, из своей кэшированной памяти, в которой хранится информация с актуальным статусом. Актуальность определяется либо временем поступления данных, либо важностью объекта контроля и управления, либо уникальностью полученной информации. При этом речь идет, прежде всего, о семантическом кэше, под которым понимается совокупность ранее обработанных запросов и соответствующих данных с учетом онтологии предметной области, в рамках которой обрабатывается информация. Другими словами, в семантическом кэше данные соотносятся с условным семантическим ядром, на основе которого делается вывод прежде всего об уникальности либо тривиальности имеющейся информации. При этом семантический кэш как общая информационная модель физически не хранится на определенном узле, а может быть абстрагирован, то есть назначаться цифровому двойнику узла на удаленной облачной или цифровой платформе. Конкретно на узле физически хранятся определенные параметры объектов контроля, то есть значения атрибутов концептов предметной онтологии.

Благодаря взаимодействию с внешней средой любое устройство может стать источником контента, прежде всего уникального т.е. по которому либо отсутствуют запросы в кэш-памяти, либо отсутствует концепт в онтологии, либо значение атрибута концепта находится за пределами граничной оценки. Поэтому для моделирования трафика в процессе управления распространением контента в ИОС используется трех компонентная модель распределения узлов сети, учитывающая роль каждого узла – «Источник информации – Распределитель информации – Получатель информации» [2] (см. рис.).

Наименование контента	Показания источника информации X_i	Событие Y_i
Content1	Показание1	Событие1
Content2	Показание2	Событие2
Content3	Показание3	Событие3

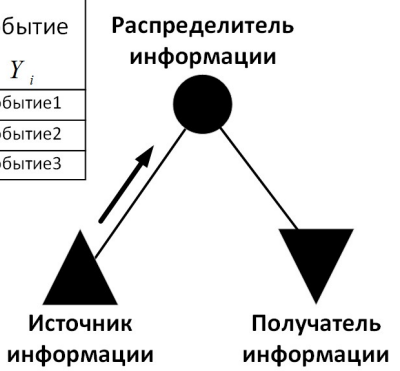


Рисунок – Модель коррелированного трафика контента

Узлы данной модели могут быть представлены как система массового обслуживания (СМО) [2], позволяющая учесть корреляцию во входном потоке контента. В такой модели трафик контента ИОС рассматривается как взаимно коррелированный с актуальным событием [3].

Актуальное или уникальное событие есть значимое событие для ИОС, содержательно классифицированное в рамках онтологии, прежде всего, как критическая ситуация (отказ), которая по своей природе (семантической аннотации [4]) требует срочного и неотложного информирования корреспондирующих узлов ИОС об объекте наблюдения и (или) управления. В процессе рассматриваемого обмена возникает сетевой трафик, который порожден актуальным или уникальным событием – трафик, коррелированный с первоначальным событием, который необходимо занести в семантическую кэш-память узлов сети на пути его маршрутизации от источника до получателя информации, причем получателем может быть в пределе неограниченное количество узлов. Контент, который не был порожден актуальным событием, но уже находится в семантической кэш-памяти узлов на пути следования контента, должен быть удален из кэша как неактуальный.

В рамках аналитической модели, факт существования или отсутствия линейной зависимости между двумя величинами (в данном случае между контентом и актуальным событием) характеризуется коэффициентом корреляции Пирсона:

$$r = \frac{\sum z_{X_i} z_{Y_i}}{n-1}, \tag{1}$$

где z_{X_i}, z_{Y_i} – z-оценки (переменная, соответствующая количеству стандартных отклонений относительно среднего значения); n – кол-во контента, порожденного актуальным событием.

$$z_{X_i} = \frac{X_i - \overline{X}}{s_X} \tag{2}$$

$$z_{Y_i} = \frac{Y_i - \overline{Y}}{s_Y}, \tag{3}$$

где $\overline{X}$, $\overline{Y}$ – математическое ожидание появления актуального или уникального события/контента; s_X, s_Y – стандартное отклонение.

В дальнейшем предлагаемая модель порождения актуального или уникального события/контента будет дополнена моделью распространения контента, отражающей динамику распространения контента по сети ИОС.

Библиографический список

1. Recommendation Y.3075. Requirements and capabilities of information-centric networking routing and forwarding based on control and user plane separation in IMT-2020. – ITU-T, September 2020. – Geneva, 2020. –18 p.

2. Батыршина, Я.А. Основные элементы при распределении коммуникационных ресурсов сенсорной сети / Я.А. Батыршина // XXVI Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций»: сб. науч. ст. – Самара: ПГУТИ, 2024. – С. 120–121.

3. Вишневский, В.М. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях / В.М. Вишневский, А.Н. Дудин, В.И. Клименок. – М.: Техносфера, 2018. – 564 с.

4. Гребешков, А.Ю. Метод обеспечения семантической интероперабельности при обработке сенсорных данных / А.Ю. Гребешков, Я.А. Батыршина // Вестник Поволжского государственного технологического университета Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». – 2024. – № 4 (64). – С. 6–18.

УДК 004.93

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ И ПОДСЧЕТА ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

© Буланов В.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: vadim.bulanov@yandex.ru

Научный руководитель: Золотовицкий А.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: компьютерное зрение, YOLO, Faster R-CNN, RT-DETR, распознавание объектов.

Методы компьютерного зрения (CV) в последние годы демонстрируют бурное развитие и находят всё более широкое применение в разнообразных профессиональных сферах – от промышленной автоматизации и контроля качества продукции до медицинской диагностики, интеллектуальных транспортных систем и систем обеспечения безопасности. Одним из приоритетных направлений является распознавание объектов и оценка их количественных характеристик на изображениях и в видеопотоках в реальном времени.

В рамках проведённого исследования был выполнен подробный анализ существующих математических, естественно-научных и инженерных методов компьютерного зрения, включая классические алгоритмы (оптический поток, SIFT, SURF), методы машинного обучения (SVM, Random Forest), а также современные нейросетевые архитектуры, такие как сверточные нейронные сети (CNN), одноступенчатые модели типа YOLO [1], двухэтапные архитектуры (Faster R-CNN) и трансформерные решения (RT-DETR) [2].

В ходе эксперимента с использованием Python-скриптов, фреймворков PyTorch и OpenCV была разработана тестовая система. Для обеспечения корректного сравнения модели запускались в единых условиях с использованием GPU. По результатам сравнительных испытаний установлено, что оптимальной моделью для задач реального времени и систем видеонаблюдения является YOLOv11. Модель YOLOv8m показала сопоставимые результаты и чуть больший средний показатель по числу детекций. Архитектура RT-DETR-L демонстрирует хороший баланс между точностью и скоростью при анализе сложных сцен, а модель Faster R-CNN сохраняет преимущества в задачах, где критически важна высокая точность локализации, но допускается оффлайн-обработка.

Отдельно проанализированы этапы обучения выбранных моделей, их потребности в вычислительных ресурсах и особенности интеграции в программные комплексы. На основе полученных результатов сформулированы практические рекомендации по выбору моделей компьютерного зрения для различных сценариев применения с учётом ограничений вычислительной инфраструктуры и требований к скорости отклика.

Библиографический список

1. Redmon, J. YOLOv3: An Incremental Improvement / J. Redmon, A. Farhadi // arXiv preprint arXiv:1804.02767. – 2018. – 25 с.

2. Carion, N. End-to-End Object Detection with Transformers / N. Carion, F. Massa, G. Synnaeve [et al.] // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2020. – P. 213–229.

УДК 004.911, 65.02

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ КОМПАНИИ

© Гаврин В.А., Сурков А.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: vladimiragavrin@yandex.ru

Научный руководитель: Клентак А.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: логистические потоки, техническое задание на разработку приложения, интеграции.

Научно-исследовательская работа направлена на разработку встраиваемого модуля информационной системы для оптимизации логистический потоков («ПКС») компании ООО «Сиреневый сад» [1]. Модуль предназначен для повышения эффективности внутренней логистической деятельности компании, за счёт автоматизации процессов, уменьшение роли человеческого фактора, снижения числа ошибок и повышения скорости работы.

Данный модуль также применим для использования в компаниях подрядчиках, занимающихся поставкой необходимых компонентов, отдельных деталей, а также оборудования необходимого для функционирование авиационно-космической области.

В рамках работы была разработана онтология базы данных и соответствующая ей модель данных «сущность-связь». В разрабатываемой системе ПКС будут храниться и обрабатываться данные. Для хранения данных будет использоваться СУБД MySQL [2]. Перед созданием базы данных в самой системе управления базами данных необходимо построить модель данных. Это необходимо для минимизации затрат времени и ресурсов на этапе создания базы данных в СУБД, а также позволяет заметить ошибки и учесть все необходимые сущности и корректно построить их связи. В базе данных системы ПКС должна храниться информация о салоне, то есть информация о торговой точке предприятия, на котором производятся цветочные композиции и производится розничная продажа продукции. В базе данных должна храниться информация о курьере, который производит доставку продукции, информация о заработке каждого конкретного курьера и информация о его премиальной части, которая удерживается из ежедневной оплаты и выплачивается в конце месяца при отсутствии нарушений. Также в базе данных ПКС будет храниться информация о двух видах доставки: операционной и клиентской, а также необходимая информация о точках операционной доставки и тарифах для клиентской доставки.

После создание онтология была создана ER-диаграмма. ER-диаграмма будет использована как образец, по которому будет создаваться база данных в самой системе. Также ER-диаграмма будет являться частью документации и использоваться при доработках системы. В ER-диаграмме были определены такие ключевые сущности, как торговая точка, курьер, доставка, и другие важные элементы инфраструктуры системы. На основе данной диаграммы будет создана база данных.

В научной работе описаны процессы взаимодействия пользователей с системой, включая этапы добавления новых курьеров, добавления данных сотрудников в архив,

внесения изменений в профили курьеров, расчёт заработной платы курьеров и хранение информации о доставках.

В модуле информационной системы будет предусмотрена возможность создания записи о доставке продукции пользователю. В форме создания записи предусмотрено поле «Адрес». Для удобства пользователя, а также для возможности проведения аналитики по адресам адреса должны заноситься в одном формате, а при начале ввода в выпадающем списке должны появляться подсказки с возможными адресами. Это возможно реализовать за счёт интеграции с «Яндекс картами» [3] с использованием API Геосаджеста [4].

Документ описывает создание технической документации, включающей модель данных, сценарии бизнес-процессов и обоснование интеграции внешних сервисов. Эти материалы необходимы для дальнейшей реализации проекта и помогают минимизировать возможные риски на этапах проектирования и внедрения информационной системы.

Библиографический список

1. Официальный сайт предприятия. – URL: https://luxury-flowers.ru (дата обращения: 18.05.2025).

2. Официальный сайт MySQL. – URL: https://www.mysql.com (дата обращения: 15.05.2025).

3. Картографическая система «Яндекс карты». – URL: https://yandex.ru/maps (дата обращения: 15.12.2024).

4. Документация API Геосаджеста. – URL: https://yandex.ru/maps-api/docs/suggest-api/index.html (дата обращения: 05.06.2025).

УДК 004.89

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАТОРОВ

© Дворянчиков Д.И.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Didvoryanchikov@yandex.ru

Научный руководитель: Солдатова О.П., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: распознавание эмоций, аффективные вычисления, свёрточные нейронные сети, алгоритм обучения нейронной сети.

Стресс в авиации и космонавтике – обычное явление, возникающее в силу высокой степени опасности профессиональной деятельности данной группы людей. Исследование психоэмоционального состояния людей экстремальных профессий является актуальной задачей. В последнее время для решения данной задачи активно используются методы искусственного интеллекта, так называемых аффективные вычисления. Основное решение данной проблемы достигается с помощью свёрточных нейронных сетей, обученных на аннотированных датасетах лицевых экспрессий. От выбора алгоритма обучения и архитектуры модели напрямую зависит точность классификации аффективных состояний.

В работе использовались модели с архитектурой ResNet. Благодаря своей уникальной структуре ResNet стала основой для множества современных моделей в компьютерном зрении, распознавании изображений, классификации и других задачах искусственного интеллекта [1].

Модель ResNet стала победителем соревнования ILSVRC-2015, ансамбль из вариантов которой показал частоту ошибок 3.6 %, что ниже, чем оцениваемая частота ошибок человека (5.1 %) [2].

Архитектура ResNet произвела революцию в мире глубокого обучения, решив одну из главных проблем – исчезающие градиенты в очень глубоких нейронных сетях. Основные компоненты ResNet:

– Остаточные блоки. Они помогают нейросети передавать информацию через несколько слоев, минуя некоторые из них. ResNet не соединяет слои последовательно, а использует связи skip connections.

– Свёрточные слои и функии активации. Каждый остаточный блок включет свёрточные слои с ядрами 3*3 и функции активации ReLU. Данные элементы добавляют нелинейность, позволяя модели улавливать сложные закономерности в данных.

– Нормализация и оптимизация. Для стабилизации обучения ResNet использует Batch Normalization. Данный метод нормализует выходы каждого слоя, ускоряет обучение и улучшает стабильность нейросети.

– Масштабируемость. ResNet легко адаптируется под разные задачи. Например, ResNet18 содержит 18 слоев, а ResNet50 – 50. Это позволяет выбирать модель в зависимости от сложности задачи и доступных вычислительных ресурсов.

Для обучения свёрточной сети в данной работе были выбраны два алгоритма обучения: AdamW и SGD с моментом.

AdamW – это модификация алгоритма Adam, которая отделяет регуляризацию весов от процесса обновления градиента [3].

SGD с моментом – модификация алгоритма SGD, которая добавляет в правило обновления параметр momentum.

Для обучение моделей ResNet (ResNet18 и ResNet50) было использовано два датасета: FER-2013 и RAF-DB.

Датасет FER-2013 представляют собой изображения лиц в оттенках серого размером 48x48 пикселей с аннотацией семи базовых эмоций. Обучающий набор состоит из 28 709 примеров, а общедоступный тестовый набор из 3589 примеров.

Датасет RAF-DB содержит 15 000 цветных изображений лиц в разрешении 100×100 пикселей с аннотацией семи базовых эмоций. Изображения в этой базе данных сильно различаются по возрасту, полу и этнической принадлежности субъектов, позам головы, условиям освещения, окклюзиям, операциям постобработки и так далее.

Каждый датасет, модель и архитектура приводят к своему собственному результату. Цель данной работы – сравнить эффективность архитектур и алгоритмов обучения для точного распознавания эмоций. Чтобы оценить эффективность обучения моделей, мы будем учитывать два ключевых показателя:

– Accuracy – это доля правильно распознанных эмоций на изображениях от общего количества.

– Loss (CrossEntropyLoss) – это показатель, который демонстрирует, насколько сильно отличается реальный ответ сети от эталонного ответа.

Результаты экспериментов с разделением на количество эпох для каждого датасета и модели предоставлены в таблицах 1–2.

Таблица 1 – Результаты экспериментов для датасета FER-2013

Количество эпох обучения	10		20		30	
Алгоритмы обучения	accuracy	loss	accuracy	loss	accuracy	loss
AdamW (ResNet18)	0.5779	1.1457	0.5978	1.5107	0.6030	1.9049
SGD с моментом (ResNet18)	0.5681	1.1523	0.5925	1.3796	0.6028	1.7479
AdamW (ResNet50)	0.5918	1.1097	0.6091	1.5039	0.6082	1.9080
SGD с моментом (ResNet50)	0.5748	1.2174	0.6006	1.6964	0.6236	1.9722

Таблица 2 – Результаты экспериментов для датасета RAF-DB

Количество эпох обучения	10		20		30	
Алгоритмы обучения	accuracy	loss	accuracy	loss	accuracy	loss
AdamW (ResNet18)	0.7907	0.6956	0.8171	0.7120	0.8152	0.9740
SGD с моментом (ResNet18)	0.7458	0.7394	0.7748	0.7735	0.7780	0.8610
AdamW (ResNet50)	0.7813	0.7045	0.8044	0.8074	0.8064	0.8850
SGD с моментом (ResNet50)	0.7663	0.7161	0.7790	0.9561	0.7872	0.9648

По результатам экспериментов, следует, что лучшим вариантом будет использование датасета RAF-DB с моделью ResNet18 и алгоритмом обучения AdamW на 20 эпохах, дающую точность в 81,7 % и меньшим loss.

Библиографический список

1. CPA.LIVE, Как работает ResNet: разбор архитектуры и обучение на реальных примерах. – URL: https://cpa.live/nejroseti/chto-takoe-resnet.

2. Машинное обучение, Модель ResNet. – URL: https://deepmachinelearning.ru/docs/Neural-networks/Convolutional-architectures/ResNet.

3. Habr. Методы оптимизации в машинном и глубоком обучении. От простого к сложному. – URL: https://habr.com/ru/articles/813221.

УДК 004.932

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

© Должиков Д.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: dmdolzhikov@gmail.com

Научный руководитель: Савельев Д.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: предобработка изображений, распознавание объектов, обнаружение объектов.

Предобработка изображений является критически важным этапом в процессе обнаружения и распознавания объектов с использованием нейронных сетей. Качественная предобработка может значительно повысить точность распознавания, особенно при неблагоприятных условиях съемки, таких как туман, низкая освещенность, дождь, снег, а также при работе с изображениями низкого качества [1]. Данная работа направлена на исследование влияния различных методов предобработки изображений на точность работы нейронной сети YOLOv1 [2].

В рамках исследования были рассмотрены следующие методы предобработки изображений:

1. Снижение шума – применение фильтров (Гауссово размытие, медианный фильтр) для устранения нежелательных помех [3].

2. Усиление краев – использование фильтров повышения резкости для выделения границ объектов [4–5].

3. Преобразование цветового пространства – перевод изображений из RGB в другие цветовые пространства с применением цветовых преобразований.

4. Выравнивание гистограммы – улучшение контраста изображения путем перераспределения интенсивностей пикселей [6].

Базовая модель YOLOv1 использовала стандартную предобработку: изменение размера до 448×448 пикселей и нормализацию значений пикселей. Данные методы играют первостепенную роль в повышении как скорости, так и точности распознавания [7]. Для оценки эффективности применялась метрика mAP (mean Average Precision). Метрика вычислялась по следующей формуле:

$$mAP = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} AP(n)\,, \tag{1}$$

где N – общее количество классов, $AP(n)$ – Average Precision для класса n.

AP рассчитывается как взвешенная сумма precision на каждом уровне recall:

$$AP_n = \sum_{k=0}^{q-1}(R_k - R_{k+1}) \times P_k\,, \tag{2}$$

где R_k – значение recall на k-м пороге, P_k – значение precision на k-м пороге, q общее количество порогов.

Обучение моделей проводилось до 170 эпох для каждого метода предобработки. Базовая модель обучалась до 230 эпох и достигла максимального значения mAP 0,0902 на тестовой выборке. Подробнее результаты представлены в таблице.

Таблица – Результаты исследования влияния методов предобработки изображений

Метод предобработки	Максимальное mAP	Эпоха	Изменение относительно базовой модели
Базовая модель	0,0902	160	-
Снижение шума	0,0888	160	-1,55%
Усиление краев	0,0889	150	-1,44%
Преобразование цветового пространства	0,1018	150	+12,86%
Выравнивание гистограммы	0,0414	150	-54,10%

Как видно из таблицы, наилучшие результаты на наборе данных PascalVOC показал метод преобразования цветового пространства, обеспечивающий увеличение метрики mAP на 12,86 %. Методы снижения шума и усиления краев показали незначительное точности (1,55 и 1,44 % соответственно). Метод выравнивания гистограммы показал наихудшие результаты со снижением значения метрики на 54,10%. Это указывает на неприменимость метода выравнивания гистограммы в качестве единственного способа предобработки изображений для архитектуры YOLOv1. На рисунках 1–2 можно наблюдать графики сходимости метрики mAP.



Рисунок 1 – Сходимость метрики mAP у базовой модели

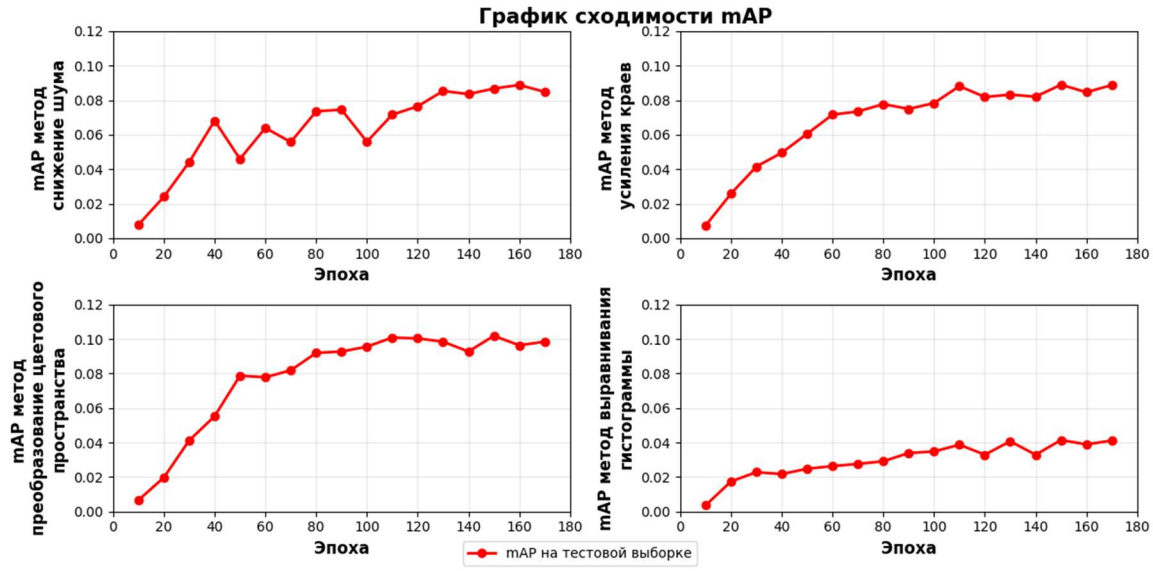


Рисунок 2 – Сходимость метрики mAP с применением предобработки изображений

Исследование продемонстрировало значительное влияние методов предобработки изображений на эффективность нейронной сети YOLOv1. Метод преобразования цветового пространства оказался наиболее эффективным, обеспечив существенное улучшение точности распознавания объектов.

Библиографический список

1. Ogino, Y. ERUP-YOLO: Enhancing Object Detection Robustness for Adverse Weather Condition by Unified Image-Adaptive Processing / Y.Ogino, Y. Shoji, T. Toizumi, A. Ito // ArXiv, Cornell University. – 2024.

2. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – Las Vegas: CVPR, 2016. – P. 779–788.

3. Rodríguez-Rodríguez, J.A. The Impact of Noise and Brightness on Object Detection Methods / J.A. Rodríguez-Rodríguez, E. López-Rubio, J.A. Ángel-Ruiz, M.A. Molina-Cabello // Sensors. – 2024. – Vol. 24 (3). – P. 821.

4. Wang, T.-s Contrast Enhancement-Based Preprocessing Process to Improve Deep Learning Object Task Performance and Results / T.-s Wang, G.T. Kim, M. Kim, J. Jang // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13 (19). – P. 10760.

5. Malche, T. Edge Detection in Image Processing: An Introduction / T. Malche // Roboflow Blog. – 2024.

6. Campos, G. Machine learning hyperparameter selection for Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization / G. Campos, S. Mastelini, G. Aguiar [et al.] // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2019. – Vol. 59.

7. Shahriar, M.T. A Study of Image Pre-processing for Faster Object Recognition / Md Tanzil Shahriar, Huyue Li // ArXiv / Cornell University. – 2020.

УДК 519.688

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ОПИСАНИЯ ТОВАРОВ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

© Дудникова Н.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: na.dudnikova25@gmail.com

Научный руководитель: Семенова И.В., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: обработка естественного языка, генерация текста, обучение, дообучение.

Ежегодно число онлайн-покупателей возрастает. Интернет-магазины должны предоставлять пользователям актуальную и достоверную информацию о товарах, в том числе – подробное описание товара. Частое изменение ассортимента в магазинах приводит к необходимости постоянного добавления больших объемов уникальной информации о новых товарах. Автоматизировать процесс формирования описаний товаров можно при помощи методов генеративного искусственного интеллекта, который все больше применяется компаниями для решения различных задач.

В рамках работы разработана система по работе с товарами интернет-магазина и подсистема для генерации описаний товаров интернет-магазина с помощью методов машинного обучения.

Для подсистемы генерации описаний с точки зрения обработки естественного языка возникает задача генерации текста. Для неё могут быть использованы различные модели машинного обучения, среди которых рекуррентные нейронные сети и их модификации, трансформеры, генеративные модели. Кроме этого, для решения данной задачи можно использовать предобученную модель [1–3].

Для поиска наиболее эффективного решения задачи генерации описания товаров в работе было реализовано ее решение двумя методами:

1) с использованием модели CopyNet, которая обучалась на подготовленном наборе данных «с нуля». Особенностью модели CopyNet является механизм копирования, позволяющий использовать для формирования выходных данных токены из входных данных в случае их отсутствия в словаре. Энкодер и декодер представлены одной LSTM-моделью, что способствует повышению обучающей способности модели за счёт меньшего числа параметров.

2) путем дообучения для решения рассматриваемой задачи предобученной языковой модели ruGPT-3 Small, основным преимуществом которой является то, что она ориентирована на русский язык. Метод дообучения позволяет сохранить с помощью заморозки нижних слоёв общих языковых паттернов, и, следовательно, сократить время и вычислительные ресурсы, требуемые для получения работоспособной модели. Модель ruGPT-3 Small основана на архитектуре Трансформер, которая зарекомендовала себя как архитектура, позволяющая получить качественные результаты для задач обработки естественного языка.

Для обучения моделей необходим набор данных (датасет), соответствующий решаемой задаче. Для его формирования был разработан скрипт, с помощью которого с различных интернет-источников была собрана информация о товарах интернет-

магазина. Датасет включает в себя название каждого товара, его категорию, список характеристик и описание. Объём датасета – 2000 записей: по 400 записей для каждой из 5 категорий (смартфоны, телевизоры, мониторы, ноутбуки и компьютерные мыши). Важным моментом является подготовка собранного датасета для обучения моделей, включающая очистку данных от пустых строк, от лишних пробелов и так далее.

Для реализации системы по работе с товарами интернет-магазина была выбрана трёхуровневая клиент-серверная архитектура. При этом в качестве СУБД была выбрана PosgreSQL, для реализации серверной части использован язык программирования Java с фреймворком Spring Boot, а для клиентской части – Java Script, HTML, фреймворк Bootstrap [4].

Подсистема генерации описаний товаров представляет собой сервис, работающий по принципам REST, что позволяет обеспечить универсальность подсистемы и её интегрируемость с существующими системами, поддерживающими данные принципы. Для реализации был использован язык Python, среди основных библиотек присутствуют Pandas, PyTorch.

Таким образом, была спроектирована и реализована система по работе с товарами интернет-магазина, а также, в рамках данной системы, разработана подсистема генерации описаний товаров интернет-магазина.

Библиографический список

1. Уоллс, К. Spring в действии / пер. с англ. А.Н. Киселева. – 6-е изд. – М.: ДМКПресс, 2022. – 544 с.: ил/

2. Новиков, Б.А. Основы технологий баз данных: учебное пособие / Б.А. Новиков. – 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 582 с.

3. Лейн, Х. Обработка естественного языка в действии / Х. Лейн, Х. Хапке, К. Ховард. – СПб.: Питер, 2020. – 576 с.: ил. – (Серия «Для профессионалов»).

4. Краткий экскурс в ruGPT-3. Инструкция и демонстрация / Хабр. – URL: https://habr.com/ru/articles/589663 (дата обращения: 20.04.2024).

УДК 629.78: 004.77

О МЕТОДЕ РАСЧЕТА ВИДИМОСТЕЙ СЪЁМКИ

© Евсеев В.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: vivseev02@inbox.ru

Научный руководитель: Симонова Е.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: окна видимости, съёмка местности, космический аппарат, целевая аппаратура.

В данной работе предлагается подход к формированию видимостей съёмки космического аппарата (КА). Описан основной алгоритм работы, изложены как преимущества, так и недостатки подхода.

Видимость съёмки – это временной промежуток, в течение которого КА находится непосредственно под объектом съёмки. Схема алгоритма расчёта видимостей представлена на рисунке 1 и заключается в представлении траектории движения КА и местности для съёмки в виде двумерных геометрических фигур.

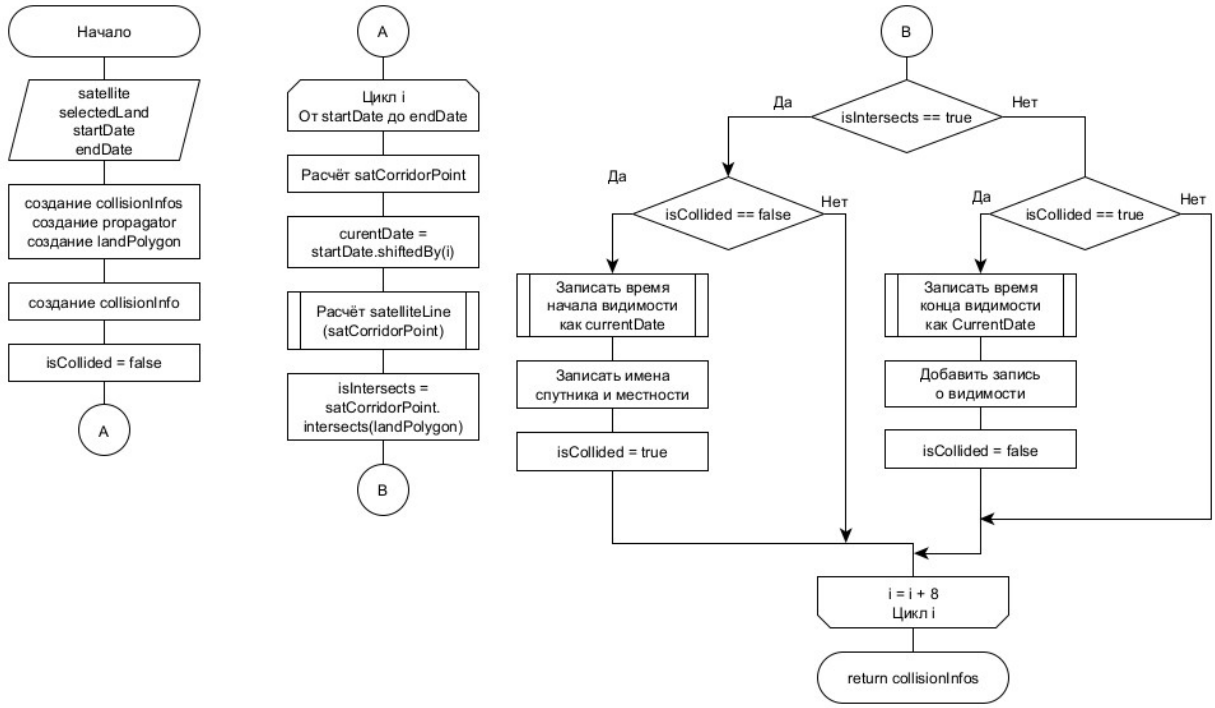


Рисунок 1 – Схема алгоритма формирования видимостей съёмки

Входными данными для алгоритма являются период расчётов, объект спутник, способный рассчитать собственную траекторию полёта и имеющий параметр ширины полосы захвата [1], выраженный в градусах, а также местность для съёмки, представленная в формате GeoJson [2] (пример формата представлен на рисунке 2, а, его представление на карте – на рисунке 2, б).

В начале объект съёмки преобразуется в геометрический полигон для последующей обработки, затем начинается итеративный цикл по всему периоду планирования. В описанном алгоритме было взято значение шага дискретизации времени 8 сек как одно из самых оптимальных между временем работы и точностью полученного результата.

В течение цикла рассчитывается линия видимости спутника – отрезок на поверхности Земли, проходящий через надир (проекция спутника на Землю), крайние точки которого соответствуют левому и правому пределам текущей области съёмки. Затем алгоритм проверяет, есть ли у полигона и полученной линии общие точки, устанавливает необходимые флаги и переходит к следующей итерации.

Существует два типа флагов:

- пересечения – равен 1, если общие точки присутствуют, 0 в ином случае;
- изменения состояния – равен 1, когда видимость началась, сохраняются имена объектов и время начала видимости съёмки, и обращается в 0, когда видимость закончилась, сохраняется время конца видимости съёмки.

По завершении цикла все сохранённые видимости съёмки площадного объекта представляются в виде списка и могут быть возвращены как результат работы.

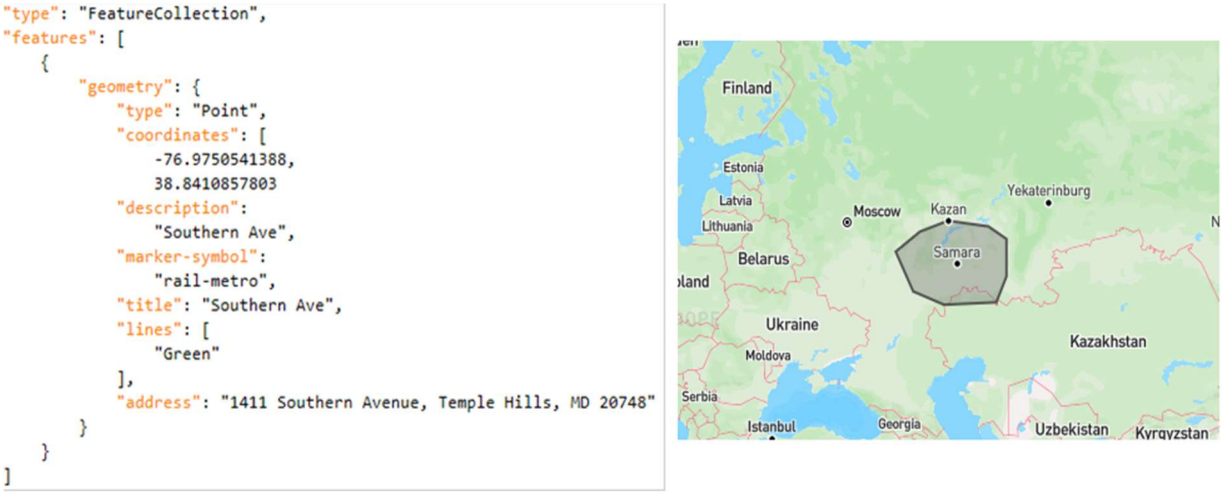


Рисунок 2 – представление формата GeoJson: а) в файле; б) в системе

Преимущества данного подхода:

- универсальность – реализация алгоритма не меняется при изменении способов расчёта траектории КА, что способствует созданию модульной системы;
- простота реализации – алгоритм основан на пересечении геометрических фигур, что позволяет легко реализовать его на множестве платформ и различных языках программирования;
- обработка сложных фигур – благодаря логике работы алгоритма возможна обработка различных площадных объектов: выпуклых и невыпуклых.

Недостатки:

- потеря точности – расчёты пересечений выполняются на двумерной поверхности проекции Меркатора, что может хоть и незначительно, но повлиять на полученный результат;
- время работы алгоритма – по сравнению со сложными математическими методами, предложенный алгоритм требует больше времени для выполнения расчётов видимостей съёмки.

Таким образом, предложенный алгоритм может быть использован для создания модульных решений в задачах планирования съёмки, обеспечивая баланс между точностью и простотой реализации.

Библиографический список

1. Куренков, В.И. Методы исследования эффективности ракетно-космической техники: электрон. учеб. пособие / В.И. Куренков, М.Ю. Гоголев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара, 2012.

2. GeoJSON. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/GeoJSON (дата обращения: 16.06.2025).

УДК 004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕНЕРАЦИИ ИГРОВЫХ РЕСУРСОВ

© Иванов А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: artem_i02@mail.ru

Научный руководитель: Савельев Д.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: генеративные нейронные сети, задача генерации, игровые ресурсы, игровая индустрия.

В настоящее время развитие игровой индустрии в России является важным направлением в цифровой экономике, охватывая многомиллионную аудиторию игроков и создавая высокотехнологичные рабочие места [1]. Однако рост сдерживается высокой трудоемкостью и стоимостью ручной разработки контента, особенно массовых элементов, например, таких как уникальные иконки для интерфейса, текстуры или 3D модели. Генеративные нейронные сети [2] предлагают решение этой проблемы, автоматизируя создание разнообразных игровых ресурсов. Это не только позволяет ускорить производство, снижая затраты, но и позволяет разработчикам сосредоточиться на инновационных игровых механиках.

Данная работа рассматривает решение задачи генерации игровых ресурсов – иконок навыков с помощью сверточных нейронных сетей и исследует влияние различных факторов на результат генерации.

Набор данных для исследования был составлен из нескольких наборов игровых ресурсов, найденных на площадке itch.io. Так было собрано 5250 цветных изображений размером 512 на 512 пикселей. Их размер изменялся в зависимости от того для какой из моделей он применял: 64 на 64 или 128 на 128 пикселей.

На языке Python было разработано две модели. Для оценки изображений, генерируемых моделями, использовалась метрика «Начальное расстояние Фреше» или FID. Обе Модели обучались в течении 90 эпох.

Первая модель реализовывает архитектуру DCGAN [3]. Генератор включает 5 слоев транспонированной свертки с функциями активации ReLU. На вход принимается вектор шума размером 100, на выходе получаются изображения с 3 каналами цвета, размером 64 на 64 пикселя. Дискриминатор включает 5 слоев обычной свертки с функциями активации LeakyReLU с параметром 0,2, на последнем слое используется функция активации Sigmoid. На вход принимается изображение с 3 каналами цвета размером 64 на 64 пикселя, на выходе получается решение дискриминатора о природе изображение – сгенерированное или нет. Во время обучения на каждой эпохе производилась одна итерация обучения генератора и одна итерация обучения дискриминатора. Потери и метрика FID в процессе всего обучения представлены в таблице 1. Пример сгенерированных изображений представлены на рисунке, а.

Вторая модель представляет из себя комбинацию DCGAN и WGAN [4]. Генератор включает 6 слоев, первые 4 – транспонированная свертка с активацией ReLU, следующие 2 слоя – комбинация билинейного апсемлинга и обычной свертки, на

пятом слое используется функция активации ReLU, на шестом – Tanh, помимо этого, на каждом слое кроме последнего используется инстанс-нормализация. На вход принимается вектор шума размером 100, на выходе получаются изображения с 3 каналами цвета, размером 128 на 128 пикселей. Дискриминатор включает 6 слоев обычной свертки с функциями активации LeakyReLU с параметром 0,2 и инстанс-нормализациями, на последнем слое отсутствует как инстанс-нормализация, так и функция активации. На вход принимается изображение с 3 каналами цвета размером 128 на 128 пикселя, на выходе получается решение дискриминатора о степени поддельности передаваемого изображения. Во время обучения на каждой эпохе производилась одна итерация обучения генератора и три итерации обучения дискриминатора. Потери и метрика FID в процессе всего обучения представлены в таблице 2. Пример сгенерированных изображений представлены на рисунке, б.

Таблица 1 – Потери и метрика FID первой модели

Эпоха	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Loss G	4,4397	4,8557	5,3034	5,4809	5,9029	4,0611	5,7455	0,2089	0,0000
Loss D	0,4527	0,3242	0,2299	0,2346	0,1571	0,6246	0,2594	99,8109	100,0126
FID	1236,2	837,7	778,8	789,1	752,5	764,9	794,1	1156,9	1156,9

Таблица 2 – Потери и метрика FID второй модели

Эпоха	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Loss G	176,87	169,79	154,41	141,85	130,11	124,82	117,82	113,92	113,91
Loo D	-68,71	-55,74	-53,77	-51,86	-49,63	-50,48	-49,66	-52,65	-53,73
FID	1180,4	1229,7	1169,4	1089,9	1124,5	1051,3	1095,1	1079,9	1053,3

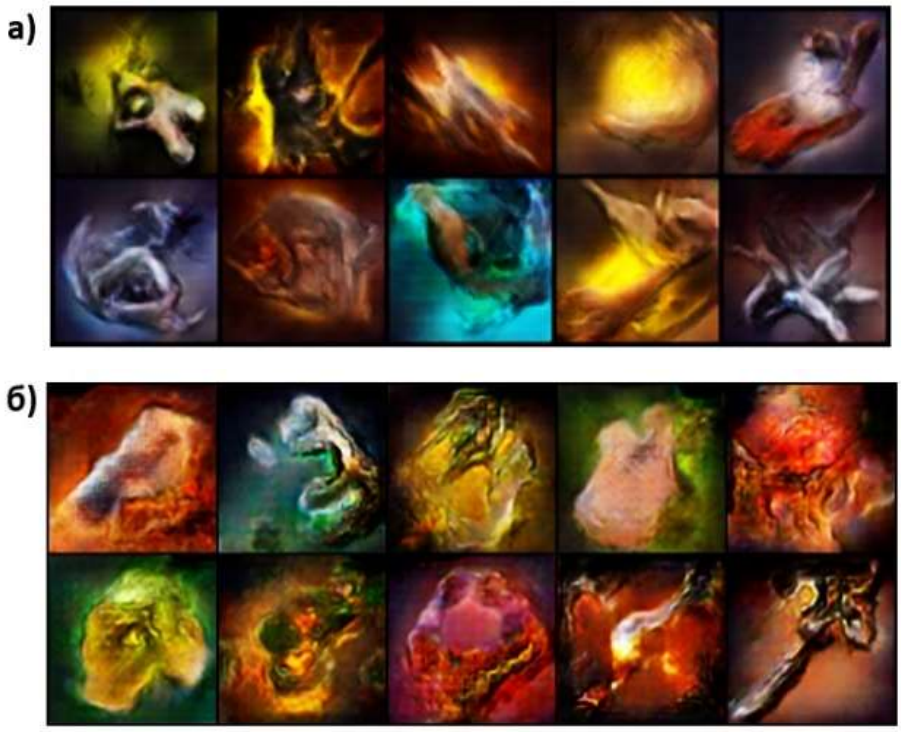


Рисунок – Пример сгенерированных изображений моделью

Как видно из таблицы 1 для первой модели, после 70-й эпохи обучения произошел «взрыв» градиента: потери дискриминанта резко возросли, а генератора упали и в течении следующих 20 эпох изменений замечено не было. Генерируемые изображения начали представлять из себя черные изображения. По графику FID видно ту же зависимость – после 70-й эпохи FID резко ухудшается и продолжает принимать высокие значения.

Для второй модели, результаты обучения которой представлены в таблице 2, можно отметить, что после 80й эпохи показатели потерь начали стагнировать. Метрика FID показала схожую зависимость – после 60й эпохи сильных улучшений замечено не было, а для некоторых эпох замечены ухудшения.

Библиографический список

1. Компьютерные игры и метавселенные: отчет / Институт развития интернета. – Москва: ИРИ, б.г. – 1 файл: электронный. – URL: https://ири.рф/reports/kompyuternye-igry-i-metavselennye (дата обращения: 17.06.2025).

2. Generative Adversarial Nets / I.J. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza [et al.] // Advances in neural information processing systems. – 2014. – Vol. 27. – P. 1–9.

3. Radford, A. Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks / A. Radford, L. Metz, S. Chintala // ICLR. – 2016. – P. 1–16.

4. Arjovsky, M. Wasserstein GAN / M. Arjovsky, S. Chintala, L. Bottou // ICML. – 2017. – P. 1–31.

УДК 519.688

РАЗРАБОТКА TELEGRAM-БОТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУППЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕПАРТАМЕНТА ИТ БЛОКА «КОРПОРАТИВНО-ИНВЕСТИЦИОННЫЙ БИЗНЕС» ПАО «СБЕРБАНК»

© Ильметов С.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г.Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Семенова И.В. , канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г.Самара, Российская Федерация

e-mail: cepuhin.semen@gmail.com

Ключевые слова: Telegram-бот, автоматизация, управление графиком, корпоративные процессы, Python, Aiogram.

В крупных коллективах эффективная коммуникация напрямую влияет на производительность. Для внутреннего взаимодействия организации используют различные инструменты: email, видеоконференции, CRM-системы и мессенджеры. Согласно исследованию TGStat [1], мессенджеры занимают лидирующие позиции благодаря своей универсальности и возможности интеграции чат-ботов, повышающих эффективность общения.

В ПАО «Сбербанк» для внутренней коммуникации применяется корпоративный мессенджер «СберЧат» с чат-ботами для автоматизации процессов. Однако для группы сопровождения департамента ИТ блока «Корпоративно-инвестиционный бизнес» отсутствует специализированный бот, учитывающий особенности их работы, включая формирование рабочего графика.

Таким образом, разработка такого чат-бота является актуальной задачей для повышения эффективности взаимодействия в команде.

В рамках исследования был разработан Telegram-бот для автоматизации взаимодействия группы сопровождения департамента ИТ блока «Корпоративно-инвестиционный бизнес» ПАО «Сбербанк». Бот предназначен для решения ключевых задач управления рабочим графиком и заданиями сотрудников [2; 3].

При проектировании системы было сделано следующее:

1) Проведён анализ предметной области

2) В результате анализа предметной области была построена информационная модель. Были выделены основные сущности и роли.

3) Опираясь на информационную модель, была построена логическая модель базы данных. Каждой сущности было сопоставлено одноимённое отношение, в котором определены потенциальные и внешние ключи. Дополнительно была введена одна сущность для отслеживания статусов.

4) Спроектирована диаграмма вариантов использования. Были выделены 3 актёра: Администратор, Сотрудник и Гость, и их возможности.

5) Выбрана клиент-серверная архитектура с использованием Python и библиотеки Aiogram для взаимодействия с Telegram API.

Далее был реализован функционал, поставленный в функциональных и нефункциональх требованиях к системе и подсистеме. Были добавлены следующие функциональные возможности:

- разграничение прав доступа между сотрудниками;
- просмотр графика сотрудников, как отдельно, так и одновременно;
- просмотр информации, о том, кто работает в данный момент;
- создание и изменение графика сотрудников;
- назначение и исполнение заданий сотрудниками;
- создание запроса на смену графика между сотрудниками.

Таким образом, разработанная система вносит вклад в развитие инструментов автоматизации корпоративных процессов, предлагая готовое решение для оптимизации управления рабочим временем групп сопровождения. Результаты могут быть масштабированы на другие подразделения, требующие чёткого контроля задач и рабочего времени.

Библиографический список

1. Исследование аудитории Telegram 2023. – URL: https://tgstat.ru/research-2023?ubtcuid=8caa1016-172d-44d8-a44f-43c37ddf3233&currentURL=https%3A%2F%2Fmts-link.ru%2Fblog%2Frossijskij-rynok-korporativnyh-messendzherov%2F%3Fysclid%3Dm7u31y8o3y31047 1043&referrerURL=https%3A%2F%2Fya.ru%2F (дата обращения: 04.03.2025).

2. Документация Python. – URL: https://www.python.org/doc (дата обращения: 20.04.2024).

3. Документация Aiogram 3.20.0. – URL: https://docs.aiogram.dev/en/stable (дата обращения: 20.04.2024).

УДК 51-8

СОЗДАНИЕ КОНСОЛЬНОЙ ИГРЫ СУДОКУ ПРИ ПОМОЩИ ЯЗЫКА С++

© Карих Н.Н., Рудяга Д.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: hukolay.karikh@mail.ru

Научный руководитель: Яблокова Л.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: алгоритмы, судоку, консольное приложение.

В данной работе рассматривается алгоритм генерации сеток для игры судоку [1] и разбираются методы [2], применяемые при его создании.

Целью данной работы является создание консольной игры на языке С++ с применением улучшенной версии имеющихся алгоритмов простых солверов [3] и возможностью сохранения результатов игр.

Для реализации поставленной задачи были доказаны некоторые утверждения [2], относительно возможных преобразований сетки судоку. Доработан солвер и проанализирован алгоритм генерации стартовых сеток судоку.

Количество различных сеток судоку на основе 1000 генераций с минимальным числом подсказок, по которым можно однозначно восстановить исходную сетку судоку, показано на рисунке.

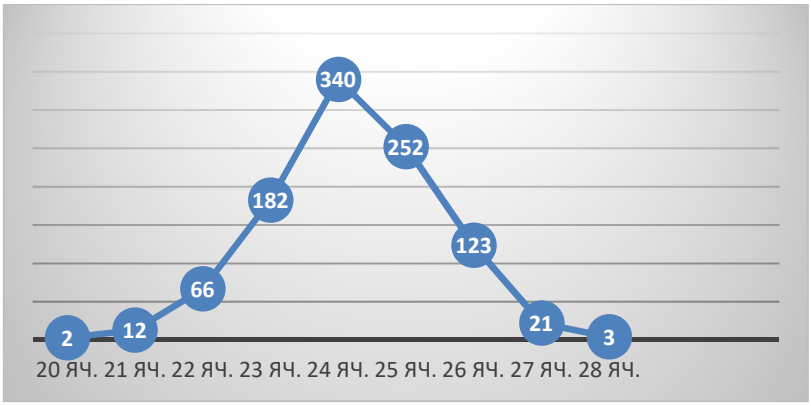


Рисунок – Количество различных сеток судоку на основе 1000 генераций с минимальным числом подсказок

Составленная программа позволяет сыграть в классическое судоку на одной из трёх сложностей, с возможностью сохранения незавершённой игры, а также сохранением всех ранее сыгранных игр в архив.

Библиографический список

1. Алгоритм генерации судоку/ Хабр – Habr. – URL: https://habr.com/ru/articles/192102.
2. Как создать судоку/ викиХау – wikiHow. – URL: https://ru.wikihow.com/создать-судоку.
3. Sudoku/ Розетта Код – Rosetta Code. – URL: https://rosettacode.org/wiki/Sudoku#C++.

УДК 004.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© Киркиж Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Научный руководитель: Солдатова О.П., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kirkigh@yandex.ru

Ключевые слова: классификация изображений, свёрточные сети, алгоритмы обучения нейронной сети.

Задача классификации изображения – одна из самых распространённых задач компьютерного зрения. Основные решения данной задачи проводятся с помощью сверточных сетей, путем предварительного их обучения на размеченных изображениях из датасета. От алгоритма обучения зависит качество классификации изображений, поэтому проблема выбора алгоритма обучения нейронной сети является актуальной.

В работе использовалась модель свёрточной нейронной, структура которой основана на модели AlexNet, поскольку её архитектура является одной из лучших для классификации изображений.

AlexNet – победитель соревнования ImageNet 2012 года по классификации изображений, достигнутая ошибка – 15,31 %. В архитектуре сети впервые была использована функция активации ReLU (Rectified Linear Unit) вместо более традиционных функций сигмоиды и гиперболического тангенса, что позволило снизить количество эпох обучения в шесть раз. Кроме того, в AlexNet была применена техника отсева (Dropout). Она заключается в случайном отключении каждого нейрона на заданном слое с вероятностью p на каждой эпохе [1].

AlexNet содержит восемь слоев с весовыми коэффициентами. Первые пять из них сверточные, а остальные три – полносвязные. В выходном слоеиспользуется функция активации softmax, определяющая вероятность принадлежности изображения классу. Для обучения сети использовался стохастический градиентный спуск с моментом. Нейроны в полносвязных слоях связаны со всеми нейронами предыдущего слоя [2].

Обучение нейронной сети – это процесс, в ходе которого модель искусственного интеллекта (в данном случае нейронная сеть) учится выполнять определенные задачи на основе предоставленных ей данных. Это может быть, например, распознавание образов или предсказание тенденций.

Существуют много разных алгоритмов, которые используются для обучения нейросетей под поставленные задачи. Рассмотрим некоторые из них:

– Градиентный спуск (Gradient Descent) – основной алгоритм. Он использует градиент функции ошибки по весам для обновления их значений в направлении минимума функции.

– Стохастический градиентный спуск с моментом (SGD with Momentum) – добавляет импульс, представляющий собой накопленное значение градиента, к обновлению весов, чтобы улучшить стабильность и ускорить сходимость.

– Обратное распространение ошибки (Backpropagation) – используется как часть градиентного спуска для вычисления компонентов вектора градиента по весам. Ошибка распространяется от выходного слоя к входному, пропорционально весам связей.

– Адаптивные алгоритмы обучения (Adaptive Optimization Methods) – модифицируют скорость обучения (learning rate) на основе прошлых обновлений весов [3; 4].

Обучение сверточной сети в данной работе проходит по адаптивным алгоритмиам, таким как: Adam, Nadam, Adamax, AdamW, RMSprop.

Для обучения сети был использован датасет CEIFAR-10, который представляет собой набор из 60000 изображений. Каждой изображение размером 32x32 может принадлежать к одному из 10 классов: самолеты, машины, птицы, коты, олени, собаки, лягушки, лошади, корабли, и грузовики.

Каждый из алгоритмов приводит к своему собственному результату, который невозможно предвидеть. Цель данной работы – рассмотреть влияние алгоритмов обучения на качество классификации изображений.

Для оценки качества обучения, будем обращать внимания на показатели accuracy – доля правильно классифицированных изображений от общего количества, а также показатель loss (categorical_crossentropy), который показывает на сколько сильно отличается реальный ответ сети от эталонного ответа.

Результаты исследований с разделением на количество эпох для каждого алгоритма предоставлены в таблице.

Таблица – Результаты исследований

Количество эпох обучения	5		10		15		20	
Алгоритмы обучения	accuracy	loss	accuracy	loss	accuracy	loss	accuracy	loss
Adam	0,6796	0,9108	0,7682	0,6517	0,8089	0,5476	0,8517	0,4157
Nadam	0,6932	0,8667	0,7792	0,6328	0,8108	0,532	0,8501	0,4167
Adamax	0,6204	1,084	0,7210	0,7967	0,7632	0,6857	0,7988	0,5778
AdamW	0,7059	0,8411	0,7562	0,6905	0,8056	0,5565	0,8258	0,4935
RMSprop	0,7141	0,8125	0,7920	0,5976	0,8321	0,4832	0,8467	0,4571

По результатам исследований ясно, что алгоритм RMSprop имеет лучшие показатели при небольшом и среднем количестве эпох обучения, но при 20 эпохах обучения самым точным является алгоритм обучения Adam.

Библиографический список

1. Сикорский, О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О.С. Сикорский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах – 2017. – № 20. – С. 37–42.

2. Neirohive. AlexNet – свёрточная нейронная сеть для классификации изображений. – URL: https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/alexnet-svjortochnaja-nejronnaja-set-dlja-raspoznavanija-izobrazhenij.

3. ETXT, Алгоритмы обучения нейронных сетей. – URL: https://www.etxt.ru/subscribes/algoritmy-obucheniya-neyronnykh-setey.

4. Николенко, С. Адаптивный спуск и сверточные сети / С. Николенко – URL: https://logic.pdmi.ras.ru/~sergey/teaching/mlspsu18/26-cnn.pdf.

УДК 004.054

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ПАТЕНТНОГО ПОИСКА

© Пишков Н.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nikita_pishk@rambler.ru

Научный руководитель: Кауров И.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: искусственный интеллект, платформы, патентный поиск, потенциальные пользователи, перспективы.

В данной работе проводится анализ существующих способов применения искусственного интеллекта на отечественных платформах патентного поиска и рассматриваются перспективы дальнейшего его использования, в том числе указываются конкретные способы применения с аргументацией приносимой ими пользы. Подчёркивается актуальность проводимого исследования и раскрывается вся польза применения искусственного интеллекта.

В качестве примера отечественной платформы с использованием искусственного интеллекта была выбрана поисковая платформа Роспатента (далее – платформа Роспатента) [1]. Отмечается, что платформа Роспатента обладает множеством различных режимов поиска, однако, в ходе работы более детально рассматриваются только сервисы «Похожие документы» и сервис для подбора похожих товарных знаков, поскольку они применяют искусственный интеллект. В ходе работы детально рассматриваются сферы применения и перспективы использования искусственного интеллекта, а также потенциальные пользователи [2]. Отдельное внимание уделяется тому, как сотрудники Роспатента применяют искусственный интеллект и для подтверждения приводится цитата заместителя руководителя Роспатента Валерия Фролова [3]. Рассматривается ещё один способ применения искусственного интеллекта, когда с его помощью создаются различные материалы для улучшения или реализации своего объекта интеллектуальной собственности и последующей его регистрации. Изучаются сферы применения подобного подхода и приводятся детальные примеры применения. Делается акцент на активной политике импортозамещения и актуальности поддержания отечественного производства. Обращается внимание на необходимые мероприятия для подобного применения искусственного интеллекта, а именно: создание правовой регламентации и информационная осведомлённость пользователей [4].

В заключение приводится резюме двух вышеуказанных способов применения искусственного интеллекта: когда с помощью искусственного интеллекта осуществляем поиск, и когда с помощью искусственного интеллекта генерируется что-

то новое или улучшается уже имеющиеся, а затем регистрируется в качестве интеллектуальной собственности.

Библиографический список

1. ИС – поисковая платформа: [сайт] / Роспатент. – М., 2012 – URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru (дата обращения 23.03.2025).
2. Зайцева, И.С. Основы научных исследований и патентоведение / И.С. Зайцева. – Кемерово, 2014. – С. 73–74.
3. Официальный сайт Роспатента: [сайт] / Роспатент. – М., 2012 – URL: https://rospatent.gov.ru/ru/news/frolov-shag-v-budushee-16022023 (дата обращения: 26.03.2025).
4. Ижаев, О.А. Искусственный интеллект и право: от фундаментальных проблем к прикладным задачам: монография / О.А. Ижаев, Д.Л. Кутейнников, С.С. Зенин. – М.: Проспект, 2022. – С. 104.

УДК 004.054

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПАТЕНТНОГО ПОИСКА

© Пишков Н.В., Кауров И.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nikita_pishk@rambler.ru

Ключевые слова: информационно-поисковая система, режимы поиска, интерфейс, платформы для патентного поиска, анализ.

В данной работе проводится сравнительный анализ двух сайтов для работы с объектами интеллектуальной собственности, а именно поисковая платформа Роспатента (далее – платформа Роспатента) [1] и информационно-поисковая система ФИПС (далее ИПС ФИПС) [2]. Отмечается, что поисковые возможности платформы Роспатента шире по функционалу, так как предоставляют отдельные поиски для узкоспециализированных форматов, например, по химическим формулам или генетическим последовательностям. В ходе работы сравнивается, непосредственно, сам процесс патентного поиска [3]: для начала были проанализированы главные страницы сайтов и маршруты, которые необходимо проделать пользователю для того, чтобы осуществить поиск, это делалось для того, чтобы дать оценку интерфейсу и удобству использования. Изучаются базы данных двух ресурсов, перечисляются все доступные, а также акцентируется внимание на отдельных для презентации поисковых возможностей. Анализируются поля, которые используются для поиска и наглядно производится сам поиск на основе запроса «Вертолетные газотурбинные двигатели», сравнивается количество результатов на обоих сайтах. Различие числа патентов аргументируется применением поисковой платформы более широких поисковых массивов. Обращается внимание на различные режимы поиска, объясняется для чего они нужны и как ими пользоваться. Рассматриваются способы отображения результатов, фильтры и сортировки, позволяющие подстроить интерфейс под себя или сузить круг поиска, здесь, как и в начале так же сравнению подвергается интерфейс, а именно его информативность. Сравнительный анализ проводится и по наполнению страниц с информацией о патентах [4]: сравнивается как удобство, так и информативность.

В заключение подводятся итоги сравнения таких показателей, как удобность интерфейса, функциональность и возможности в инфографике. Помимо этого, в процессе работы представляются наиболее часто используемые поисковые операторы и дополнительные возможности поиска для лучшего восприятия информации и более детального рассмотрения сайтов.

Библиографический список

1. ИС – поисковая платформа: [сайт] / Роспатент. – М., 2012 – URL https://searchplatform.rospatent.gov.ru (дата обращения 23.03.2024).

2. Информационно-поисковая система ФИПС: [сайт] / Федеральный институт промышленной собственности. – М., 2010. – URL https://www1.fips.ru/iiss (дата обращения: 26.03.2024).

3. Шаншуров, Г.А. Патентные исследования при создании новой техники. Патентно-информационные ресурсы / Г.А. Шаншуров, Т.В. Дружинина, О.И. Новокрещенов. – Новосибирск, 2019. – С. 30–38.

4. Зайцева, И.С. Основы научных исследований и патентоведение / И.С. Зайцева. – Кемерово, 2014. – С. 73–74.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕГРАМ-БОТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРАТКОГО СОДЕРЖАНИЯ ИЗ АУДИОФАЙЛОВ

© Пишков Н.В., Мамонтов Е.В., Григорьева Б.Г.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nikita_pishk@rambler.ru, egorvmamontov@gmail.com, berta-grigorieva@mail.ru

Научный руководитель: Жданова А.Н., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: телеграм-бот, разработка, краткое содержание, аудиофайл, аудиоконтент, структурированный текст, нейросетевые модели.

В условиях стремительного роста объёма аудиоконтента возрастает потребность в его автоматизированной обработке и структурировании. Согласно исследованию Всемирной организации здравоохранения, на сегодняшний день около 1,3 миллиарда человек, или 16 % населения мира, живут с различными формами инвалидности, и это число продолжает расти [1]. Многие из них сталкиваются с барьерами в доступе к информации, особенно в аудиоформате. Разработанный Telegram-бот преобразует голосовые сообщения и аудиофайлы в структурированный текст с использованием нейросетевых моделей, что облегчает доступ к информации и делает её более универсальной. Интеграция в популярный мессенджер обеспечивает простоту использования и широкий охват аудитории. Такой инструмент может быть полезен самому широкому кругу пользователей – от людей с ограниченными возможностями до студентов, преподавателей и предпринимателей. Для подтверждения актуальности проекта были рассмотрены системы-аналоги и проанализированы ключевые отличия.

Системы аналоги:

– Notta – это облачный сервис для транскрипции, суммаризации и анализа аудио- и видеоконтента. Однако разрабатываемый бот предлагает выбор языковых моделей и интерактивность, а также интеграцию с Telegram [2];

– Otter.ai – это сервис для транскрипции и суммаризации аудио. Работает через веб-интерфейс и мобильные приложения, но не имеет Telegram-интеграции [3].

Цель работы: создание Telegram-бота для автоматической суммаризации аудиоконтента с поддержкой диалогового режима уточнений.

Задачи разработки:

– интеграция API транскрипции (AssemblyAI) и языковых моделей (OpenRouter);

– реализация механизма обработки аудиофайлов и голосовых сообщений;

– разработка интерактивного интерфейса с клавиатурами для выбора моделей ИИ и управления режимами;

– обеспечение обработки уточняющих вопросов на основе истории диалога;

– оптимизация работы с ограничениями Telegram (длина сообщений, размер файлов).

Основной стек технологий включает язык программирования Python для реализации логики бота и интеграции API, фреймворк python-telegram-bot для взаимодействия с Telegram API, сервис транскрипции AssemblyAI и платформу OpenRouter для доступа к языковым моделям, таким как DeepSeek, Gemini и Qwen [4–6].

Функции бота охватывают транскрипцию аудио (поддержка форматов OGG, голосовых сообщений, MP3), генерацию краткого и подробного содержания с учётом контекста, возможность задавать уточняющие вопросы по обработанному материалу, выбор моделей ИИ (DeepSeek V3, DeepSeek R1, Gemini 2.5 Pro, Qwen3 235B, Llama 4 Maverick, Gemma 3 27B), а также обработку ошибок (повторные запросы при сбоях API, экранирование спецсимволов Markdown).

На рисунке представлен пример работы бота с MP3 файлом, который содержит в себе музыкальный трек исполнителя Macan. После скачивания, транскрипции и отправки запроса в языковую модель бот выдал краткое описание всего текста с поверхностным анализом, после чего перешёл к более подробному.

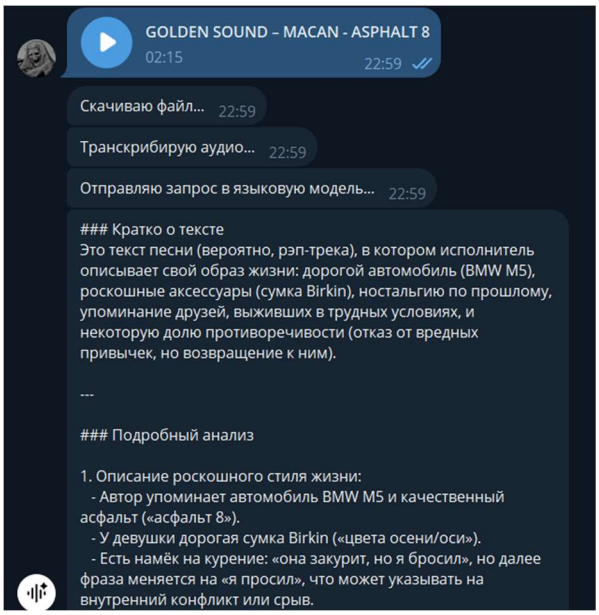


Рисунок – Результат анализа MP3-файла

В результате реализован бот, корректно обрабатывающий аудио до 20 МБ и имеющий ряд преимуществ по сравнению с системами-аналогами, что делает данный проект актуальным. В ходе работы была настроена интеграция с внешними API, обеспечивающая транскрипцию на русском языке. Код бота обладает модульностью, что упрощает добавление новых моделей ИИ. Реализован механизм сохранения истории диалога для контекстно-зависимых ответов.

Библиографический список

1. Официальный сайт World Health Organization. Disability and health. – URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health (дата обращения: 14.05.2025).
2. Официальный сайт Notta.AI. – URL: https://www.notta.ai (дата обращения: 30.04.2025).
3. Официальный сайт OtterAI. – URL: https://otter.ai (дата обращения: 30.04.2025).
4. Официальная документация AssemblyAI. – URL: https://www.assemblyai.com/docs (дата обращения: 22.03.2025).
5. Платформа OpenRouter. – URL: https://openrouter.ai/docs (дата обращения: 22.03.2025).
6. Библиотека python-telegram-bot. – URL: https://github.com/python-telegram-bot/python-telegram-bot (дата обращения: 20.03.2025).

УДК 004.415

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ЛОГИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ

© Полубояринов В.М., Кумарин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: arai@arai.icu

Ключевые слова: логирование, телеметрия, визуализация телеметрии, Python.

Во многих отраслях, а особенно в ракетно-космической редко можно обойтись без радиотелеметрии. Способов приёма и передачи данных довольно много, однако не всегда существуют готовые решения, позволяющие полученные данные сохранить или визуализировать. Большинство простых устройств приема радиосигнала такие задачи не выполняют. Поэтому полученные данные передаются тем или иным способом на персональный компьютер (ПК), чаще всего с помощью интерфейса UART и USB-UART преобразователя. Однако сам по себе ПК не содержит готового программного обеспечения для работы с этими данными, поэтому нужна специальная программа, которая будет считывать эти данные, преобразовывать к нужному виду и сохранять. Таких программ довольно много, например [1], но чаще всего они решают только одну из поставленных проблем: логирование или визуализация. Поэтому возникает необходимость в создании программы, которая будет решать обе задачи.

Для создания такой программы был выбран язык программирования Python, ввиду наличия необходимых библиотек и удобных способов взаимодействия с полученными данными по последовательному порту. Для реализации графического интерфейса была выбрана библиотека Tkinter из-за лёгкости в использовании. В программе предусмотрено автоматическое сохранение всех полученных данных в исходном бинарном виде, чтобы избежать случайной потери данных по возможной ошибке пользователя. По умолчанию все данные отображаются в шестнадцатеричном формате, а также представлены в формате ASCII символов. Также предусмотрена обработка полученных данных по заданному формату с преобразованием в понятный пользователю формат [2].

Так как данная программа изначально рассчитана для радиомодулей E220-400T22S, в ней также предусмотрен конфигуратор таких модулей, позволяющий настраивать различные параметры радиопередачи.

Разработанную программу предполагается использовать на чемпионатах Воздушно-Инженерной Школы для приема информации с аппаратов и ракет участников.

Библиографический список

1. Открытая документация на конструктор пикоспутника MiniSat. – URL: gitlab.com/minisat (дата обращения: 16.06.2025).

2. Hughes, P. Python and tkinter programming / P. Hughes // Linux Journal. – 2000. – 77es (2000).

УДК 004.89, 658.512

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДАННЫХ С ЧЕРТЕЖЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

© Сербина В.О., Печенина Е.Ю., Печенин В.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: pechenin.va@ssau.ru

Ключевые слова: инструменты, распознавание данных, разработка, чертеж, прогнозирование трудоемкости, технологические процессы.

Повсеместное использование в последние десятилетия технологий 3D-моделирования с использованием программного обеспечения для автоматизированного проектирования не отменило использования на предприятиях аэрокосмической отрасли традиционных 2D-чертежей. Любое указанное ранее программное обеспечение содержит функционал для создания по 3D-моделям деталей и сборок 2D-чертежей. Инженерные чертежи остаются ключевыми в производстве по двум причинам [1]. Выполнение аннотаций в 3D требует высоких характеристик компьютера, что снижает скорость работы по сравнению с 2D-чертежами. Кроме того, хотя 3D-аннотации предоставляют больше информации, но их сложнее анализировать по сравнению с информацией на 2D чертежах.

По указанным выше причинам расчет трудоемкости изготовления, и, как следствие, производственная себестоимость изделий выполняется по инженерным чертежам. Зачастую подобные расчеты нужно сделать быстро, чтобы оценить стоимость работ для заказчика. В работе разрабатываются инструменты, основанные на использовании методов машинного обучения, для выполнения этапа распознавания данных, на основе которых рассчитывается трудоемкость, непосредственно с чертежа и сохранение этих данных в виде словаря. На рисунке 1 приведена общая схема разработанного алгоритма распознавания и набора используемых технологий.

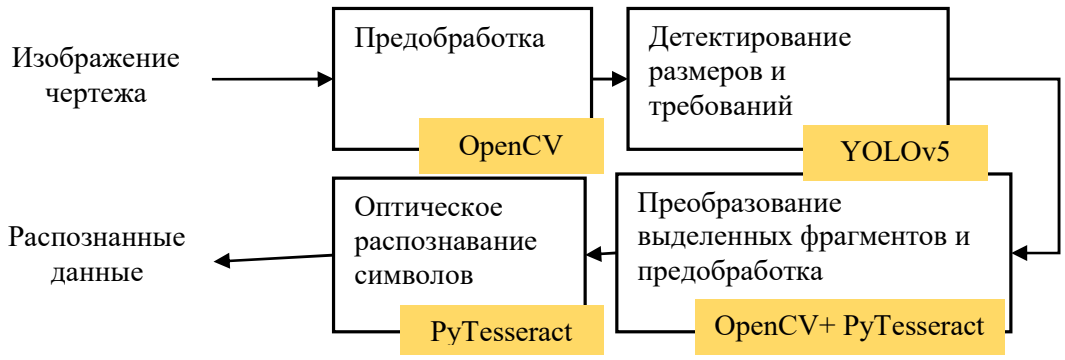


Рисунок 1 – Блок-схема предлагаемого решения

Как правило, для выполнения задачи распознавания текста с изображения используется технология OCR [2] (оптическое распознавание символов) – обнаружение текстового содержимого на изображениях и перевод изображений в закодированный текст, который компьютер может обработать. Можно сразу выполнить распознавания,

используя готовые библиотеки, например, Tesseract-OCR. Однако, с учетом того, что данные требуется систематизировать, перед этой операцией выполнялось детектирование нужных фрагментов с размерами и техническими требованиями с помощью нейронной сети архитектуры YOLOv5. Для предварительной цифровой обработки использовалась библиотека OpenCV. Нейронная сеть была обучена на распознавание по составила 33 чертежам, и протестирована на 15. В экспериментах объект считается определенным при IoU = 0,75. Точность детектирования составила 83 %. На рисунке 2 приведена часть чертежа с результатами распознавания трех классов (размеры, отклонения формы и расположения, базовые поверхности).

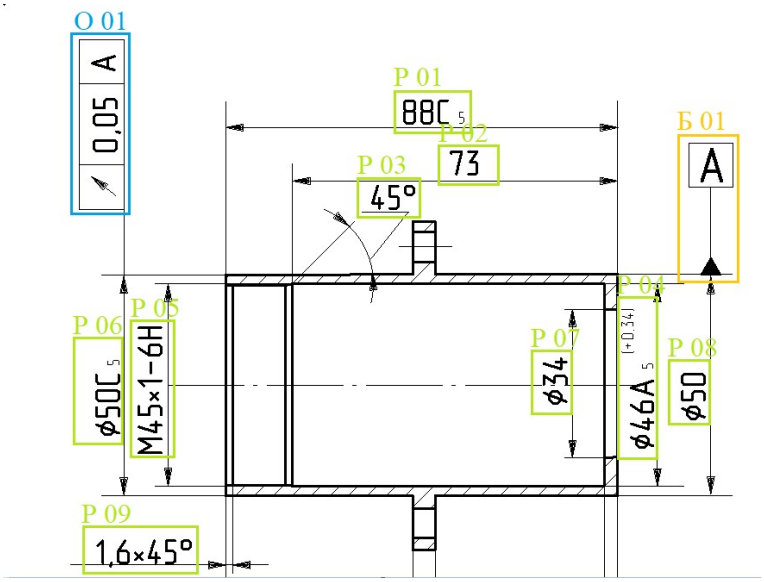


Рисунок 2 – Часть чертежа с распознанными аннотациями

В случае с находящимся не горизонтально текстом выполнялось его выравнивание и дальнейшее распознавание, комбинируя возможности библиотеки OpenCV и Tesseract-OCR.

Средняя точность распознавания символов вычислялась по формуле:

$$Mac = \sum ac_i/N, \quad (1)$$

где N – общее количество изображений для детектирования кодов; ac – точность для каждого изображения:

$$ac = N_T/N_A \cdot 100\%, \quad (2)$$

где N_T – количество верно идентифицированных символов; N_A – общее количество символов.

Средняя точность (1) распознавания на тестовых изображениях составила 91,15 %.

Распознанные данные сохранялись в виде словаря формата {“Ключ аннотации”: содержимое аннотации}, где ключ представляет собой строку типа “О 01”, а в содержимом хранятся распознанные данные аннотации.

Разработанный набор инструментов позволяет снизить погрешности переноса данных с чертежей технологами для дальнейшего инженерного анализа. Исходя из получаемой точности, остается необходимость выполнять проверку полученных

данных. Дальнейшим развитием работы является создание моделей, позволяющих на основании создаваемых словарей с данными чертежа выполнять прогнозирование трудоемкости, на основании которой будет калькулироваться производственная себестоимость предприятий аэрокосмической отрасли.

Работа выполнена по проекту FSSS-2024-0019, реализуемого в рамках национального проекта «Наука и университеты», результата «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Библиографический список

1. Lin, Y.-H. Integration of Deep Learning for Automatic Recognition of 2D Engineering Drawings / Y.-H. Lin, Y.-H. Ting, Y.-C. Huang, K.-L. Cheng, W.-R. Jong // Machines. – 2023. – Vol. 11 (8). –P. 802.

2. Мамонтов, Е.В. Разработка алгоритма идентификации маркировки производственных тар / Е.В. Мамонтов, В.А. Печенин, Е.Ю. Печенина // Решетневские чтения. – Красноярск, 2024. – С. 323–325.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО САЙТА-КАТАЛОГА ДЛЯ ПРОДАЖИ ПЕЧЕНЬЯ

© Соколова А.Д., Мотяков Д.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: llcky@yandex.ru

Научный руководитель: Жданова А.Н., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: электронная коммерция, веб-приложение, малый бизнес, пользовательский интерфейс, управление заказами.

На сегодняшний день электронная коммерция развивается стремительными темпами, охватывая всё больше сфер повседневной жизни. Люди всё чаще предпочитают заказывать товары через интернет, ценя удобство, скорость и доступность информации. Продукты питания, включая кондитерские изделия, не стали исключением из этого процесса. Так, в феврале 2025 года интернет-магазины и сервисы доставки продуктов питания выполнили 79,1 млн заказов, что на 32 % больше, чем за аналогичный период 2024 года [1].

Настоящий проект предназначен для частного продавца, самостоятельно производящего печенье. Он нуждается в простой и эффективной платформе для приёма заказов, учёта остатков и автоматизации рутинных задач. Вдохновением послужил сайт Crumbl Cookies [2]. Однако он рассчитан на масштабную сеть пекарен с широкой географией, тогда как данный проект ориентирован на локального производителя, делает акцент на экономичности решений и предполагает прямую доставку без привлечения сторонних служб.

Тем не менее большинство существующих решений либо перегружены функциональностью, не адаптированной под задачи малого бизнеса, либо ориентированы на маркетплейсы с высокими комиссиями. Это создаёт барьеры для небольших производителей, которым важны простота, прямое взаимодействие с покупателем и контроль над всеми этапами заказа. Для частного пекаря, выпускающего ограниченный ассортимент печенья, такие решения оказываются неэффективными и экономически нецелесообразными.

Цель работы: разработать веб-приложение для онлайн-продажи печенья с возможностями управления товарами и заказами [3].

Для серверной части выбран язык Python, фреймворк FastAPI. Клиентская часть будет реализована с использованием React (TypeScript) для обеспечения удобства взаимодействия с пользователем. Для хранения данных используется база данных PostgreSQL, для кэширования Redis [4].

Основные функции системы:

– для покупателя: регистрация, управление профилем, просмотр каталога, оформление заказа, отслеживание статуса;

– для администратора: управление товарами, заказами, поддержание актуальности склада.

Бизнес-логика сайта предусматривает три ключевых процесса: управление складом, обработку заказов и установление цен. После оформления заказа он попадает

в систему со статусом «Новый» и проходит проверку администратором. Если все позиции в наличии, заказ подтверждается и затем переходит в статус «Выполнен» после отправки. При нехватке товара администратор отменяет заказ. Цены на продукцию определяются производителем и вносятся администратором вручную.

Размещение товаров на сайте осуществляется на основе их остатка на складе. Если товар отсутствует, он помечается как «нет в наличии». Актуальность данных контролирует администратор.

Для улучшения визуальной составляющей проекта в Figma были разработаны макеты всех экранных форм сайта, включая, например, страницу карточки товара (см. рис.).

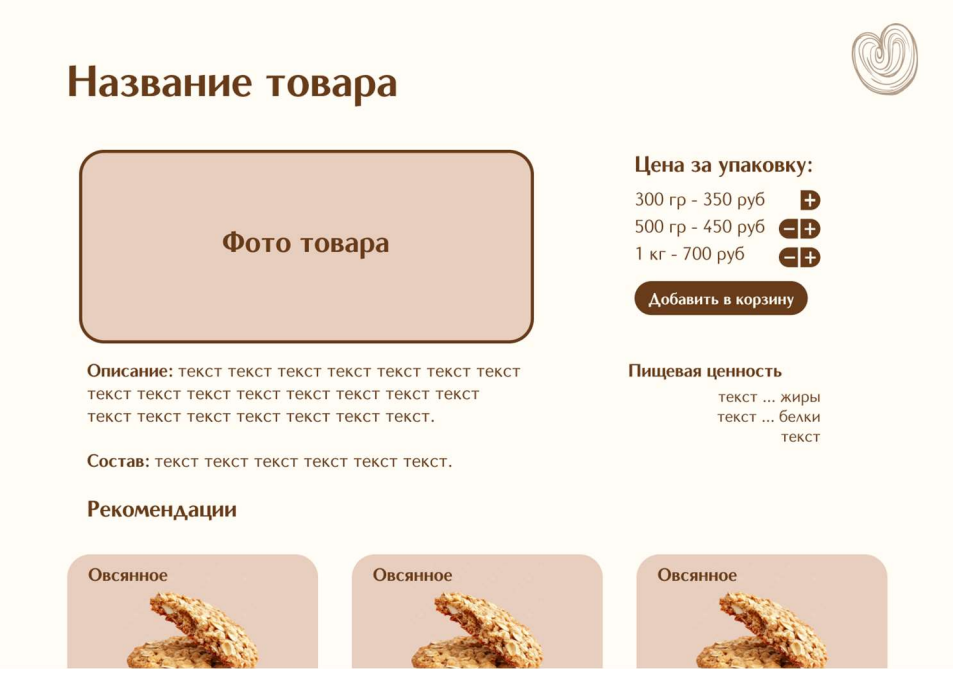


Рисунок – Экранная форма карточки товара

В результате работы был создан и представлен полноценный сайт для продажи печенья, содержащий весь необходимый функционал для взаимодействия покупателей и администраторов. Реализована бизнес-логика магазина, включая учёт остатков на складе и обработку заказов. Разработанные макеты пользовательского интерфейса в Figma позволили заранее отработать структуру сайта и повысить его удобство для конечных пользователей.

В дальнейшем возможно расширение функционала: добавление онлайн-оплаты, интеграция систем доставки, подключение push-уведомлений для покупателей и расширение ассортимента товаров.

Библиографический список

1. Data Insight. eGrocery: рынок онлайн-продажи продуктов в России. – Март 2025. – URL: https://datainsight.ru/eGrocery_march_2025 (дата обращения: 09.05.2025).

2. Crumbl Cookies: официальный сайт. – URL: https://crumblcookies.com (дата обращения: 09.05.2025).

3. Сайт «Веб-фреймворк Django (Python)». – URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/Django (дата обращения: 15.04.2025).

4. Моргунов, Е.П. PostgreSQL. Профессиональный SQL: учеб. пособие / Е.П. Моргунов; под ред. Е.В. Рогова. – М.: ДМК Пресс, 2025. – 444 с.

УДК 81`322.2, 004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ

© Янкин И.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: vanya.yankin9@gmail.com

Научный руководитель: Савельев Д.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: классификация текстов, нейросетевые модели, предобработка текста, сентимент анализ.

Классификация текстов, в частности, сентимент-анализ, позволяет выявлять эмоциональную окраску пользовательских отзывов, помогая компаниям анализировать запросы клиентов и внедрять новые продукты, отвечающие запросам пользователей, что повышает лояльность клиентов. Она находит применение в анализе пользовательских отзывов, мониторинге социальных сетей и автоматизации клиентской поддержки. Несмотря на успех современных трансформерных моделей, классические методы и простые нейросетевые архитектуры остаются актуальными в сценариях с ограниченными вычислительными ресурсами или небольшого набора данных.

Данное исследование направлено на сравнение классических и нейросетевых методов для многоклассовой классификации текстов, с акцентом на сентимент-анализ отзывов об общественных местах, и анализ влияния различных способов векторизации и предобработки исходных данных на качество классификации.

Для исследования был использован набор данных Yelp Reviews [1], содержащий 400 000 отзывов с оценками от 1 до 5 звезд, предоставленный компанией Yelp. Он прошёл предварительный анализ, включающий изучение распределения классов, длины текстов, частоты слов и корреляций. Это позволило выявить дисбаланс классов, который был устранён с помощью метода undersampling. Объём итогового набора составил 200 000 отзывов, равномерно распределённых по пяти классам.

В работе реализованы следующие классические модели: наивный байесовский классификатор, логистическая регрессия и SVM [2], с использованием TF-IDF для извлечения признаков. И следующие нейросетевые подходы: Bag of Embeddings (BoE), CNN [3] и LSTM [4], с использованием алгоритмов векторизации Word2Vec [5] и GloVe. Каждая модель была обучена и оценена с учетом различных сценариев предобработки, чтобы определить оптимальные подходы.

Производительность моделей оценивалась по взвешенной F1-мере, а также времени обучения. В таблице представлены ключевые результаты.

По результатам проведённых экспериментов можно сделать выводы, что нейросетевые модели, особенно LSTM, демонстрируют высшую точность (0,7810), но требуют значительно больше времени на обучение (345,713 секунд). Классические методы, например SVM, обеспечивают конкурентоспособную точность (0,7441) при значительно меньших вычислительных затратах (0,541 секунды), что делает их предпочтительными для сценариев с ограниченными ресурсами.

Таблица – Результаты классификации

Модель	F1-мера	Время обучения (с)
Наивный байесовский классификатор	0,6513	0,005
Логистическая регрессия	0,7215	0,104
SVM	0,7441	0,541
BoE	0,6818	164,112
CNN	0,7522	210,422
LSTM	0,7810	345,713

Предобработка текстов включала токенизацию, лемматизацию, стемминг, а также удаление или сохранение стоп-слов и пунктуации. Исследование показало, что оптимальным сценарием является удаление стоп-слов с сохранением пунктуации, что позволило достичь тестовой точности 0,7455. Этот подход сохраняет эмоциональные маркеры, такие как восклицательные знаки, которые важны для сентимент-анализа. Сценарий, включающий сохранение всех элементов, оказался наименее эффективным (тестовая точность 0,7150), что связано с увеличением шума и размерности словаря.

Использование n-грамм (униграммы, биграммы, триграммы) существенно улучшило результаты классических моделей. Например, для SVM включение триграмм увеличило точность на 2–3 %: 0,7441 по сравнению с 0,7141 при использовании только униграмм. Это подчеркивает важность использования контекста при классификации. Нейросетевые модели также извлекали выгоду из векторов контекста, но эффект был менее выраженным, так как они уже учитывают последовательности.

Исследование выявило, что нейросетевые модели, особенно LSTM, обеспечивают высшую точность для сложных задач классификации текстов, но требуют значительных вычислительных ресурсов. Классические методы, такие как SVM, предлагают хороший баланс между точностью и скоростью, что делает их подходящими для ограниченных сценариев. Предобработка – удаление стоп-слов и сохранение пунктуации – а также использование n-грамм, играет ключевую роль в оптимизации производительности моделей.

В данной работе проведен комплексный сравнительный анализ классических и нейросетевых методов для многоклассовой классификации текстов на примере сентимент-анализа. Были реализованы сценарии предобработки, извлечения признаков и обучения моделей, а также сформулированы рекомендации по выбору подходов в зависимости от доступных ресурсов. Результаты подчеркивают важность выбора модели классификации в соответствии с учётом баланса точности и вычислительной эффективности, а также значимость тщательной предобработки и использования контекстных признаков, таких как *n*-граммы.

Библиографический список

1. Yelp Inc. Yelp Dataset: [dataset] / Yelp Inc. – [San Francisco], 2013. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/yelp-dataset/yelp-dataset (дата обращения: 23.05.2025).

2. Joachims, T. Text categorization with Support Vector Machines: Learning with many relevant features / T. Joachims // Machine Learning: ECML–98. – Berlin: Springer, 1998. – Vol. 1398. – P. 137–142. . – DOI: 10.1007/BFb0026683.

3. Kim, Y. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification / Y. Kim // Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – Doha: ACL, 2014. – P. 1746–1751. – DOI: 10.3115/v1/D14–1181

4. Hochreiter, S. Long Short–Term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, то. 8. – P. 1735–1780. – DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

5. Mikolov, T. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // ArXiv / Cornell University. – 2013. – URL: https://arxiv.org/abs/1301.3781 (дата обращения: 21.05.2025).

Секция 9
Интеллектуальные вычисления в механике и их приложения в авиационной и ракетно-космической технике

УДК 004.8, 535, 539.3

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИЗОЛИНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© Анисимов Г.С., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: anisimov.gs@ssau.ru

Ключевые слова: интерференционно-оптические методы, обработка изображений, восстановление изолиний, искусственный интеллект.

Обработка интерференционных картин связана с рядом особенностей, связанных с проблемами обнаружения области интереса на изображении, а иногда невозможности обработки части или всего изображения для дальнейшего его анализа [1]. Это связано со сложностью измерительного устройства, зернистостью наблюдаемого излучения во время изучения диффузно отражающих или пропускающих объектов при работе в когерентном свете, высокой зашумленностью получаемых изображений [2; 3] и обширным количеством математических решений.

Цифровая обработка интерференционных картин обеспечивает аналитическую реконструкцию поля напряжений вблизи вершины трещины и позволяет проводить детальный анализ поля напряжений у вершины трещины. Этот метод является эффективным средством повышения точности данных, полученных интерференционно-оптическими методами за счет повышения резкости контуров интерференционных полос. Разработанные алгоритмы значительно упрощают анализ механических полей на больших расстояниях от вершины трещины, а также параметров разрушения для смешанных режимов нагружения, а именно, коэффициентов интенсивности напряжений, Т-напряжений и коэффициентов разложения в ряд Уильямса более высокого порядка. На рисунке представлены оригинальные изображения и соответствующие им восстановленные изолинии (изохромы/изоклины).

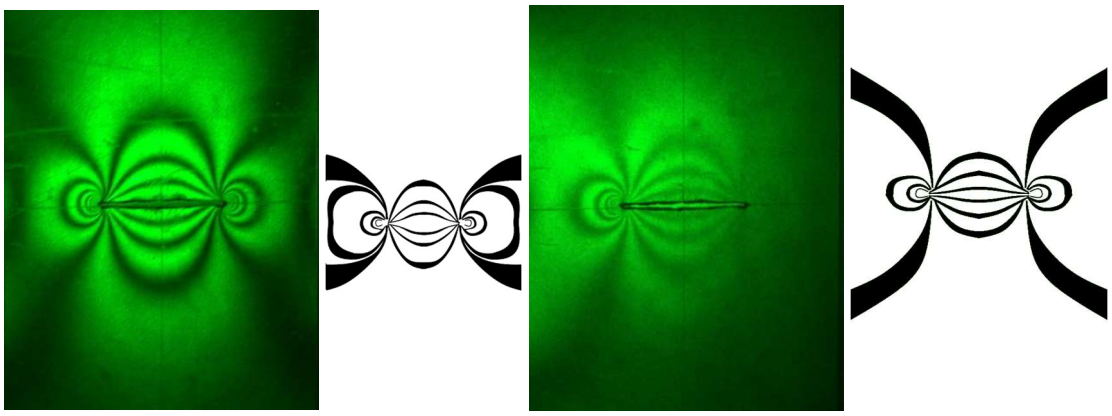


Рисунок – Слева на право исходное изображение и соответствующий ему востановленные изолинии

Для решения этих проблем авторами было разработано специализированное математическое программное обеспечение с использованием технологий

искусственного интеллекта, автоматизирующее цифровую обработку и анализ данных, полученных интерференционно-оптическими методами, необходимых для определения механических полей вблизи трещины в образцах различной конфигурации. Также была произведена классификация картин, полученных интерференционно-оптическими методами [4; 5] с помощью методов глубокого обучения [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №25-21-00272).

Библиографический список

1. Анисимов, Г.С. Экспериментальное определение полей у вершины трещины: метод голографической интерферометрии и метод корреляции цифровых изображений / Г.С. Анисимов, Л.В. Степанова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 3 – С. 39–56.

2. Еремеев, С.В. Метод разложения изображения по топологическим признакам / С.В. Еремеев, А.В. Абакумов, Д.Е. Андрианов, Д.В. Титов // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 6. – С. 939–947. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1080.

3. Lan, X, Zuo Z. Random-valued impulse noise removal by the adaptive switching median detectors and detailpreserving regularization / X. Lan, Z. Zuo // Optik. – 2014. – Vol. 125 (3). – P. 1101–1105.

4. Агафонова, Ю.Д. Совместный анализ рентгенологических протоколов и компьютерных томограмм для автоматического уточнения патологических состояний головного мозга / Ю.Д. Агафонова, А.В. Гайдель, П.М. Зельтер, А.В. Капишников, А.В. Кузнецов, Е.Н. Суровцев, А.В. Никоноров // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 1. – С. 152–159. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1201.

5. Wahlang, I. Brain magnetic resonance imaging classification using deep learning architectures with gender and age / I. Wahlang, A.K. Maji, G. Saha, P. Chakrabarti, M. Jasinski, Z. Leonowicz, E. Jasinska // Sensors. – 2022. – No. 22. – P. 1766.

6. Bala, W. A web application for adrenal incidentaloma identification, tracking, and management using machine learning / W. Bala, J. Steinkamp, T. Feeney, A. Gupta, A. Sharma, J. Kantrowitz, N. Cordelia, J. Moses, F.T. Draken // Appl Clin Inform. – 2020. – Vol. 11 (4). – P. 606–616. – DOI: 10.1055/s-0040-l 715892.

УДК 531

ПОЛУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА УРАВНЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО МОМЕНТА

© Апарин М.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: maxim.aparin2000@gmail.com

Научный руководитель: Дорошин А.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: аналитическое решение, управляющий момент, асимптотическое решение.

В данной работе рассматриваются получение аналитического решения уравнения управляющего момента, показанная в формуле (1). Данное уравнение является дополнением к системе уравнений определенном в [1].
Цель работы получить решение в аналитическом виде, для дальнейшего анализа системы при помощи метода Мельникова, а также проверить полученное решение, сравнив его с численным решением уравнения (1).

$$\mathrm{C}_1\left(\ddot{\tilde{r}} + \dot{\sigma}\right) = A_0 \sin(\mu t) - \nu\sigma \tag{1}$$

где $\tilde{r}$ – асимптотическое решение.

Используя решения, полученные в статье [1], выделим уравнение для $\delta(t)$, при условии, что $\sigma = \dot{\delta}(t)$, получим формулу (2).

$$\ddot{\delta} = \frac{A_0}{\mathrm{C}_1}\sin(\mu t) - \frac{\nu}{\mathrm{C}_1}\dot{\delta} - \ddot{\tilde{r}} \tag{2}$$

Для получения аналитического решения, воспользуемся формулой формального решения для $[\delta(t), \dot{\delta}(t)]$, формула (3).

$$\boldsymbol{\varphi}(t) = \boldsymbol{\Phi}(t)\cdot\boldsymbol{\Phi}^{-1}(0)\cdot\begin{bmatrix}\delta\\ \dot{\delta}\end{bmatrix} + \boldsymbol{\Phi}(t)\cdot\int_0^t \boldsymbol{\Phi}^{-1}(\xi)\cdot\mathbf{F}(\xi)\,\mathrm{d}\xi \tag{3}$$

Сократив и упростив формулу (3), получим простой вид дифференциального уравнения, формула (4).

$$\dot{\boldsymbol{\varphi}} = \boldsymbol{M}\cdot\boldsymbol{\varphi} + \boldsymbol{F}(t) \tag{4}$$

Решая уравнение (4), составим аналитическое решение из полученных значений, формула (5):

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\varphi}(t) &= \begin{bmatrix}1 & e^{\lambda_2 t}\\ 0 & \lambda_2 e^{\lambda_2 t}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1 & -1/\lambda_2\\ 0 & 1/\lambda_2\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\delta\\ \dot{\delta}\end{bmatrix} +\\ &+\begin{bmatrix}1 & e^{\lambda_2 t}\\ 0 & \lambda_2 e^{\lambda_2 t}\end{bmatrix}\cdot\int_0^t\begin{bmatrix}1 & -1/\lambda_2\\ 0 & 1/\lambda_2 e^{\lambda_2 \xi}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\ \frac{A_0}{\mathrm{C}_1}\sin(\mu\xi) - \dot{\tilde{r}}(\xi)\end{bmatrix}\mathrm{d}\xi\end{aligned} \tag{5}$$

Проанализируем полученное аналитическое решение и численное решение. На рисунке точками показано аналитическое решение, а сплошной линией – численное решение. Можно видеть, что аналитическое и численное решения совпадают, что показывает правильность полученного аналитического решения.

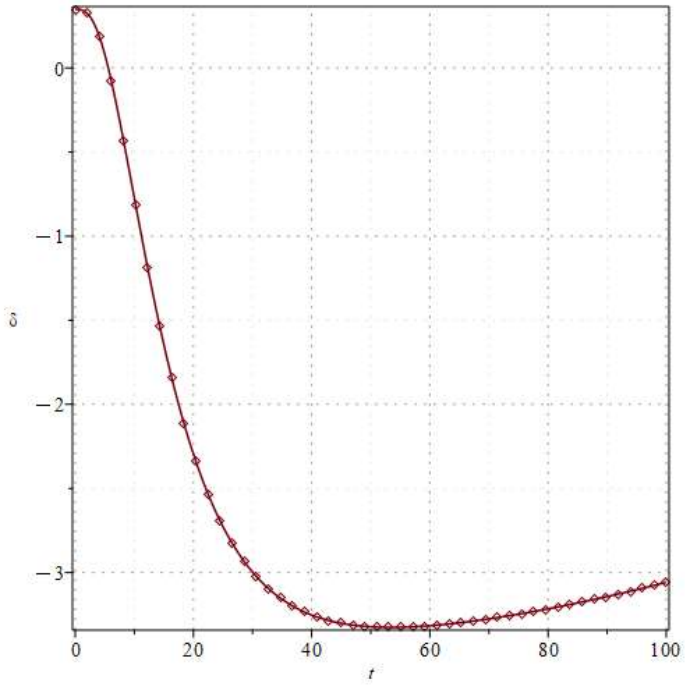


Рисунок – Аналитическое и численное решения системы

Полученное решение проверено и может использоваться для дальнейшего исследования в работе с анализом уравнения управляющего момента.

Библиографический список

1. Doroshin, Anton V. Heteroclinic chaos detecting in dissipative mechanical systems: Chaotic regimes of compound nanosatellites dynamics / Doroshin, Anton V., Alexandr V. Eremenko // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2023. – Vol. 127. – P. 1–20.

УДК 539.4, 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПЛАСТИНЫ НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ: МЕТОД МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

© Белова О.Н., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Belova.on@ssau.ru, Stepanova.lv@ssau.ru

Ключевые слова: молекулярная динамика, LAMMPS, поля напряжений, поля температур, релаксация системы.

При проектировании, расчетах и испытаниях деформируемых элементов микроэлектромеханических систем (МЭМС), например, оптико-механических модуляторов (управляемых дифракционных решеток) в рентгенолитографической оптике, возникает насущная необходимость учета атомистической структуры ультратонких элементов. Наиболее важными факторами при этом являются а) особое состояние поверхностных слоев деформируемых элементов б) влияние поверхностной энергии, распределенной на их границах в) изменение состояния материала при поглощении рентгеновского излучения г) эволюция дефектов кристаллической структуры в ходе взаимодействия с силовыми полями и излучением. Исследование этих вопросов для элементов МЭМС только лишь в рамках атомистического подхода представляется чрезвычайно затратным в вычислительном смысле ввиду огромного числа степеней свободы дискретной модели (атомов). В этой связи актуальным является разработка гибридных методов, синтезирующих атомистический и континуальный подходы. Эти методы позволяют упростить вычисления за счет многомасштабного моделирования: достаточно малый “представительный” объем рассматривается в рамках атомистической (квантовомеханической) модели, а все деформируемое тело «континуально» собирается из представительных объемов методами анализа на гладких многообразиях.

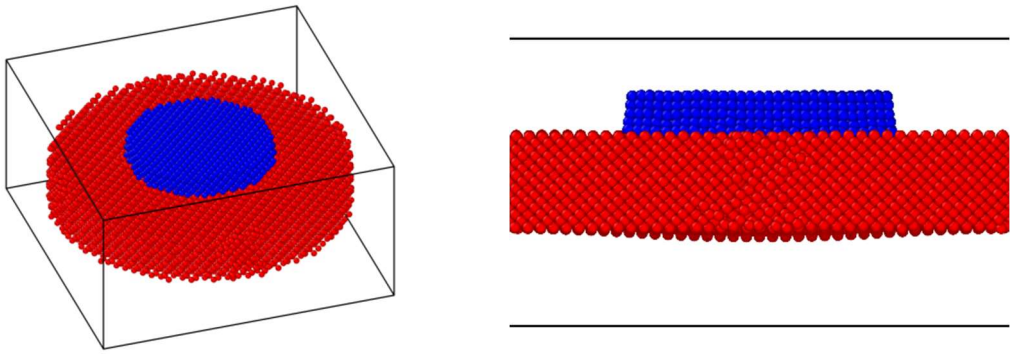


Рисунок 1 – Конфигурация модели в начальный момент времени

Для достижения поставленных целей в настоящей работе проведено молекулярно-динамическое моделирование алюминиевой пластины на кремниевой подложке. К алюминиевой пластине приложено давление. Расчеты проведены с помощью программы LAMMPS, реализующей метод молекулярной динамики [1–5]. Взаимодействие между атомами кремния задано с помощью потенциала Терсоффа

(Si.tersoff), атомы алюминия взаимодействуют между собой в соответствии с потенциалом внедренного атома EAM (Al_zhou.eam). Поскольку Al (металл) и Si (полупроводник) имеют разную природу связи, их взаимодействие можно описать с помощью потенциала Леннарда-Джонса (lj/cut).

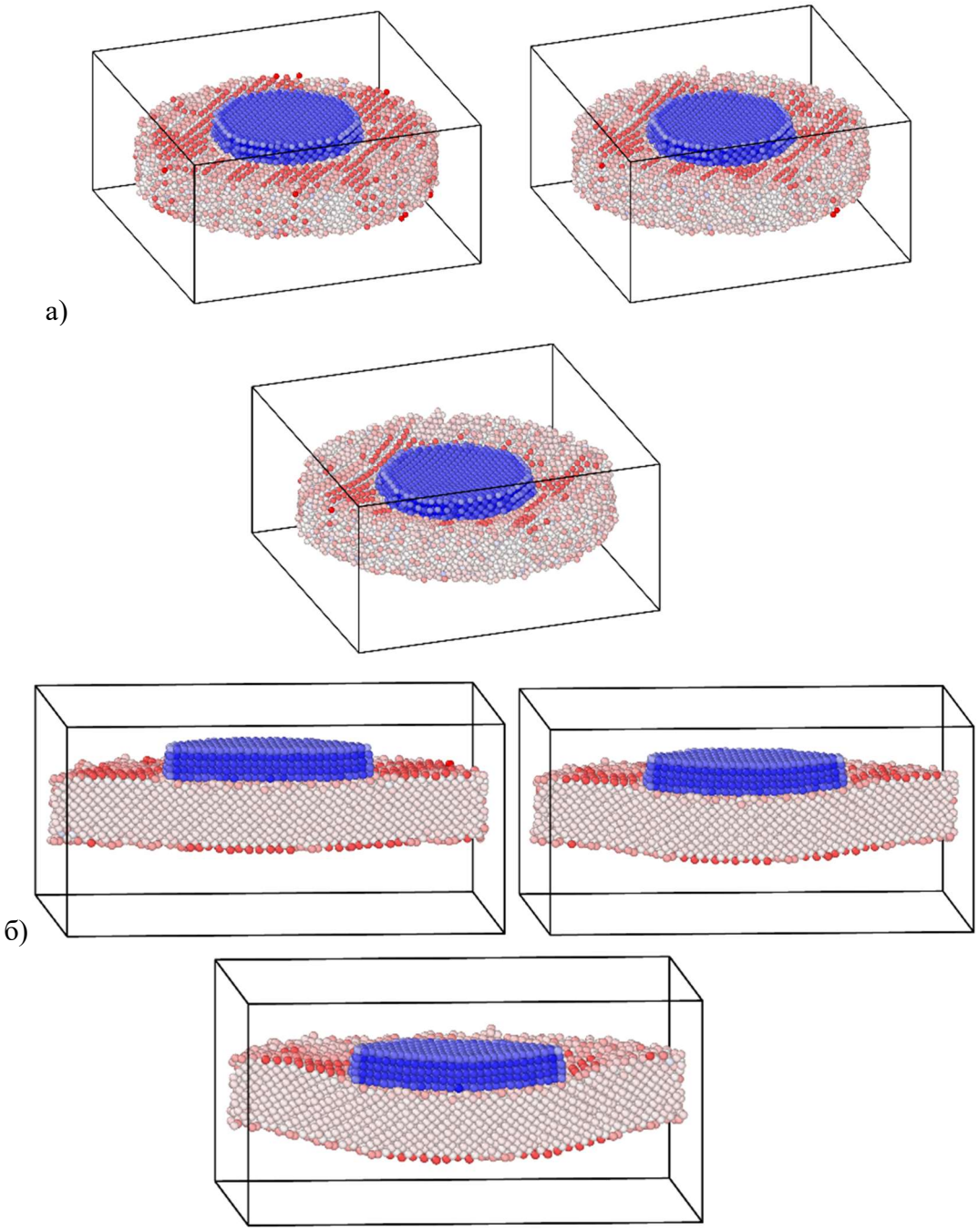


Рисунок 2 – Конфигурация модели с течением времени: а) вся модель и б) сечение модели посередине

Параметр кристаллической ячейки для алюминия равен 4.05 Ангстрем, для кремния 5.431 Ангстрем. Алюминиевая пластина имела радиус 28.35 Ангстрем и толщину 8.1 Ангстрем. Радиус и толщина кремниевой подложки составляют 59.741 Ангстрем и 19.0085 Ангстрем соответственно. Всего модель содержала 13223 атома кремния и 1711 атомов алюминия. На первом шаге выполнена

минимизация энергии. Далее выполнено термостатирование при 300 К с помощью термостата Нозе-Гувера. К пластине приложена сила, направленная вниз, величиной 0.1 эВ/А на атом. Шаг интегрирования по времени задан равным 0.5 фемтосекунд. Все время моделирования равно 2.5 пикосекунды. На рис. 1 представлена конфигурация модели в начальный момент времени. На рис. 2 приведены результаты расчетов с течением времени. Цветом показана потенциальная энергия на атом. Визуализация выполнена с помощью программы OVITO.

Степанова Л.В. благодарит Российский научный фонд (проект № 25-11-00333).

Библиографический список

1. Мушанкова, К.А. Определение коэффициентов асимптотического ряда для полей напряжений на основе молекулярно-динамических вычислений / К.А. Мушанкова, Л.В. Степанова // Прикладная механика и техническая физика. – 2025. – № 2 (390). – С. 196–212. – DOI 10.15372/PMTF202415537.

2. Stepanova, L.V. Atomistic and continuum Ascertainment of The crack tip stress fields in anisotropic elastic cubic media / L.V. Stepanova, K.A. Mushankova // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2024. – Vol. 133. – P. 104613. – DOI: 10.1016/j.tafmec.2024.104613.

3. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25. – DOI: 10.32326/1814-9146-2024-86-1-15-25.

4. Белова, О.Н. Моделирование распространения и анализ траектории наклонной трещины в трубе с помощью расширенного метода конечных элементов и метода молекулярной динамики / О.Н. Белова, Л.В. Степанова // Проблемы прочности и пластичности. – 2023. – Т. 85, № 4. – С. 491–499.

5. Степанова, Л.В. Идентификация коэффициентов интенсивности напряжений, Т-напряжений и коэффициентов регулярных слагаемых высокого порядка в разложении Уильямса с помощью молекулярно-динамического моделирования / Л.В. Степанова, О.Н. Белова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. – № 2. – С. 47–77.

УДК 539.4, 519.6

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛА (ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ) И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ПРИМЕРЕ ПЛОСКИХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ПРИ ДВУХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ)

© Брагина И.Н., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Bragina.I.N@yandex.ru

Ключевые слова: диаграмма деформирования, тонкостенные оболочки, параметр разрушения, плоская круглая пластина, двухосное напряженное состояние, метод конечных элементов.

В работе выполнена серия последовательных статических прочностных расчетов разработанной модели плоской круглой пластины, в которой изменялся глобальный размер элементов КЭМ (a1 = 2 мм, a2 = 0,5 мм) и вариант модели поведения материала (диаграмма деформирования) для изучения их влияния на конструктивную прочность конструкции, механические свойства материалов, с последующим сравнением результатов расчетов, полученных МКЭ с результатами испытаний пластины. Рядовые зоны оболочечных конструкций, с безмоментным НДС, имеют переходы к другим жесткостным элементам и разрушаются в краевых зонах со сложным НДС. Это необходимо учитывать, при назначении толщин рядовых зон, не увеличивая при этом запасы по прочности и устойчивости [1–3].

Механические характеристики материала для различных диаграмм деформирования при нормальной температуре 20 ºС, принятые для виртуальных испытаний представлены в таблице.

Таблица – Механические характеристики материала при нормальной температуре 20 ºС для различных диаграмм деформирования, принятые для виртуальных испытаний

Обозначение диаграммы деформирования	$\sigma_{в\ ист}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	$\varepsilon_{в\ ист}$, мм/мм
Билинейная диаграмма 4% (Вар1)*	390	260	4	0,03922
Билинейная диаграмма 12% (Вар2)	420	260	12	0,11332
Аппроксимированная диаграмма деформирования 4% (Вар3)*	390	260	4	0,03922
Аппроксимированная диаграмма деформирования 12% (Вар4)	420	260	12	0,11332
Примечание. * - диаграммы моделируют поведение материала при двухосном напряженном состоянии.				

Результаты конечно-элементного моделирования приведены на рис. 1–2.

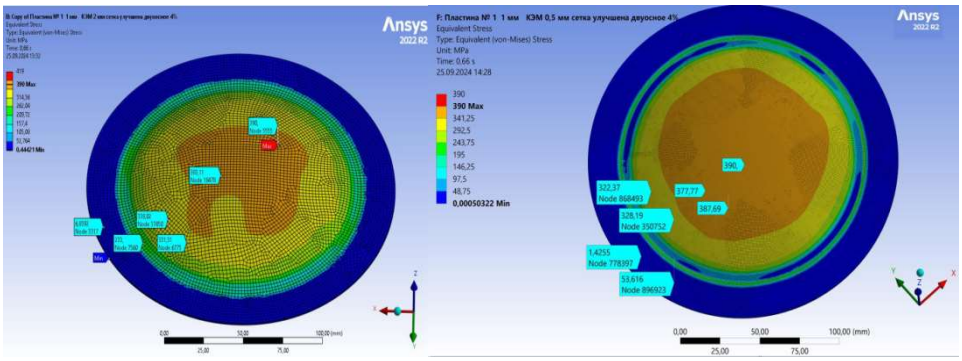


Рисунок 1 – Распределение напряжений в плоской круглой пластине в зависимости от глобального размера элемента КЭМ (a1= 2 мм, a2 = 0,5 мм) и диаграммы деформирования

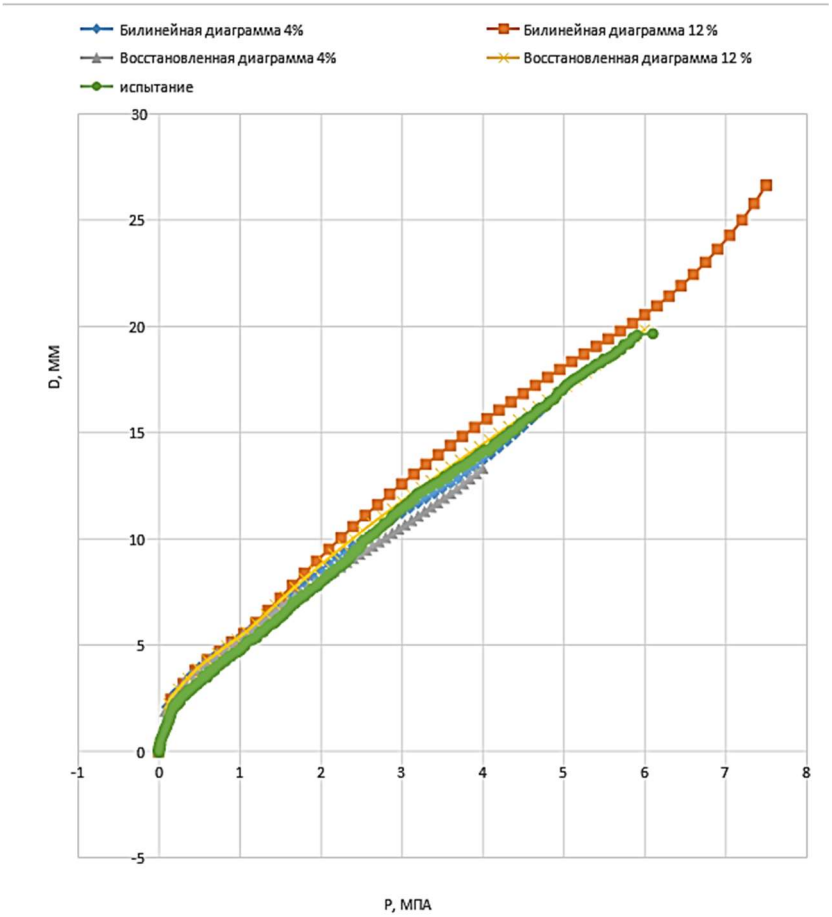


Рисунок 2 – Сопоставление расчётных и экспериментальных зависимостей d, мм от P, МПа для образца плоской круглой пластины

Изменение глобального размера КЭМ, как для оболочечных, так и для твердотельных типов конечных элементов, дает разницу по максимальным перемещениям dx (в полюсе пластины) и по критическому давлению pкр не более 4 %.

При использовании билинейной и аппроксимированной диаграмм деформирования, при одном значении относительного остаточного удлинения, результаты расчетов по критическому давлению pкр показывают неплохую сходимость (до 8 %), разница по максимальным перемещениям dx (в полюсе пластины) – до 7 %.

Значения максимальных перемещений dx (в полюсе пластины) и критического давления ркр, при использовании билинейной и аппроксимированной диаграммы деформирования со значением относительного остаточного удлинения 12 %, были выше в среднем на 40 %, чем для диаграмм деформирования со значением относительного остаточного удлинения 4 %.

По результатам расчетов разрушение плоских круглых пластин с однородной (постоянной) толщиной должно происходить в полюсной части, где образуется чистое двухосное НДС ($\varepsilon 2 / \varepsilon 1 \approx 1$).

По результатам испытаний образцов плоских круглых пластин наибольшая сходимость полученных расчетных и экспериментальных данных наблюдается для аппроксимированной диаграммы деформирования со значением относительного остаточного удлинения 12 %.

Библиографический список

1. Овчинников, И.И. Механика конструкций с повреждениями: нелинейные модели и методы определения долговечности конструкций, работающих в агрессивных средах / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников // Вестник центрального регионального отделения РААСН. – Тамбов: ТГТУ, 2012.

2. Nurick, G.N. Deformation and tearing of clamped circular plates subjected to localised central blast loads, Recent developments in computational and applied mechanics: a volume in honour of John B. Martin / G.N. Nurick, A.M. Radford // International centre for numerical methods in engineering (CIMNE). – Barcelona, Spain, 2017.

3. Eslam, Y. Experimental and numerical analysis of circular plates under uniform loading / Y. Eslam, S. Gomaa, Mourad // Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Cairo University. – Giza, Egypt, 2020.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ: ВЕРИФИКАЦИЯ С РЕШЕНИЕМ ХАТЧИНСОНА-РАЙСА-РОЗЕНГРЕНА

© Гацко А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

e-mail: error37lol@gmail.com, stepanova.lv@ssau.ru

Ключевые слова: молекулярная динамика, трещина, атомистические напряжения, линейный режим деформирования, нелинейный режим деформирования.

Метод молекулярной динамики является мощным инструментом компьютерного моделирования, широко используемым в современной науке для изучения динамики атомов и молекул в различных условиях, что во многих случаях позволяет отказаться от трудоемких натурных экспериментов. В современной механике деформируемого твердого тела он позволяет проводить расчеты параметров механики разрушения, включая детальный анализ процессов зарождения и распространения трещин, а также эволюции пластической деформации в критической области у вершины трещины.

Для реализации эксперимента методом молекулярной динамики в программном комплексе LAMMPS [3] был разработан алгоритм, моделирующий поведение пластины с центральным вырезом при одноостном растяжении. Геометрические размеры пластины – 361,5 x 361,5 x 3,615 A˚, вырез длиной 36.15 A˚ моделировался путем исключения межатомных взаимодействий между двумя заранее определенными группами атомов. Для задания межатомных взаимодействия был выбран потенциал погруженного атома, а именно Cu_u3.eam, что соответствует ГЦК-меди. Для минимизации граничных эффектов были использованы периодические граничные условия, был реализован процесс минимизации энергии системы для достижения равновесной конфигурации системы. Пластина растягивается вдоль оси y с постоянной скоростью деформации ε_{22} = 0.01 пс$^{-1}$. Температура моделирования поддерживалась на уровне 300 К с помощью NVT ансамбля. В данном температурном режиме более обоснованным представляется сравнение результатов с решением Хатчинсона-Райса-Розенгрена [1], так как наблюдаются такие эффекты, как развитие пластической деформации и степенная зависимость между напряжениями и деформациями, следующая закону Рамберга-Осгуда. На каждом шаге моделирования компоненты тензора напряжений и деформаций записывались в выходной файл. Полученные данные затем визуализировались с помощью пакета OVITO, принимающего этот файл в качестве исходных данных для построения графиков и анализа. Для анализа в дальнейшем с методом молекулярной динамики были построены графики угловых распределений при различных значениях n (рис. 1, 2). Был проведён сравнительный анализ с данными, полученными с использованием молекулярно-динамического пакета LAMMPS. Точки соответствуют атомистическому моделированию, сплошные линии соответствуют решению Хатчинсона-Райса-Розенгрена [2].

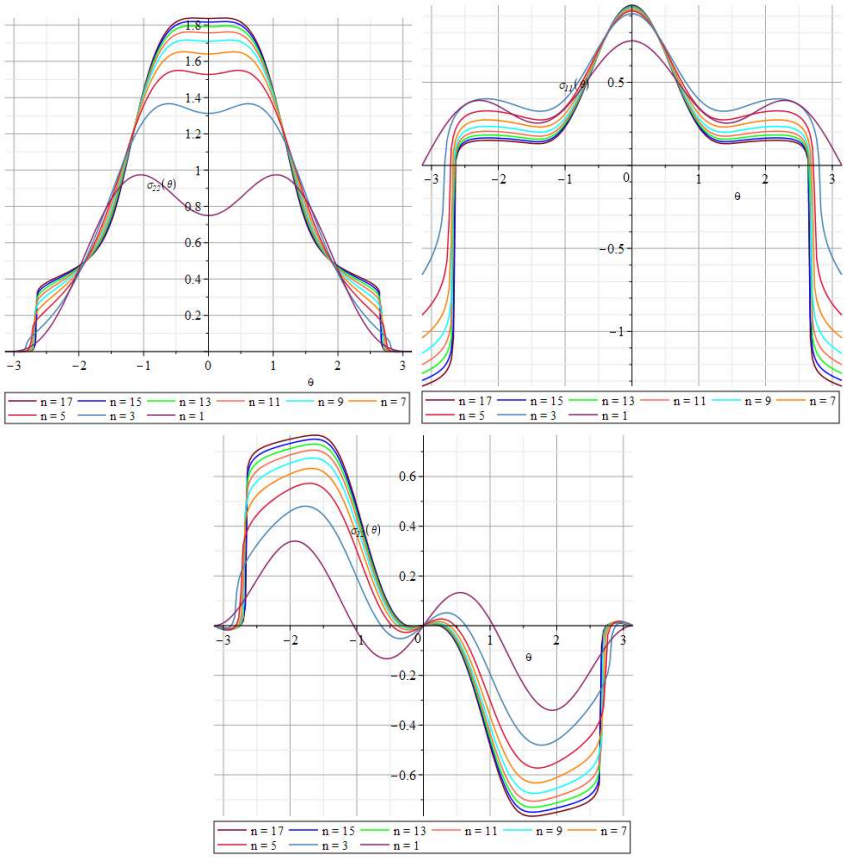


Рисунок 1 – Распределение компонент σ_{22}, σ_{11}, σ_{12} для различных значений параметра упрочнения n

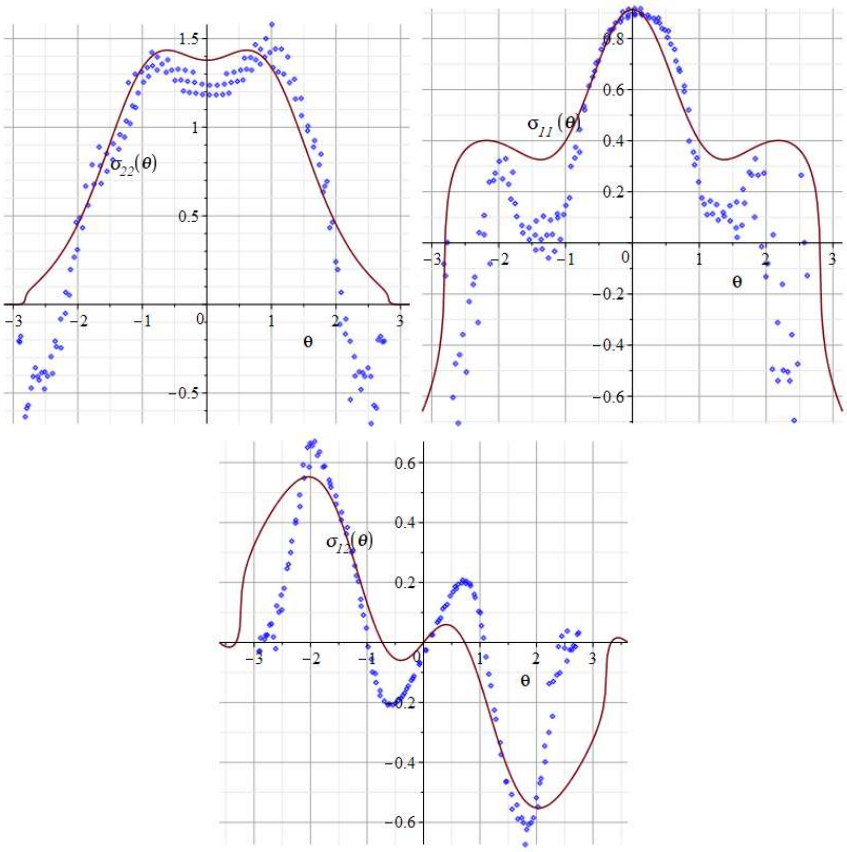


Рисунок 2 – Сравнительное распределение компонент σ_{22}, σ_{11}, σ_{12}

При проведении атомистического моделирования с учетом условий пластического течения меди при температуре 300 К наблюдается отсутствие сходимости с решением Хатчинсона-Райса-Розенгрена, что обусловлено комплексом фундаментальных факторов. Во-первых, существенное влияние оказывают тепловые флуктуации при моделируемой температуре 300 К, которые принципиально не учитываются в континуальном, но играют важную роль в атомистическом моделировании, вызывая стохастические вариации в поведении дислокаций. Во-вторых, дискретная природа кристаллической решетки в атомистических расчетах принципиально отличается от континуального приближения, что особенно заметно в зонах концентрации напряжений вблизи вершины трещины. Всё это приводит к активации дислокационных процессов и преждевременному затуплению вершины трещины.

Библиографический список

1. Hutchinson, J.W. (1968). Singular behaviour at the end of a tensile crack in a hardening material / J.W. Hutchinson // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 1968. – Vol. 16 (1). – P. 13–31.

2. Степанова, Л.В. Математические методы механики разрушения / Л.В. Степанова. – М.: Физматлит, 2009. – 336 с.

3. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25. – DOI: 10.32326/1814-9146-2024-86-1-15-25.

УДК 539.374

КРУЧЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ П-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ, АРМИРОВАННОГО УПРУГИМИ ВОЛОКНАМИ

© Евтихов Д.О.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

Научный руководитель: Сенашов С.И., д-р физ.-мат. наук, профессор
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: evtikhov_do@sibsau.ru

Ключевые слова: упругопластическая граница, задача кручения стержней прокатного профиля, стержни, армированные упругими волокнами, законы сохранения.

В настоящее время использованию композитных материалов уделяется все больше внимания [1–5].

Нахождение упругопластической границы в скручиваемых стержнях, необходимо для нахождения предела прочности изделия или для его упрочнения при помощи пластических деформаций. При этом важно, чтобы пластическому деформированию подвергались только близкие к внешней поверхности слои материала, и чтобы в процессе деформирования не произошло разрушение упрочняемого изделия и не ухудшились его эксплуатационные характеристики. В последнее время широкое распространение получили стержни прокатного профиля, армированные упругими волокнами. Они обладают рядом преимуществ перед металлическим изделиями. Как правило, они меньше весят и армирование позволяет им выдерживать большие нагрузки до разрушения, чем их металлические аналоги. Устоявшихся методов расчета их несущей способности в настоящее время практически нет.

Перечисленные проблемы приводят к задаче нахождения упругопластической границы стержней прокатного профиля, армированных упругими волокнами [6] До работ авторов [7–9] не было представлено эффективного метода, который позволял бы решать эту задачу. Использование законов сохранения для решения дифференциальных уравнений позволило получить аналитические формулы для нахождения упругопластической границы стержней. В данной работе предложен метод построения упругопластической границы в скручиваемых стержнях прокатного профиля, армированных упругими волокнами. Этот метод позволяет сделать оценку несущей способности таких стержней.

Постановка задачи

Рассмотрим прямолинейный стержень, изготовленный из упруго пластического материала, армированный упругими n волокнами.

Матрица стержня имеет модуль упругости G и предел текучести при чистом сдвиге k. Волокна расположены вдоль стержня в произвольном порядке параллельно оси z. Каждое волокно имеет круглое сечение, центр располагается в точке A_i с координатами (x_i, y_i), радиус волокна равен R, модуль упругости G_i. Пределы текучести волокон превосходят предел текучести матрицы. Касательное напряжение между волокном и матрицей равно $\tau < k$.

Заданный процесс описывается уравнением равновесия

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}=0, \tag{1}$$

и уравнением совместности деформаций

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y}=\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x}+a, \tag{2}$$

где $a=-G\theta$, θ – угол закручивания, G – модуль упругости.

Граничные условия на боковой поверхности стержня, свободной от напряжений, и находящейся в пластическом состоянии

$$\tau_{xz}n_0+\tau_{yz}m_0=0, \quad \tau_{xz}^2+\tau_{yz}^2=k^2,$$

где n_0, m_0 – компоненты вектора нормали к боковой поверхности; которые можно записать в виде

$$\tau_{xz}=\mp mk, \tau_{yz}=\pm nk. \tag{3}$$

На границе между волокном и матрицей выполняются условия

$$\tau_{xz}m_i-\tau_{yz}n_i=\tau, \quad \tau_{xz}^2+\tau_{yz}^2=k^2,$$

где n_i, m_i - компоненты вектора нормали к боковой поверхности *i*-го волокна, которые запишем в виде.

$$\tau_{xz}=m\tau\pm n\sqrt{k^2-\tau^2}, \qquad \tau_{yz}=n\tau\pm m\sqrt{k^2-\tau^2}. \tag{4}$$

Законы сохранения уравнений (1) – (2)

Для удобства дальнейших вычислений введем следующие обозначения:

$$\tau_{xz}=u, \tau_{yz}=v.$$

Тогда задача (1) – (4) запишется так

$$F_1=u_x+v_y=0,\ F_2=u_y-v_x-a=0, \tag{5}$$

на боковой поверхности

$$u=\mp mk, v=\pm nk,$$

на границе волокна и матрицы

$$u=m\tau\pm n\sqrt{k^2-\tau^2}, \qquad v=n\tau\pm m\sqrt{k^2-\tau^2}.$$

Определение. Законом сохранения для системы уравнений (5) назовем выражение вида

$$A_x(x,y,u,v)+B_y(x,y,u,v)=\omega_1F_1+\omega_2F_2, \tag{6}$$

где ω_1, ω_2 – некоторые линейные операторы, одновременно не равные тождественно нулю.

Пусть

$$A=\alpha^1u+\beta^1v+\gamma^1,\ B=\alpha^2u+\beta^2v+\gamma^2, \tag{7}$$

где $\alpha^{i1}.\beta^i, \gamma^i$ – функции только от $x, y.$

Подставляя (7) в (6), получаем

$$\alpha_x^1+\alpha_y^2=0,\ \beta_x^1+\beta_y^2=0,\ \alpha^1=\omega_1,$$

$$\beta^1=-\omega_2,\ \alpha^2=\omega_2,\ \beta^2=\omega_1,\ \gamma_x^1+\gamma_y^2=-a\omega_2.$$

Отсюда следует

$$\alpha_x^1 - \beta_y^1 = 0,\ \beta_x^1 + \alpha_y^1 = 0,\ \gamma_x^1 + \gamma_y^2 = -a\beta^1. \tag{8}$$

Рассмотрим для системы уравнений (8) два решения:

$$\alpha^1 = \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2},\ \beta^1 = -\frac{y - y_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2},\ \gamma^1 = -a\ arctg\frac{x - x_0}{y - y_0}, \gamma^2 = 0, \tag{9}$$

$$\alpha^1 = \frac{y - y_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2},\ \beta^1 = \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2},\ \gamma^2 = -a\ arctg\frac{y - y_0}{x - x_0},\ \gamma^1 = 0, \tag{10}$$

где x_0, y_0 - постоянные.

Более подробно эти вычисления рассматриваются в [7].

Используя данные вычисления для построения упругопластической границы для стрежня П-образного сечения, прокатного профиля, нами были разработана программа для ЭВМ [10] в среде Maple. Результаты расчета представлены далее.

На рисунке представлено изменение упругопластические границы прокатного профиля П-образного сечения, армированного упругими волокнам в зависимости от изменения значения крутящего параметра а.

Профиль швеллер П-образного сечения, используется в качестве опорного изделия в строительстве и тяжелом машиностроении. Подходит для создания межэтажных перекрытий, лестниц, элементов строительной и специальной техники. Может иметь прямые и наклонные грани полок.

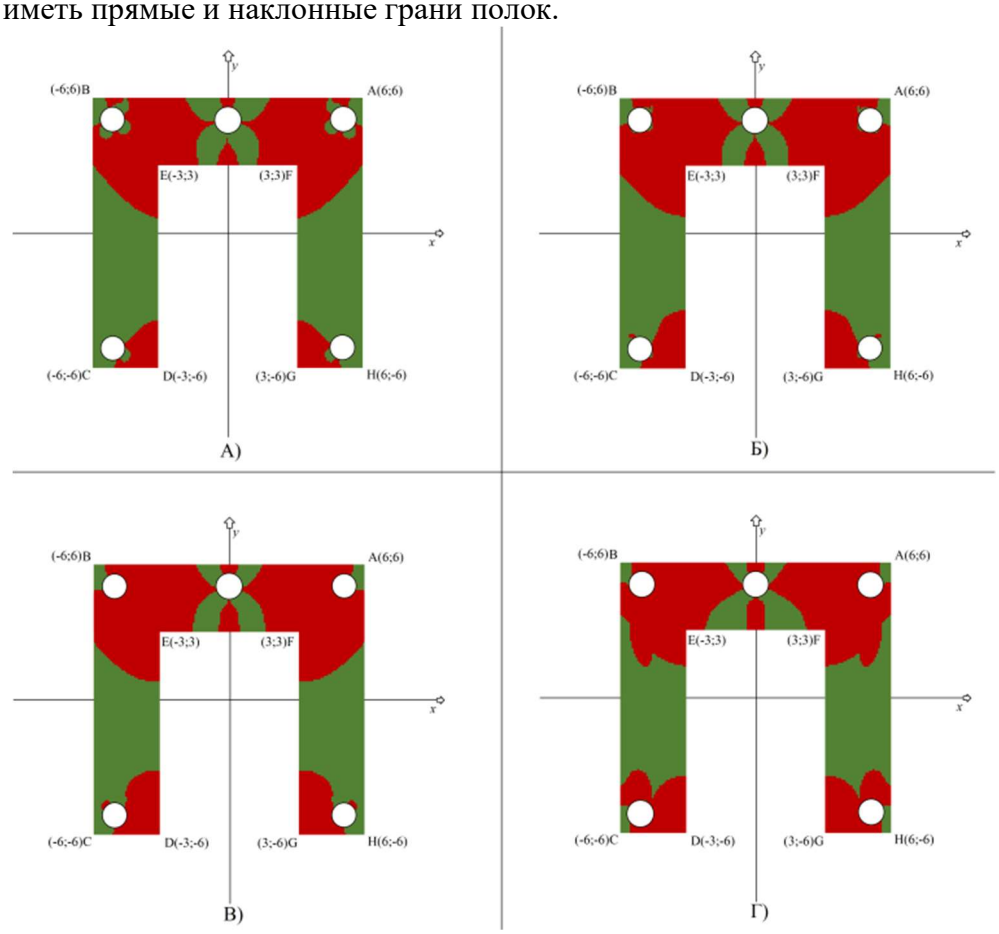


Рисунок – Упругопластическая граница швеллер профиля, армированного упругими волокнами, при значениях крутящего параметра: А)а=-0,6 Б) а=-1 В) а=-1,6 Г) а=-3.

Заключение

Рассмотрена задача о упругопластическом кручении стержней прокатного профиля, армированных упругими волокнами. Для решения задачи использовались законы сохранения. Разработана программы для ЭВМ [10] для нахождения упругопластической границы стержня. Приведены результаты работы программы с различными значениями крутящего параметра для швеллер стержня П-образного сечения.

Библиографический список

1. Композитная сталь / Н.С. Саркисян, А.О. Саркисян, А.А. Колчин [и др.] // Композиты и наноструктуры. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 202–207. – DOI: 10.36236/1999-7590-2024-16-3-202-207. – EDN: EAQPSQ.

2. Структурно-функциональный анализ как основа проектирования структуры массоэффективных силовых элементов конструкций из композиционных материалов / П.В. Соловьев, Ю.С. Первушин, В.С. Жернаков, А.В. Ахмедьянов // Композиты и наноструктуры. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 237–246. – DOI: 10.36236/1999-7590-2023-15-4-237-246. – EDN: FASWSZ.

3. Богачева, В.Э. Разрыв по моде I адгезионного слоя с учетом диагональных компонент тензора напряжений / В.Э. Богачева, Л.В. Глаголев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2022. – № 4 (54). – С. 47–56. – DOI: 10.37972/chgpu.2022.54.4.005. – EDN: ULGOYA.

4. Голышев, А.А. Влияние керамического волокна SiC в металломатричном композите на его стойкость при высокоскоростном нагружении / А.А. Голышев, С.В. Долгова // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т. 63, № 6 (376). – С. 145–149. – DOI: 10.15372/PMTF20220616. – EDN: PUGZHK.

5. Сенашов, С.И. Изгиб композитного бруса / С.И. Сенашов, И.Л. Савостьянова, А.Н. Яхно // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2024. – Т. 25, № 1. – С. 25–32. – DOI: 10.31772/2712-8970-2024-25-1-25-32. – EDN RRHQRY.

6. Аннин, Б.Д. Упруго-пластическая задача / Б.Д. Аннин, Г.П. Черепанов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 238 с. – ISBN 5-7692-0297-1. – EDN: XXGCWN.

7. Киряков, П.П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П.П. Киряков, С.И. Сенашов, А.Н. Яхно. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 192 с.

8. Senashov, S.I. Conservation laws, hodograph transformation and boundary value problems of plane plasticity / S.I. Senashov, A.N. Yakhno // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications. – 2012. – Vol. 8. – P. 071. – DOI: 10.3842/SIGMA.2012.071. – EDN: RGOBNN.

9. Сенашов, С.И. Об упругопластическом кручении стержня / С.И. Сенашов, О.Н. Черепанова, А.В. Кондрин // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 3 (49). – С. 100–103. – EDN: RFWONN.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614585 Российская Федерация. Построение упругопластической границы скручиваемого П-образного профиля, армированного упругими волокнами: заявл. 12.02.2025: опубл. 24.02.2025 / Д.О. Евтихов, И.Л. Савостьянова, С.И. Сенашов, О.Н. Черепанова. – EDN: DDKGDF.

УДК 539.3, 519.6

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СОПОСТАВЛЕНИИ С КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕЙ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КОНЦЕНТРАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЙ

© Ермилов Е.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: katzero_0506@mail.ru

Научный руководитель: Степанова Л.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: молекулярная динамика, континуальная механика, напряженно-деформированное состояние, концентраторы напряжений.

В данной работе выполнено сопоставление молекулярно-динамического и континуального решений задачи о бесконечной трещине в никелевой пластине с центральным разрезом. В качестве подхода механики сплошных сред представлено решение краевой задачи напряжённо-деформированного состояния в асимптотическом приближении по Уильямсу. Молекулярно-динамический метод реализован с помощью программного обеспечения LAMMPS, в котором проводилось моделирование исследуемого образца с дальнейшим построением полей напряжений при различных временных шагах.

Для сравнения молекулярно-динамического решения с континуальным в рамках упругой деформации производится реализация функции на языке программирования python с вызовом библиотечной интеграции LAMMPS. Конфигурация представляет собой пластину из никеля с линейными размерами 350,63×350,63 ×10,52 Å с трещиной длиной 38,48 Å в NPT-ансамбле с температурой 300 K. К пластине применена одноосевая растягивающая нагрузка.

Рассматривается краевая задача следующего вида:

$$\begin{cases} \sigma_\theta = \frac{\partial^2 \chi}{\partial r^2}, \sigma_r = \nabla^2 \chi - \sigma_\theta, \tau_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial \chi}{\partial \theta}\right), \\ \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0, \theta = \pm\alpha. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь σ, τ – компоненты тензора напряжений, χ – функция напряжения Эри, $r; \theta$ – радиальная и угловая координаты.

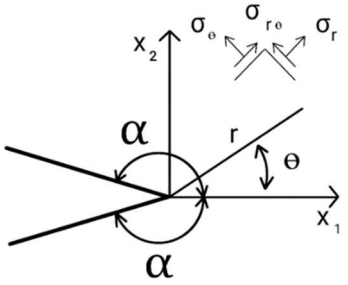


Рисунок 1 – Напряжения в полярной системе координат

Решение задачи проводится посредством нотации Колосова-Мусхелишвили [1; 2] при помощи аппарата теории функции комплексного переменного. Компоненты

напряжений представлены в следующем виде с универсальными угловыми распределениями для нормального отрыва $f_{2n+1}^{m,ij}$:

$$\sigma_{ij}(r,\theta) = a_2^1 f_2^{1,ij}(\theta) + \sum_{m=1}^{2}\sum_{n=0}^{\infty} a_{2n+1}^{m} f_{2n+1}^{m,ij}(\theta) r^{n-\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$a_{2n+1}^1 = \frac{(-1)^{n+1}(2n)!\,\sigma_{22}^{\infty}}{2^{3n+\frac{1}{2}}(n!)^2(2n-1)a^{n-\frac{1}{2}}}, n \geq 0, a_2^1 = \frac{1}{4}\sigma_{22}^{\infty}(\alpha-1), a_k^1 = 0. \quad (3)$$

На рисунке 2 представлены поля напряжений компонент соответствующего тензора. Также были построены графики зависимости компонент тензора напряжений от угловой координаты при вершине разреза (рисунок 3).

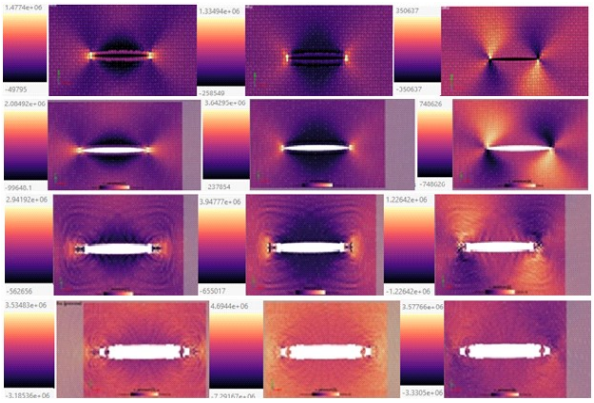


Рисунок 2 – Распределение полей напряжений для временных шагов 2,5; 5; 7,5; 10 пс

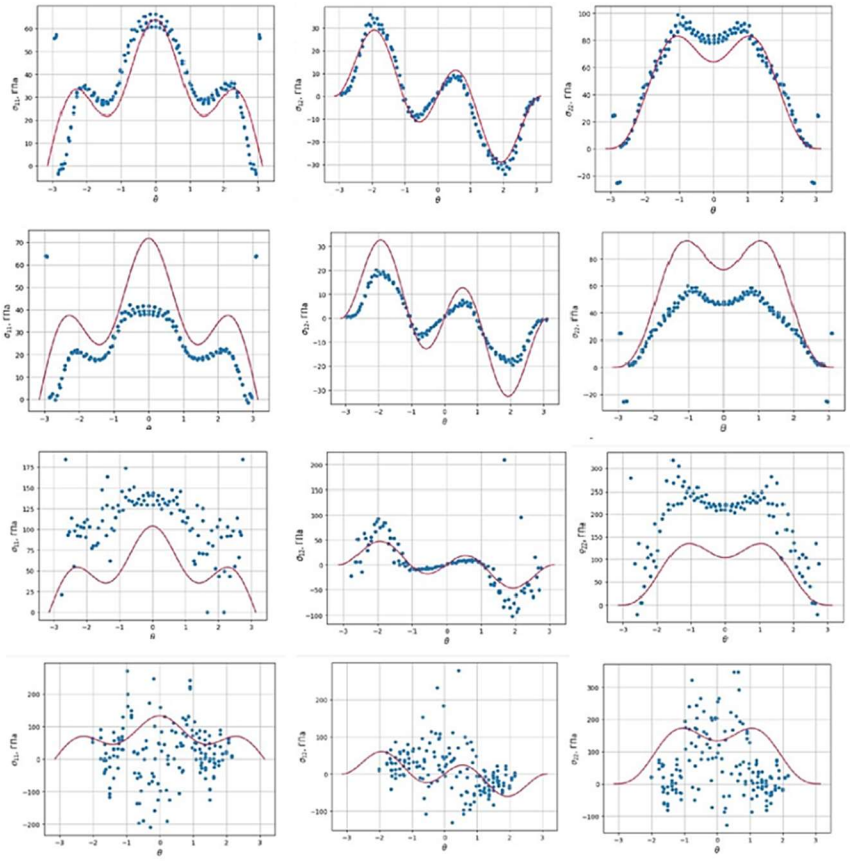


Рисунок 3 – Зависимость компонент тензора напряжений (слева направо – σ_{11}; σ_{12}; σ_{22}) от угла при вершине трещины

Видно, что на макроскопическом масштабе при построении континуального решения следует учитывать процессы накопления повреждений, которые аккумулируются вблизи вершины трещины и чётко визуализируются на атомистическом уровне. На начальных временных шагах (для линейного режима деформирования) решения совпадают, однако при приближении к нелинейному режиму деформирования следует обратиться к решениям деформационной теории пластичности (решение Хатчинсона–Райса–Розенгрена) [3–5].

Библиографический список

1. Степанова, Л.В. Влияние высших приближений в асимптотическом разложении М. Уильямса поля напряжений на описание напряженно деформированного состояния у вершины трещины. Часть I / Л.В. Степанова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 63–79.

2. Hello, G. Analytical determination of coefficients in crack-tip stress expansions for a finite crack in an infinite plane medium / G. Hello, B. Mabrouk, J. Roelandt // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – Vol. 49, issues 3–4. – P. 556–566. – DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2011.10.024.

3. Тартыгашева, А.М. Контурные интегралы в нелинейной механике разрушения при смешанных формах деформирования / А.М. Тартыгашева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2022 – №. 2 – С. 10–24. – DOI: 10.15593/perm.mech/2022.2.02.

4. Stepanova, L.V. Asymptotic stress field in the vicinity of a mixed-mode crack under plane stress conditions for a power-law hardening material / L.V. Stepanova, E.M. Yakovleva // Journal of Mechanics of Materials and Structures. – 2015. – Vol. 10, no. 3. – P. 367–393. – DOI: 10.2140/jomms.2015.10.367.

5. Степанова, Л.В. Параметр поврежденности Ю.Н. Работнова и описание длительного разрушения: результаты, современное состояние, приложение к механике трещин и перспективы / Л.В. Степанова, С.А. Игонин // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – Т. 56, № 2 (330). – С. 133–145.

УДК 539.3

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЕ ГЦК МЕДИ

© Леопаева Л.А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lleopaeva@mail.ru

Ключевые слова: Atomsk, LAMMPS, OVITO, молекулярная динамика, поликристалл, трещина, пластина.

Целью работы является численное моделирование распространения трещины в поликристаллической медной пластине с использованием метода молекулярной динамики. Особое внимание уделено анализу напряжённого состояния в окрестности вершины трещины.

Атомистическая модель поликристаллической меди с гранецентрированной кубической решёткой, содержащая 20 зёрен и 12 246 атомов, была создана в программе Atomsk. Размер модели составлял 200 × 200 × 3,615 Å, трещина длиной 30 Å закладывалась в центральной части образца путём отключения взаимодействий между двумя группами атомов. Визуализация и анализ проводились в OVITO. Растягивающая нагрузка прикладывалась вдоль оси y со скоростью 0,01 × 10^{-10} фс$^{-1}$ в течение 14 000 временных шагов. Полученные распределения напряжений σ_{11}, σ_{22} и σ_{12} были проанализированы на временном шаге 3,5 пс.

Для анализа в окрестности вершины трещины была выделена кольцевая область радиусом 10–15 Å. Для входящих в неё атомов определялись полярные координаты и компоненты тензора напряжений. Это позволило построить угловые распределения напряжений $\sigma_{11}(\theta)$, $\sigma_{22}(\theta)$ и $\sigma_{12}(\theta)$ вблизи дефекта (см. рисунки 1–3). Установлено, что распределения демонстрируют анизотропный характер, связанный с зеренной структурой и локальной неоднородностью материала [1–3].

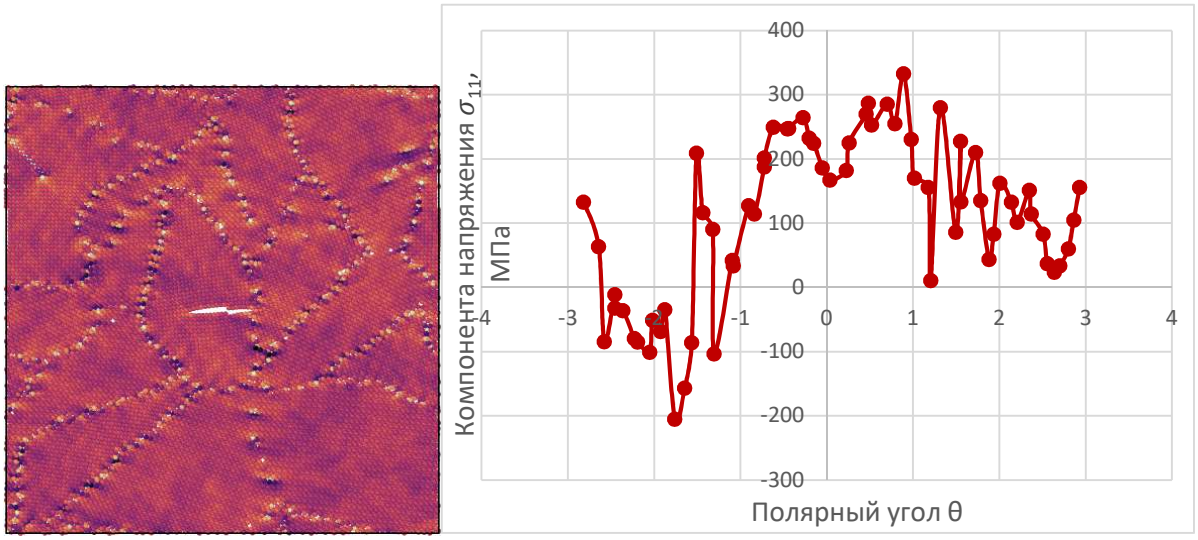


Рисунок 1 – Распределение компоненты σ_{11} на временном шаге 3,5 пс

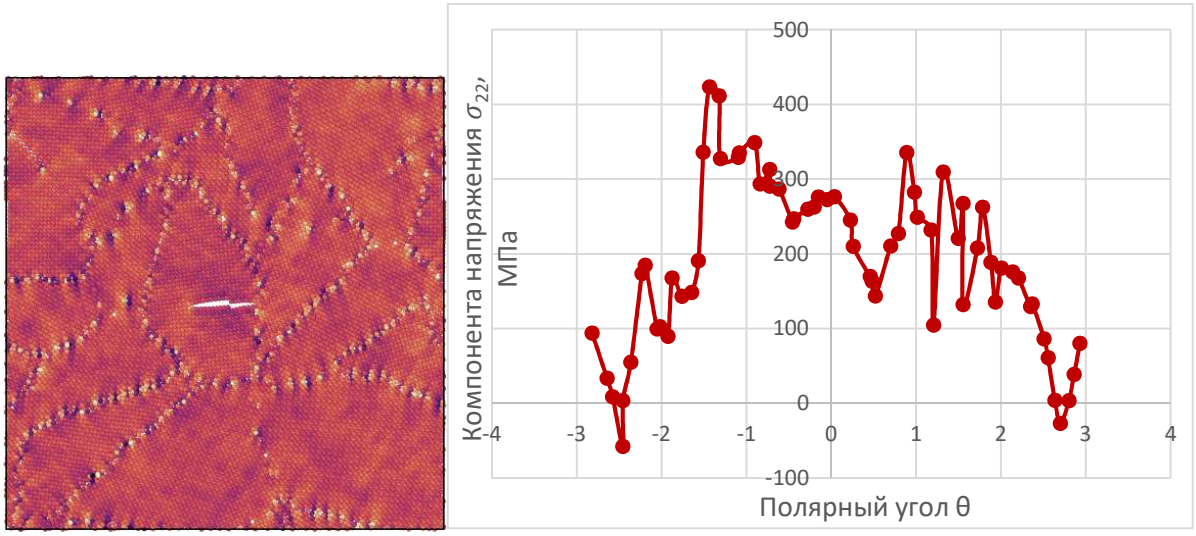


Рисунок 2 – Распределение компоненты σ_{12} на временном шаге 3,5 пс

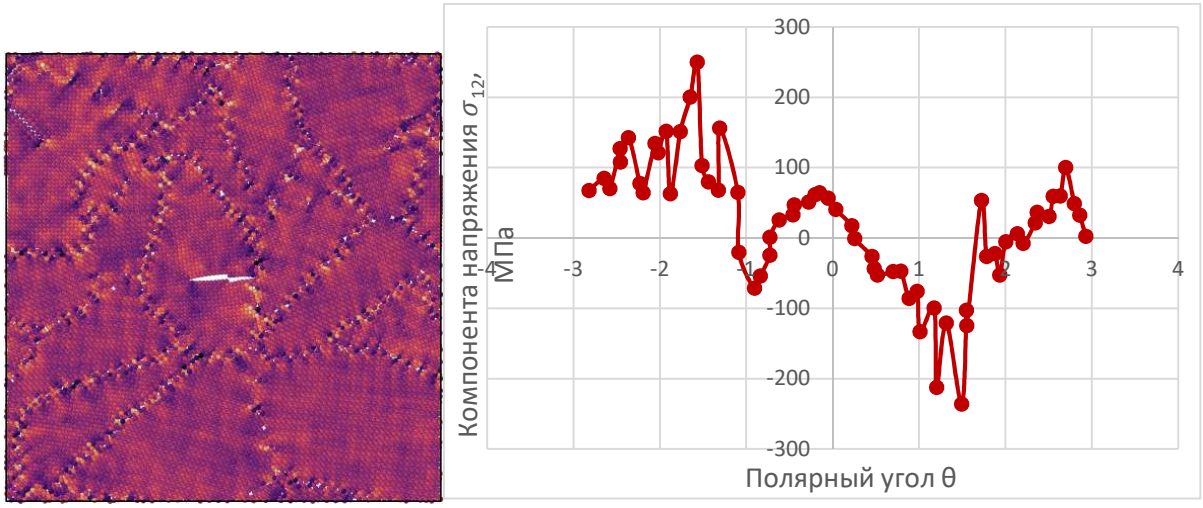


Рисунок 3 – Распределение компоненты σ_{12} на временном шаге 3,5 пс

Предложенная методика углового анализа, реализованная на основе атомистических данных, аналогична подходам, применяемым в литературе для исследования трещин в кристаллах. Она может использоваться для качественной оценки локального напряжённого состояния вблизи дефектов в поликристаллах, где классические аналитические модели, такие как решение Вильямса, не применимы из-за наличия границ зёрен.

Библиографический список

1. Hello, G. Analytical determination of coefficients in crack-tip stress expansions for a finite crack in an infinite plane medium / G. Hello, B. Mabrouk, J.-M. Roelandt // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – Vol. 49, issue 3-4. – P. 556–566. – DOI: 10.1016/J.IJSOLSTR.2011.10.024.

2. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25. – DOI: 10.32326/1814-9146-2024-86-1-15-25.

3. Белова, О.Н. Компьютерное моделирование роста трещин. Метод молекулярной динамики / О.Н. Белова, Л.В. Степанова, Д.В. Чаплий // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 44–55.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ГЦК МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

© Леопаева Л.А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lleopaeva@mail.ru

Ключевые слова: Atomsk, LAMMPS, OVITO, молекулярная динамика, поликристалл, деформация, напряжение.

Проблемы моделирования деформирования моно и поликристаллических материалов с помощью атомистического подхода являются активно развивающимся направлением механики деформированного твердого тела [1–3]. Для исследования деформационного поведения поликристаллов меди с гранецентрированной кубической решеткой использовался метод молекулярной динамики в программном пакете LAMMPS. Целью моделирования являлось изучение влияния скорости деформации и количества зёрен на переход материала от упругого к пластическому состоянию. Моделировались три куба из поликристаллической меди, с размерами 100 × 100 × 100 Å с разным количеством зёрен – 10, 20 и 100. Генерация структуры проводилась с помощью программы Atomsk. В расчётах использовался потенциал внедрённого атома, температура поддерживалась на уровне 300 K. Поликристаллы содержали 84 704, 84 676 и 84 733 атомов соответственно. Геометрические размеры и температурно-динамические параметры моделей во всех случаях были идентичны, различие заключалось только в зеренной структуре материалов. Растягивающая нагрузка прикладывалась вдоль оси x, скорость деформации во всех случаях также была одинаковой – $1{,}0\times10^{-10}$ фс$^{-1}$. По результатам вычислялись интенсивности деформации и напряжения, рассчитываемые по тензорам деформации и напряжения, получаемым из выходных файлов LAMMPS [1–3].

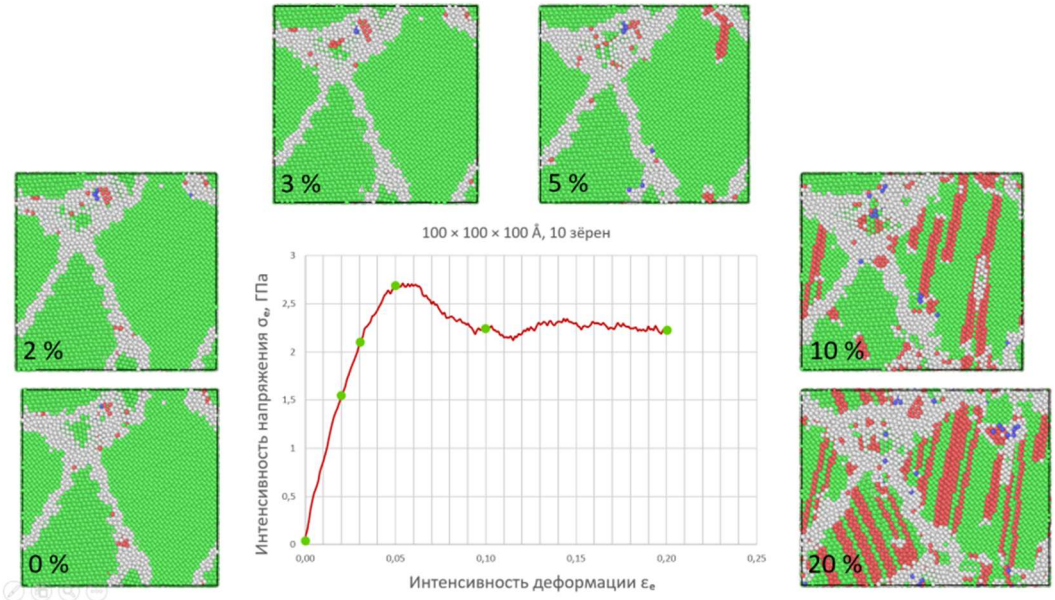


Рисунок 1 – Кривая зависимости интенсивности напряжения от интенсивности деформации для модели поликристалла из 10 зерен

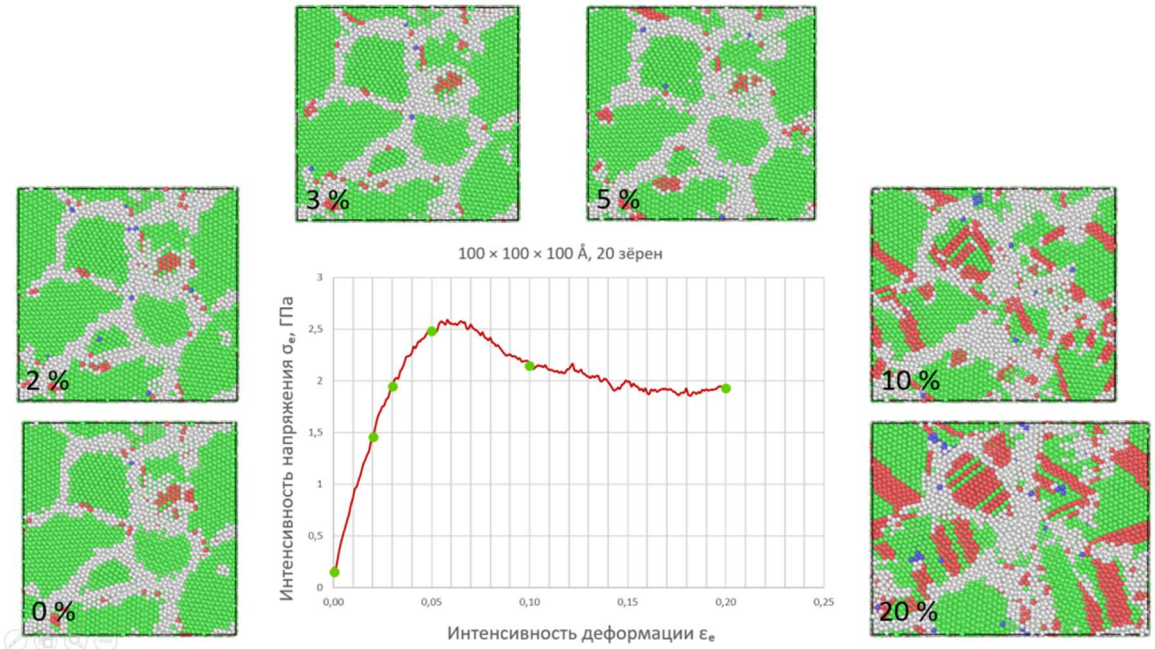


Рисунок 2 – Кривая зависимости интенсивности напряжения от интенсивности деформации для модели поликристалла из 20 зерен

Построены зависимости напряжения от деформации. На начальных участках всех графиков наблюдается линейный рост напряжений, что соответствует упругому поведению материала. При достижении определённого значения деформации кривые отклоняются от линейности, отражая переход в область пластических деформаций. На рисунках 1–3 представлены графики зависимости интенсивности напряжения от интенсивности деформации для кубов с 10, 20 и 100 зёрнами соответственно. На каждом графике отмечены выбранные для анализа точки деформации, для которых также представлены визуализации модели в программе.

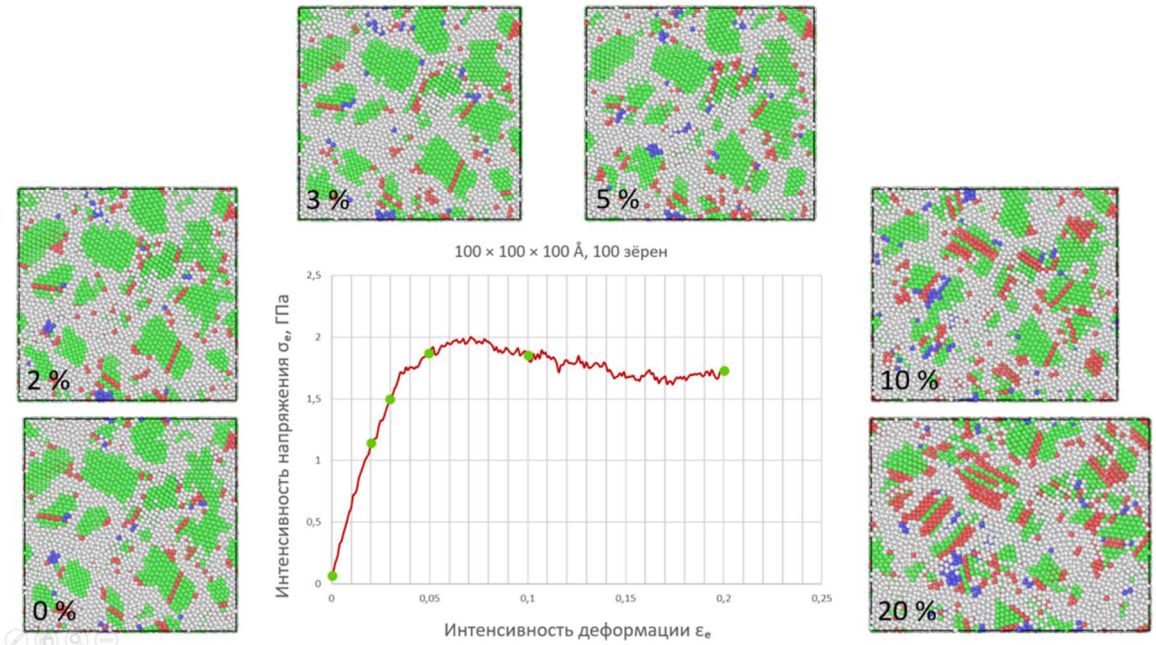


Рисунок 3 – Кривая зависимости интенсивности напряжения от интенсивности деформации для модели поликристалла из 100 зерен

Полученные в ходе эксперимента графики говорят о том, что увеличение числа зёрен в модели приводит к уменьшению уровня максимального напряжения и ускоренному переходу из упругой стадии в пластическую. Это согласуется с физическим представлением о роли границ зёрен как дефектов, способствующих накоплению и распространению пластических деформаций.

Библиографический список

1. Мушанкова, К.А. Определение коэффициентов асимптотического ряда для полей напряжений на основе молекулярно-динамических вычислений / К.А. Мушанкова, Л.В. Степанова // Прикладная механика и техническая физика. – 2025. – № 2 (390). – С. 196–212.

2. Stepanova, L.V. Atomistic and continuum Ascertainment of The crack tip stress fields in anisotropic elastic cubic media / L.V. Stepanova, K.A. Mushankova // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2024. – Vol. 133. – P. 104613. – DOI: 10.1016/j.tafmec.2024.104613.

3. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25. – DOI: 10.32326/1814-9146-2024-86-1-15-25.

УДК 539.4, 519.6

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ В УПРУГОМ ТЕЛЕ ПО ДАННЫМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФОТОУПРУГОСТИ И ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© Любимов Е.А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: lyubimovevgeny2003@gmail.com

Ключевые слова: внутренние дефекты, упругое тело, идентификация, поверхностное нагружение, метод фотоупругости и цифровой корреляции изображений.

В работе представлен экспериментально обоснованный метод идентификации скрытых внутренних дефектов в упругих телах на основе анализа напряжённого состояния, зафиксированного на поверхности образца при одноосном сжатии. В качестве тестовой геометрии использовался куб из фотополимерного материала с центральной сферической полостью. Механическое нагружение сопровождалось технологией «замораживания» напряжений, позволяющей зафиксировать внутреннее напряжённое состояние в момент внешнего воздействия. Полученные данные визуализировались методами цифровой фотоупругости и дополнялись данными цифровой корреляции изображений [1; 2] (рис. 1, 2).



Рисунок 1 – Пример используемого образца после проведения постобработки (слева) и интерференционная картина куба со сферической полостью после проведения метода заморозки напряжений (справа)

Особенностью проведённого исследования стало применение 3D-печати с использованием технологии DLP для изготовления оптически прозрачных образцов, пригодных для поляризационного анализа. Подбор инженерной фотополимерной смолы позволил обеспечить изотропность, термостойкость и необходимую прозрачность образца. После этапов подготовки и нагружения образцы разрезались на

плоские срезы, анализ которых позволил выявить характерные изохроматические полосы, указывающие на наличие и параметры внутреннего дефекта. Для оценки точности метода экспериментальные данные были сопоставлены с результатами моделирования, выполненного в пакете ANSYS. Расчётные поля главных напряжений продемонстрировали согласование с интерференционной картиной, тем самым подтвердив не только корректность подхода, но и возможность его применения для обратного восстановления геометрии дефекта. Впервые верифицирована методика, основанная на инвариантных интегралах взаимодействия – ранее доказанная лишь численно, теперь подтверждённая экспериментально.

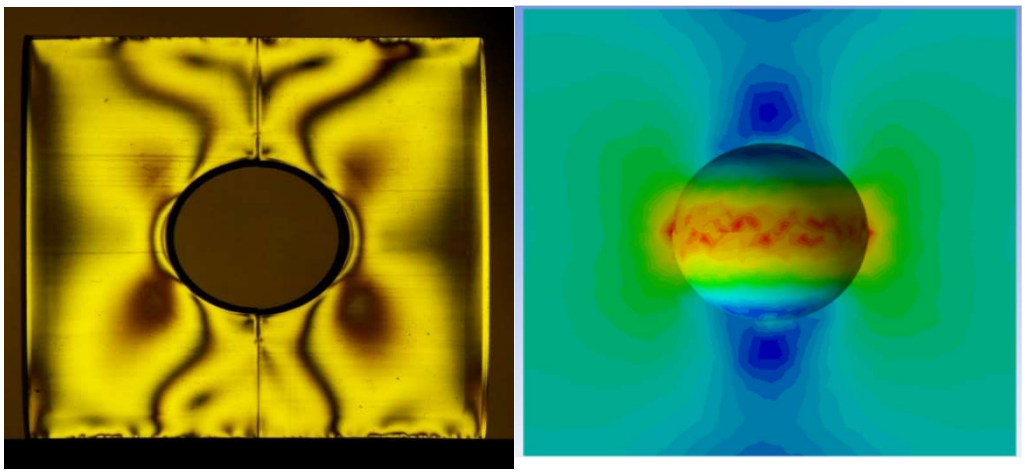


Рисунок 2 – Сравнение: справа – поле напряжений из ANSYS; слева – экспериментальная интерференционная картина среднего среза куба

Подход представляет собой перспективный метод неразрушающего контроля, сочетающий физический эксперимент, цифровую визуализацию и численный анализ. Он может быть применён для диагностики внутренних дефектов, а в дальнейшем – адаптирован для применения в инженерной практике при анализе сложных конструкций.

Таким образом, в настоящем исследовании:

1. Разработана методика изготовления образцов из оптически чувствительных материалов с помощью 3Д аддитивных технологий. 2. Подготовлены образцы кубической формы со сферической полостью, нацеленные на решение задачи идентификации внутренних дефектов в образце. 3. Проведена большая серия экспериментов на одноосное сжатие образцов со сферической полостью, направленная на определение напряженного состояния в образце с помощью интерференционно-оптических методов механики (метода фотоупругости). Получена картина изохроматических полос в плоских пластинах, полученных посредством разрезания образца кубической формы со сферической полостью. 4. Реализована технология метода «замораживания напряжений» на образцах, изготовленных с помощью 3Д-печати, позволяющая определить напряжения внутри пространственного образца посредством нахождения напряжений в плоских сечениях образца (путем разрезания кубического образца со сферической полостью на плоские пластины). 5. Показано, что с помощью образцов, изготовленных посредством 3Д-печати, можно получить экспериментальные картины интерференционных полос хорошего качества. 6. Развит экспериментальный метод количественной оценки изменения напряжений в трехмерных телах по всей глубине образца с помощью технологии 3Д-печати, методов замороженных напряжений и фотоупругих испытаний. 7. Показано, что метод

фотоупругости, позволяющий найти напряженное состояние в образце, может быть дополнен измерениями полей перемещений и деформаций на поверхности образца с помощью метода корреляций цифровых изображений.

Библиографический список

1. Степанова, Л.В. Цифровая фотоупругость и её применение для задач механики разрушения / Л.В. Степанова. – Самара: Самарский университет, 2015. – 248 с.

2. Goldstein, R. Application of invariant integrals to elastostatic inverse problems / R. Goldstein, E. Shifrin, P. Shushpannikov // International Journal of Solids and Structures. – 2018. – Vol. 138. – P. 45–62.

УДК 629.735-519+004.8

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА

© Махоткин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: andrew230805@gmail.com

Научный руководитель: Анисимова В.Ю., канд. экон. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, БПЛА, аэрофотосъёмка, искусственный интеллект, инновационные технологии.

Для Российской Федерации основная перспективная задача заключается в подавлении санкционного воздействия недружественных стран и открытии новых путей для развития науки и поддержки квалифицированных кадров внутри страны. Новые технологии внедряются почти во все процессы социально-экономической деятельности общества. Искусственный интеллект вошел на рынок как передовой помощник в облегчении повседневных процессов для человека, этим и выражена актуальность его обильного расширения по специфическим сферам научной деятельности.

Главным вопросом на повестке развития стратегических инициатив университета 20.35 стоят беспилотные авиационные системы (БАС) и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – тропосферного, стратосферного, и космического типа. Детальный анализ области беспилотии требует разностороннего и квалифицированного подхода в решении новых вопросов. В 2025 году остро стоит вопрос о создании и развитии определенной управленческой GPS базы, основанной на ИИ и способной самостоятельно выполнять команды с малейшим участием человека. Вопрос также стоит о создании определённого голосового помощника, который сможет распознавать и выполнять установленные голосом человека задачи. Вопрос организации высокого уровня обучения для подготовки квалифицированных кадров в развитии БАС развивается лучше всего.

5 и 6 июня 2025 года в городе Тольятти прошел «Кадровый форум БАС», он посвящен важнейшим вопросам о перспективном развитии беспилотных отраслей, как в Самарской области, так и во всей России. Ключевой прерогативой остается сфера образования. Заместитель министра науки и высшего образования Дмитрий Афанасьев отметил: «в 2024 году обучение беспилотным профессиям прошли 8167 человек, в этом году планируется обучить более 50000 граждан» [1]. Кадровая составляющая заложена практически во всех федеральных проектах и программах, связанных с БАС. Вопросы содействия, поддержки и взаимовыгодных отношений между образовательными организациями и крупнейшими предприятиями являются наиболее важными в рамках обучения. Заинтересованность крупных компаний предоставлять передовые задачи для разработки научно-исследовательским центрам и лабораториям в вузах существенно невелика [1]. В поддержку предпринимательству был запущен проект «Молодежные инженерные команды» который дал возможность оперативного контакта предпринимателей с заказчиками в виде вузов.

Поднимая вопрос о системах автоматизации зондирования, аэрофотосъёмки и поиска инновационных решений в БАС при помощи ИИ, находиться в активной разработке в 2025 году и даже имеет существующие решения [2]. Искусственный интеллект способен кардинально менять возможности БПЛА и БАС, повышая их безопасность, энергоэффективность, точность, адаптивность и автономность. Ключевые меры воздействия технологий ИИ представлены в (см. табл.).

Таблица – Ключевые меры воздействия инновационных технологий ИИ для повышения эффективности использования БПЛА, БАС и БВС

Меры воздействия	Технологии	Эффективность
1.Автономная навигация	Deep Learning и SLAM	Снижение зависимости от оператора,повышение скорости реакции,ИИ-навигация сокращает количество аварий на 37% [2].
2.Оптимизация логистики и маршрутов	Swarm intelligence (роевой интеллект)	Снижение энергопотребления на 20-30% [2], применение в доставке малых грузов.
3.Кибербезопасность и защита от помех	ИИ способный распознавать атаки на канал связи, GAN	Снижение хакерских атак на 60% [2], Применение в военных целях как средство защиты от глушения сигнала.

Согласно данным в таблице, были выявлены три ключевые меры воздействия на эффективность беспилотной авиации. Искусственный интеллект должен трансформировать БПЛА по трем актуальным направлениям: автономность, энергоэффективность, безопасность. Первая мера воздействия в автономной навигации, предполагает использование машинного обучения способного комбинировать нейронные сети и делать их многослойными для более детального анализа данных, а также технологии дистанционного зондирования и аэрофотосъёмки [3, с. 10]. Вторая мера воздействия в оптимизации логистических путей и маршрутов, требует применения роевого интеллекта, создание коллективной децентрализованной саморегулирующейся системы (на примере пчёл, муравьёв) [3, с. 8]. Третья мера воздействия предполагает создание специальной реалистичной симуляции реального боя и воздушных атак, на базе ИИ для тестирования уязвимостей.

По результатам научно-исследовательского анализа стоит отметить, в условиях быстро развивающейся науки и мнимой «гонки вооружения» за создание уникальной научной новизны, актуальность внедрения ИИ в беспилотию существенно велика. Охваты и масштабы в будущем могут достигать необычайных высот в переориентации программ и их модификации на иной уровень сегментации рынков.

Библиографический список

1. Махоткин, А.А. Исследование образовательных программ подготовки специалистов для работы в сфере космической деятельности / А.А. Махоткин // Управление организационно-экономическими системами: сборник трудов научного семинара студентов и аспирантов института экономики и управления, Самара, 25–30 ноября 2024 года. – Самара: ООО «САМАРАМА», 2025. – С. 299–302.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610103 Российская Федерация. Программный модуль интеллектуального анализа видеопоследовательностей с БПЛА для мониторинга состояния пути: № 2021681565: заявл. 24.12.2021: опубл. 10.01.2022 / М.В. Панкратов, А.В. Никоноров, Е.Ю. Минаев, Н.А. Фирсов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва».

3. Андриевский, Б.Р. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов / Б.Р. Андриевский, А.М. Попов, В.А. Михайлов, Ф.А. Попов // Аэрокосмическая техника и технологии. – 2023. – Вып. 2. – С. 1–20.

УДК 539.3, 519.6

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУГОВЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ

© Мушанкова К.А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: karinamushankova@yandex.ru

Ключевые слова: молекулярная динамика, монокристаллы, микроэлектроника, MEMS-устройства.

Кремниевые пластины являются ключевым компонентом микроэлектроники и MEMS-устройств. Понимание их механического поведения на атомарном уровне критически важно для: оптимизации процессов изготовления (резка, полировка), прогнозирования надежности при эксплуатационных нагрузках, разработки новых миниатюризированных устройств. Молекулярно-динамическое (МД) моделирование кремниевых структур широко применяется в микроэлектронике, MEMS/NEMS-устройствах и нанотехнологиях. Однако исследование круговых монокристаллических пластин на кремниевой подложке сталкивается с рядом проблем, связанных с вычислительными ограничениями, граничными условиями и физической адекватностью моделей. В работе предложены пути преодоления этих проблем и построены модельные решения, качественно характеризующие физические эффекты, характерные для нанометрового масштаба.

Молекулярно-динамическое решение строится с помощью самостоятельно разработанного кода для детального понимания процессов моделирования, а также сравнивается с широко используемым инструментом атомистического моделирования – LAMMPS [1; 2]. Визуализация результатов в обоих случаях выполняется при использовании программы OVITO. В ходе МД моделирования построена последовательность атомистических моделей кремневых и алюминиевых элементов с характерными размерами по толщине 10-100 нм (до нескольких сотен периодов кристаллической решетки). В работе подробно представлены математические модели, лежащие в основе написанного программного кода молекулярной динамики, необходимые для реализации эксперимента по оценке краевых эффектов и эффектов, связанных с ориентацией кристаллографических осей в монокристаллической алюминиевой пластине на кремниевой подложке.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-11-00333).

Библиографический список

1. Stepanova, L.V. Atomistic and continuum Ascertainment of The crack tip stress fields in anisotropic elastic cubic media / L.V. Stepanova, K.A. Mushankova // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2024. – Vol. 133. – P. 104613.

2. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25.

УДК 539.3, 519.6

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ LAMMPS КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР НА НАНОСКОПИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ

© Мушанкова К.А., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: karinamushankova@yandex.ru

Ключевые слова: молекулярная динамика, LAMMPS, поля напряжений, поля температур, релаксация системы.

Метод молекулярной динамики (МД) является мощным инструментом для исследования термомеханического поведения материалов на наномасштабах. Программный пакет LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) представляет собой универсальную платформу для численного моделирования взаимодействующих частиц, применяемый для исследования материалов на атомном, мезоскопическом и континуальном уровнях [1].

Для корректного применения пакета LAMMPS в задачах МД-моделирования необходимо понимать какие математические модели и численные методы заложены в его алгоритмы. В рамках данной работы будут рассмотрены основные алгоритмы молекулярно-динамического моделирования, математический аппарат и численные схемы, с помощью которых в LAMMPS реализуются процедуры релаксации системы, а также алгоритмы термостатирования, баростатирования и определение полей напряжений и температур.

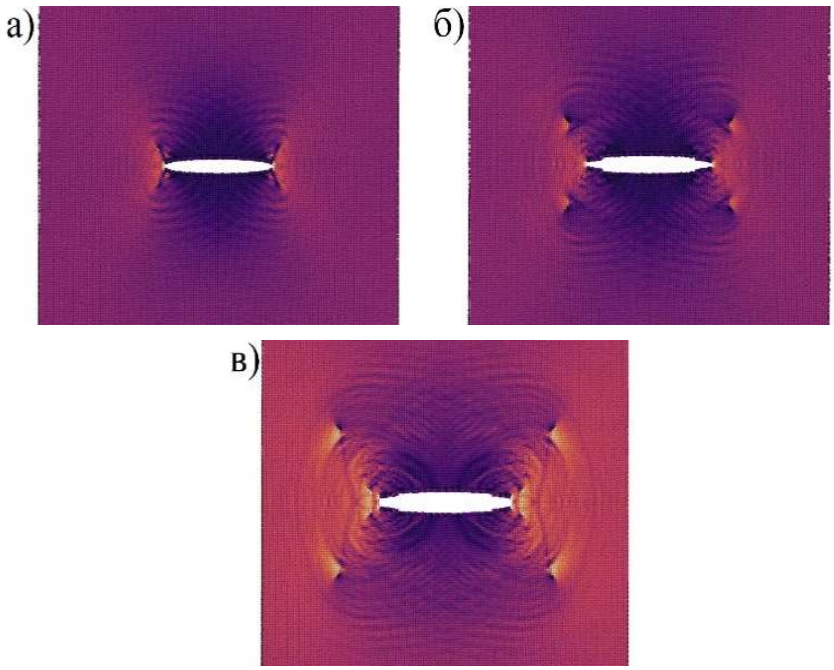


Рисунок – Эволюция распределения нормальной компоненты тензора напряжений σ_{22} на временных шагах а) 23 пс, б) 24 пс, в) 25 пс при приложении растягивающей нагрузки

В качестве демонстрации практического применения этих подходов в настоящем исследовании выполнен анализ эволюции полей напряжений (см. рис.) и температур при переходе от упругого к нелинейным режимам деформирования для монокристаллических материалов с различной симметрией упругих свойств [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-21-00272).

Библиографический список

1. Thompson, A.P. LAMMPS – a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales / A.P. Thompson [et al.] // Computer Physics Communications. – 2022. – V. 271. – P. 108171.

2. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25.

УДК 539.4, 519.6

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ

© Пецев А.В., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: al3xgurk@rambler.ru

Ключевые слова: процесс накопления повреждений, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, вершина трещины, точное прогнозирование, срок службы.

Многие элементы конструкций, используемые на электростанциях, химических заводах и в авиадвигателях, постоянно подвергаются воздействию высоких температур. Возможность точного прогнозирования срока службы элементов конструкций важна при проектировании компонентов, работающих при высоких температурах [1–5]. На практике рост трещин при ползучести часто является основной причиной разрушения компонентов, работающих при повышенных температурах. Поэтому в последние годы разработке эффективных методов прогнозирования роста трещин в компонентах, работающих при высокой температуре, уделяется все больше внимания [1–5]. В настоящей работе, являющейся продолжением цикла исследований, выполненных в [1–5], проведен численный расчет полей сплошности у вершины трещины в условиях установившейся ползучести посредством включения (интеграции) скалярной меры поврежденности (сплошности) в вычислительные алгоритмы метода конечных элементов (МКЭ) [6]. В программном комплексе SIMULIA Abaqus, поведено конечно-элементное моделирование одноосного растяжения металлической пластины с центральной горизонтальной трещиной в режиме ползучести с учетом накопления поврежденности в плоской постановке задачи (в предположении реализации плоского напряженного и плоского деформированного состояний). Для численного моделирования полей в окрестности вершины используется степенной закон Бейли – Нортона и степенное эволюционное уравнение:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}=\frac{3}{2}\left(\frac{\sigma_{eff}}{\psi}\right)^{n-1}\frac{s_{ij}}{\psi}t^{m}\quad \frac{d\psi}{dt}=-A\left(\frac{\sigma_{eff}}{\psi}\right)^{l}\quad \sigma_{eff}=\alpha\sigma_{1}+\beta\sigma_{kk}+\left(1-\alpha-\beta\right)\sigma_{e}$$
$$\sigma_{e}=\sqrt{\sigma_{11}^{2}+\sigma_{22}^{2}-\sigma_{11}\sigma_{22}+3\sigma_{12}^{2}}\ \left(ПНС\right)\quad \sigma_{e}=\frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{\left(\sigma_{11}-\sigma_{22}\right)^{2}+4\sigma_{12}^{2}}\ \left(ПД\right) \qquad (1)$$

Степенной закон ползучести (1) с помощью пользовательской процедуры UMAT (User Material) пакета SIMULIA Abaqus был дополнен кинетическим уравнением накопления поврежденности Качанова – Работнова (КР) в связанной постановке. Вычисления выполнены для классического степенного закона теории установившейся ползучести и степенного эволюционного уравнения модели КР (1) и их обобщений с помощью разработанной пользовательской программы UMAT [1–3]. Результаты МКЭ анализа показаны для плоского напряженного состояния на рис. 1, для случая плоской деформации на рис. 2. Проведен ряд расчетов для различных материалов с различными материальными константами n,m и l.

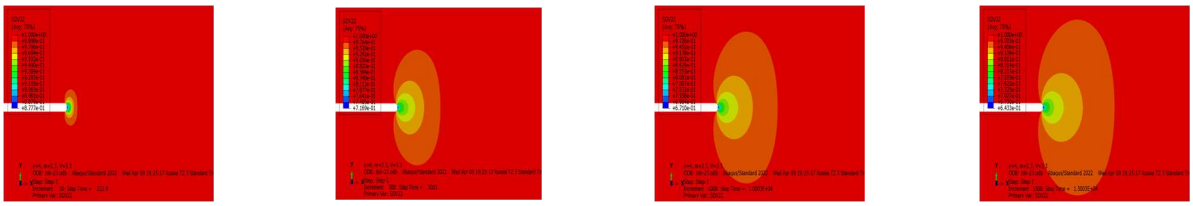


Рисунок 1 – Картины распределений сплошности у вершины трещины для временных шагов, равных 230 часам, 5000 часам, 10000 часам, 15000 часам при плоском напряженном состоянии

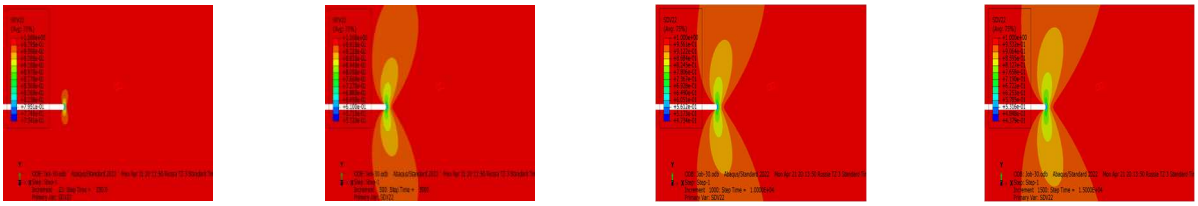


Рисунок 2 – Картины распределение сплошности у вершины трещины для временных шагов, равных 230 часам, 5000 часам, 10000 часам, 15000 часам при плоской деформации

В ходе проведенного исследования были построены конфигурации областей поврежденного материала (областей активного накопления повреждений) как для плоского напряженного состояния, так и плоского деформированного состояния. Проанализирована асимптотика поля напряжений у вершины трещины на основании рассмотрения радиальных зависимостей напряжений от расстояния от кончика трещины. Найдена новая асимптотика поля напряжений, обуславливаемая процессами развития повреждений. Показано, что распределения напряжений обладают свойством автомодельности – подобия распределений характеристик процесса накопления поврежденности и временной эволюции напряжений и деформаций вблизи вершины трещины. Рассмотренное моделирование повреждений при ползучести в сочетании с методом конечных элементов может обеспечить многообещающую систематическую основу для анализа процесса роста трещин. В будущем, хотя это и является более сложным, следует разработать и инкорпорировать в МКЭ расчет модели анизотропных повреждений, отражающие больше механизмов повреждения при ползучести.

Степанова Л.В. благодарит Российский научный фонд (проект № 25-21-00272).

Библиографический список

1. Выявление асимптотического поведения поврежденности у фронта трещины при ползучести на основании конечно-элементных расчетов / Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Ю.С. Быкова // Прикладная механика и техническая физика. – DOI: 10.15372/PMTF202415561.

2. Белова, О.Н. Применение пользовательской подпрограммы UMAT для решения задач континуальной механики (обзор) / О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Л.В. Степанова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 46–73.

3. Белова, О.Н. Компьютерное моделирование роста трещин. Метод молекулярной динамики / О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Л.В. Степанова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 44–55.

4. Исследование асимптотики поля напряжений в окрестности вершины трещины в условиях ползучести с учетом поврежденности / Д.В. Чаплий, О.Н. Белова, Л.В. Степанова, Ю.С. Быкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 3. – С. 17–38.

5. Чаплий, Д.В. Параметрическое исследование полей, ассоциированных с вершиной трещины, в условиях ползучести с учетом процессов накопления поврежденности с использованием UMAT / Д.В. Чаплий, Л.В. Степанова, О.Н. Белова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 509–529.

6. Быкова, Ю.С. Влияние процесса накопления повреждений на асимптотическое поведение полей напряжений в условиях ползучести образца с центральной трещиной / Ю.С. Быкова, Л.В. Степанова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 7–25.

УДК 539.4, 519.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (DIC)

© Поларшинов А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: sorryitserror@mail.ru

Ключевые слова: деформирование бразильского диска, метод корреляции цифровых изображений, экспериментальное исследование.

Точное определение полей перемещений и напряжений в элементах конструкций с дефектами является одной из актуальных задач современной промышленности, в частности машиностроения, ракетно-космической техники [1]. В работе проведено экспериментальное исследование деформирования бразильского диска с ромбовидным отверстием методом корреляции цифровых изображений (DIC) с использованием оптического комплекса VIC-3D. Получены поля перемещений и деформаций при различных углах поворота диска и нагрузках до 1250 Н. Экспериментальная часть включала подготовку образца с нанесением спекл-паттерна, калибровку системы VIC-3D и проведение испытаний при нагрузках 25, 50, 75, 100 и 125 Кгс для диска, повернутого на 0°, 30°, 60° и 90°. На каждом этапе фиксировались поля перемещений u_x, u_y и деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yy}$, которые визуализировались с помощью программного обеспечения комплекса. Численное моделирование в ANSYS выполнено для идентичных условий: построена геометрическая модель диска, заданы механические характеристики материала (эпоксидная смола ЭД-20), применены граничные условия и нагрузки, соответствующие экспериментальным. Сетка модели состояла из треугольных элементов размером 2 мм. Расчеты позволили получить распределения напряжений и деформаций, которые сравнивались с экспериментальными данными. Сравнение результатов показало хорошее согласование между методами (рис. 1–4). Результаты эксперимента сопоставлены с численным моделированием методом конечных элементов (МКЭ) в пакете ANSYS, что подтвердило высокую точность метода DIC с погрешностью не более 5.5%. Аналогичная точность подтверждена для других углов поворота диска (30°, 60°, 90°), что демонстрирует надежность метода DIC для анализа сложных напряженных состояний.

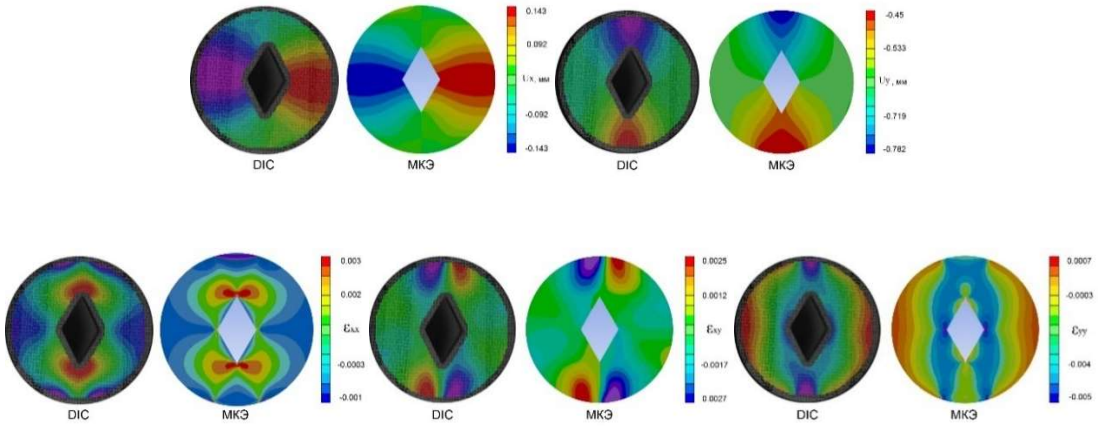


Рисунок 1 – Результаты полей перемещений u_x и u_y, полей деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yy}$ по результатам физического эксперимента и расчета МКЭ при нагрузке 1250 Н для диска (0°)

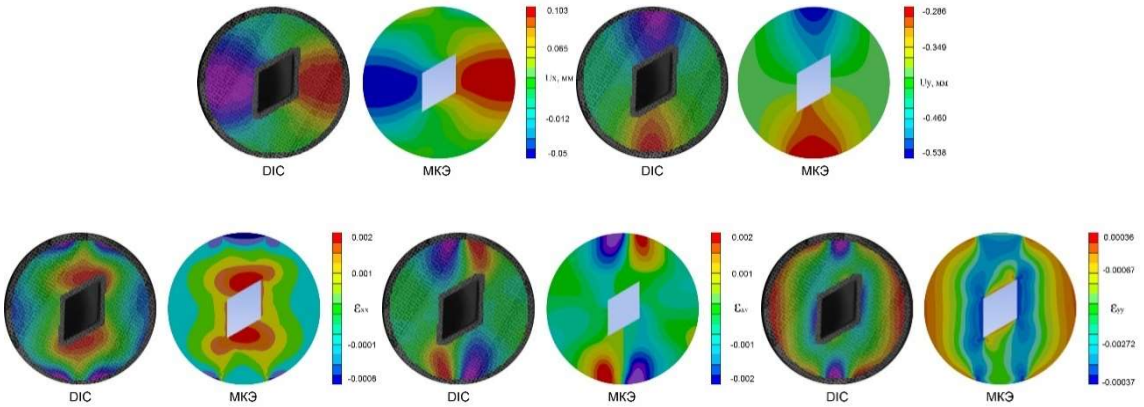


Рисунок 2 – Результаты полей перемещений u_x и u_y, полей деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yy}$ по результатам физического эксперимента и расчета МКЭ при нагрузке 1250 Н для диска (30°)

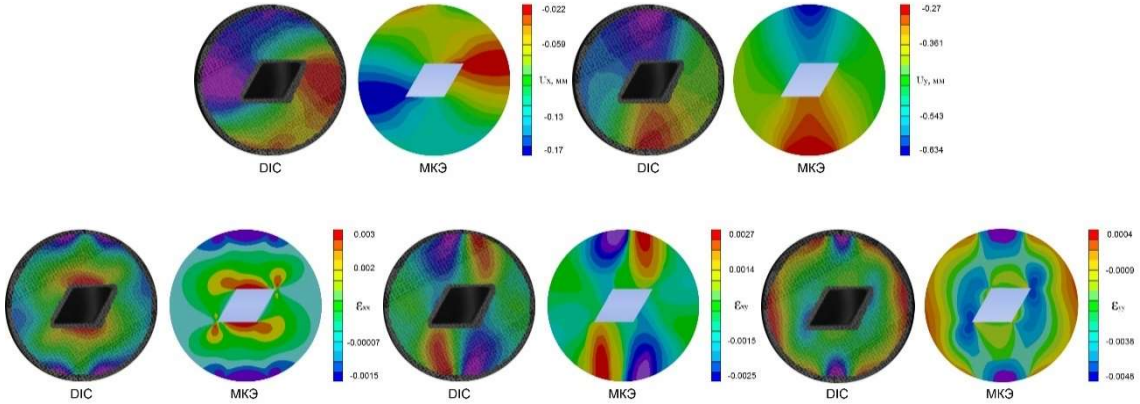


Рисунок 3 – Результаты полей перемещений u_x и u_y, полей деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yy}$ по результатам физического эксперимента и расчета МКЭ при нагрузке 1250 Н для диска (60°)

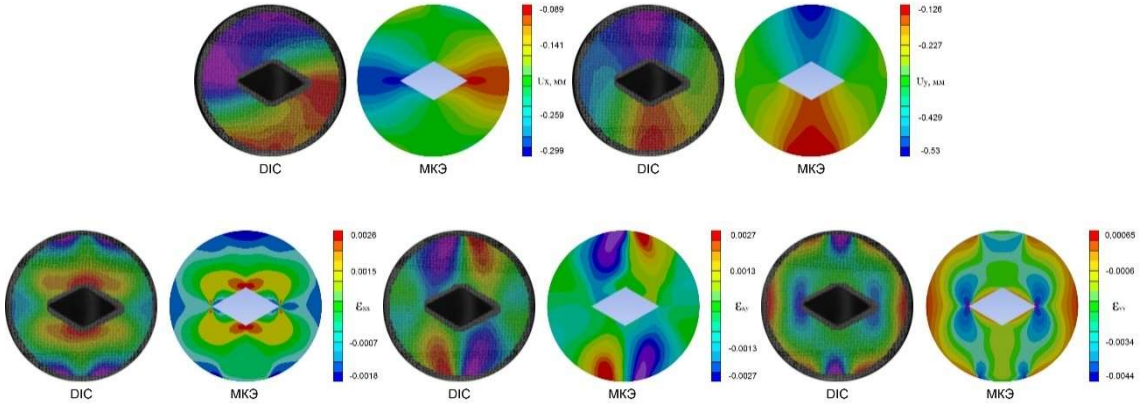


Рисунок 4 – Результаты полей перемещений u_x и u_y, полей деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yy}$ по результатам физического эксперимента и расчета МКЭ при нагрузке 1250 Н для диска (90°)

Библиографический список

1. Выявление асимптотического поведения поврежденности у фронта трещины при ползучести на основании конечно-элементных расчетов / Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Ю.С. Быкова // Прикладная механика и техническая физика. – DOI: 10.15372/PMTF202415561.

УДК 519.6

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© Потокин Д.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m.ready888@gmail.com

Научный руководитель: Быкова Ю.С., доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: потеря устойчивости, сжатый стержень, метод конечных элементов, формула Эйлера.

Сжатые стержни (колонны, стойки, элементы ферм, раскосы, штоки механизмов) являются одними из самых распространенных и фундаментальных несущих элементов в самых разнообразных областях: от каркасов небоскребов, мостов и промышленных зданий до кранов и шасси самолетов. Именно для сжатых элементов проблема потери устойчивости часто является определяющей в проектировании, а не прочность материала. Внезапная потеря устойчивости происходит катастрофически, без значительных пластических деформаций, предупреждающих о разрушении. Классические решения (формула Эйлера, Ясинского, методы СНиП/СП) основаны на сильно идеализированных моделях: идеально прямые стержни, центральное приложение нагрузки, шарнирное закрепление концов, упругий материал. В реальности эти условия редко соблюдаются полностью.

Учитывая эти ограничения классических аналитических подходов, метод конечных элементов (МКЭ) представляется мощным инструментом для решения задач устойчивости в более сложных и приближенных к реальности условиях [2]. Однако, прежде чем применять МКЭ к неидеальным случаям, необходимо убедиться в корректности и точности создаваемых конечно-элементных моделей на базовых, верифицируемых примерах. В качестве такого базового случая в данной работе был выбран идеальный шарнирно опертый стержень, для которого существует точное аналитическое решение по Эйлеру [1; 3].

Для валидации подхода и демонстрации корректности конечно-элементных моделей было проведено сравнительное исследование устойчивости стального сжатого стержня (колонны) идеализированной геометрии, где применялись как классический аналитический метод, так и численное моделирование в двух независимых программных комплексах Ansys Workbench и SIMULIA Abaqus. Аналитический расчет критической силы выполнялся по классической формуле Эйлера для шарнирно опертого стержня (1):

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}. \quad (1)$$

Численное моделирование (МКЭ) проводилось в двух независимых программных комплексах – Ansys Workbench и SIMULIA Abaqus – для взаимной верификации результатов. В каждом пакете была построена трехмерная конечно-элементная модель стержня с использованием объемных (solid) конечных элементов.

Для моделирования шарнирного закрепления на обоих концах стержня были заданы граничные условия: запрещены линейные перемещения в плоскости предполагаемого изгиба, но разрешен свободный поворот вокруг оси, перпендикулярной этой плоскости. К свободному концу стержня прикладывалась статическая осевая сжимающая нагрузка. В обоих программных продуктах расчет критической силы выполнялся с помощью линейного анализа потери устойчивости (Linear Buckling Analysis). Построенные конечно-элементные модели, заданные граничные условия и приложенная нагрузка представлены на рисунке 1.

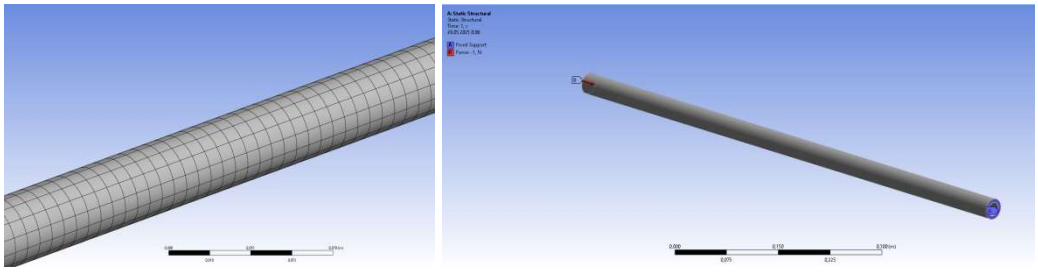


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель

Результаты расчетов критической силы Ркр всеми тремя методами сведены в таблицу.

Таблица – Результаты расчетов

Аналитическое решение по формуле Эйлера, кН	Решение в Ansys Workbench, кН	Решение в SIMULIA Abaqus, кН
22,820	22,860	22,816

Анализ результатов выявил высокую точность совпадения: расхождение между результатами, полученными по формуле Эйлера, и результатами МКЭ-расчетов в обоих пакетах не превышает 0.2%. Такое незначительное отклонение находится в пределах ожидаемой точности численных методов и выбранной дискретизации. Это совпадение позволяет сделать следующий ключевой вывод: демонстрируется адекватность созданных МКЭ-моделей в Ansys Workbench и SIMULIA Abaqus, корректно описывающих поведение стержня при центральном сжатии.

Важным преимуществом МКЭ-анализа является возможность визуализации формы потери устойчивости. Как показано на рисунке 2 (а – Ansys, б – Abaqus), в обеих численных моделях наблюдается классическая синусоидальная форма выпучивания с одной полуволной. Это полностью соответствует теоретической форме основного тона потери устойчивости для шарнирно опертого стержня, что служит дополнительным подтверждением корректности моделирования.

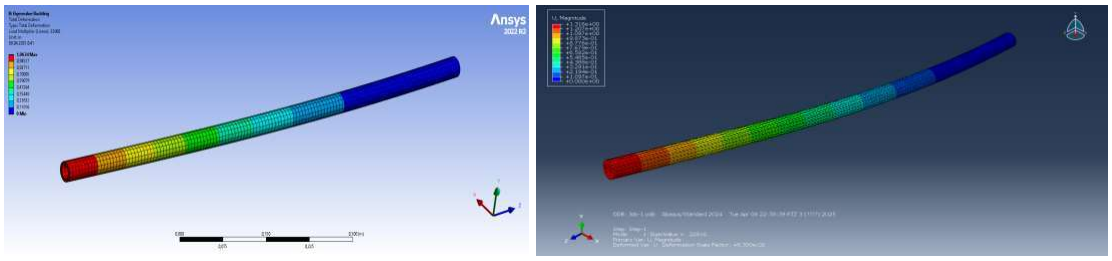


Рисунок 2 – Форма потери устойчивости а) в Ansys Workbench б) в SIMULIA Abaqus

Успешная валидация моделей на идеальном случае создает прочную основу для применения верифицированного МКЭ-подхода к исследованию более сложных и практических задач устойчивости. К таким задачам относятся учет начальных несовершенств, нелинейностей материала, сложных граничных условий – областей, где аналитические методы либо неприменимы, либо дают значительную погрешность.

Библиографический список

1. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Физматгиз, 1962. – 856 с.

2. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчётах стержневых систем / В.И. Игнатюк. – Брест: БГТУ, 2007. – 172 с.

3. Костенко, Н.А. Сопротивление материалов: учебное пособие / Н.А. Костенко. – Москва: Высш. шк., 2000. – 430 с.

УДК 004.942

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ НА ПЛАТФОРМЕ ANSYS WORKBENCH

© Салимзянов Л.Р.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: salimzyanov_lenar@mail.ru

Научный руководитель: Быкова Ю.С., доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: автоматизация, метод конечных элементов, Ansys Workbench, Python.

Повышение эффективности конечно-элементного анализа требует автоматизации рутинных операций и минимизации ошибок при работе со сложными CAE-системами. Существующие методы часто предполагают ручное редактирование файлов или скриптов, что затруднительно для конечных пользователей.

В данной работе представлено программное решение для автоматизации сквозного процесса конечно-элементного анализа в среде Ansys Workbench [1; 2]. Разработка устраняет ключевые ограничения ручных методов работы с CAE-системами: трудоемкость подготовки моделей, риск ошибок при редактировании конфигураций и сложность извлечения результатов. Ядро комплекса реализовано на Python [3] и функционирует как интерфейсная оболочка, обеспечивающая:

– автоматическую параметризацию моделей через генерацию модифицированных wbjn-журналов,

– интерактивный графический интерфейс с валидацией входных данных,

– сквозную интеграцию с вычислительным ядром Ansys (автозапуск расчетов),

– анализ критических показателей (максимальные напряжения, запасы прочности) без ручного постпроцессинга.

На рисунке представлен пользовательский интерфейс разработанного программного решения.



Рисунок – Пользовательский интерфейс

Экспериментальная оценка эффективности проведена на типовой задаче статического прочностного анализа (см. таблицу). Сравнение трех подходов подтвердило сокращение времени подготовки моделей в 2–2,4 раза при использовании разработанного ПО.

Таблица – Результаты расчетов

Вариант подхода	Время настройки (мин)
Разработанная программа	5
Изменение вручную в ПО Ansys Workbench	10
Ручное редактирование запускного файла и запуск из терминала	12

Программный комплекс демонстрирует универсальность для широкого класса задач МКЭ, где ключевым его преимуществом является упрощение работы с ПО Ansys для неэкспертов через GUI и автоматизацию с гарантией точности расчетов на уровне ручных методов.

В качестве дальнейшего развития планируется реализация модуля пакетных вычислений с автоматическим построением графических зависимостей ключевых результатов (напряжения, перемещения) от варьируемых параметров, что расширит возможности системы.

Библиографический список

1. Шило, Г.Я. Метод конечных элементов в задачах механики деформируемого твердого тела / Г.Я. Шило, В.А. Грачёв. – М.: Физматлит, 2010. – [б.с.].

2. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в инженерных расчетах / О.К. Зенкевич. – Москва: Мир, 1975. – [б. с.].

3. Лутц, М. Изучаем Python / М. Лутц. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – [б.с.].

УДК 534

МОДЕЛЬ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ИСТОЧНИКА ВБЛИЗИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© Ушатов Д.О., Калабухов В.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: tankov.03@inbox.ru

Ключевые слова: звуковое поле, источник, земная поверхность, модель, направленное излучение, газотурбинный двигатель, беспилотные летательные аппараты.

В работе представлена модель расчёта направленного излучения шума дозвуковой турбулентной струи газотурбинного двигателя (ГТД) в условиях свободного звукового поля. Задача актуальна в связи с необходимостью повышения акустической скрытности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и требованиями к шумовому загрязнению вблизи аэродромов. Моделирование выполнено с использованием акустической аналогии Лайтхилла, а также эмпирических зависимостей, полученных на основе натурных испытаний. Разработан численный алгоритм на языке Python, позволяющий рассчитывать уровни звукового давления на основе параметров струи: скорости, температуры, диаметра сопла. Учтён фактор направленности и безразмерный спектр. Расчёты выполнены для углов в диапазоне от 10° до 170° и частот от 50 Гц до 10 кГц. Полученные данные сравнивались с экспериментальными результатами (рис. 1, 2), полученными на открытом испытательном стенде. Анализ показал хорошее качественное согласие модели с данными в задней полусфере и систематические расхождения в передней, обусловленные отражениями звука от стенда, поверхности земли и тем, что модель не учитывает генерацию шума внутри компрессора и турбины [1–5].

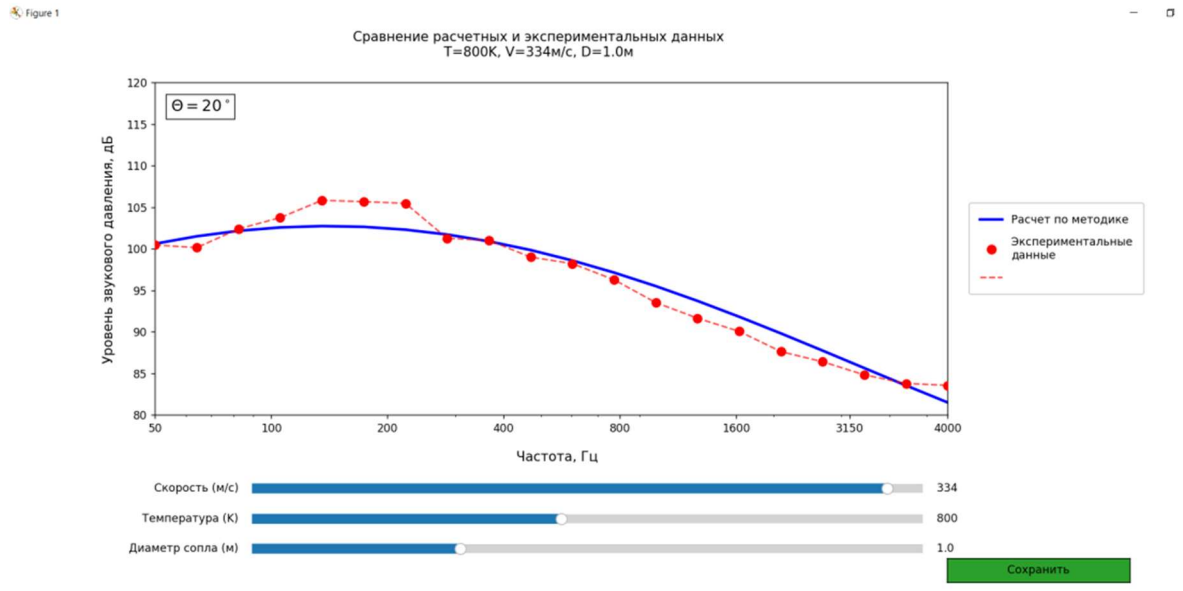


Рисунок 1 – Сравнение результатов моделирования с натурными испытаниями для направления 20°

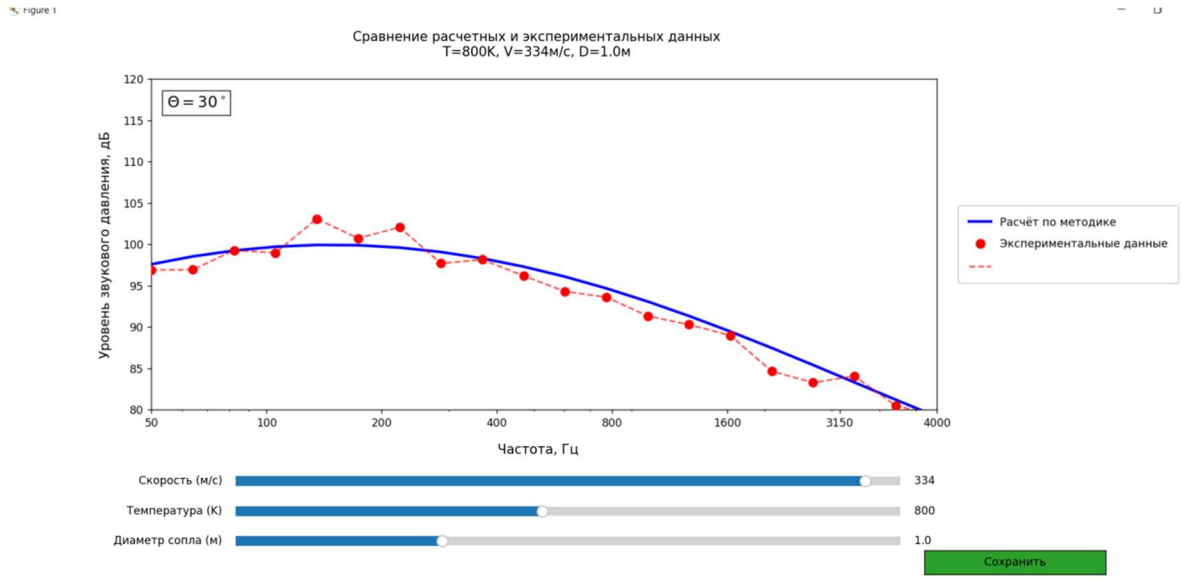


Рисунок 2 – Сравнение результатов моделирования с натурными испытаниями для направления 30°

Представленная модель позволяет выполнять быструю оценку акустических характеристик реактивной струи в рамках проектирования ГТД и может использоваться как инженерный инструмент при анализе шумового воздействия. Выявлены направления по улучшению модели: введение учёта отражённых волн, уточнение эмпирических коэффициентов, расширение экспериментальной базы.

Библиографический список

1. Лайтхилл, М. Акустическая аналогия / М. Лайтхилл // Акустический журнал. – 1952. – Т. 4. – С. 253–272.

2. Абрамович, М.С. Механика жидкостей и газа / М.С. Абрамович. – М.: Наука, 1983. – 496 с.

3. Goldstein, M.E. Aeroacoustics / M.E. Goldstein. – New York: McGraw-Hill, 1976.

4. Курков, П.Н. Шум и вибрации авиационных двигателей / П.Н. Курков. – СПб.: Лань, 2016. – 456 с.

5. Калабухов, В.Н. К вопросу разработки глушителей шума реактивной струи / В.Н. Калабухов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 46–52. – DOI: 10.18287/2541–7525-2024-30-46-52.

УДК 539.4, 519.6

КОЭФФИЦИЕНТЫ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ О ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ТАРИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

© Фомченкова М.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: fomchenkova.ma@ssau.ru

Научный руководитель: Степанова Л.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: асимптотическое представление, трещины, анизотропные материалы, напряжения, метод конечных элементов.

Настоящее исследование посвящено разработке и применению методики восстановления асимптотических разложений (1) для полей напряжений, деформаций и перемещений в анизотропных материалах. Коэффициенты асимптотического разложения [1–4] определяются посредством решения задачи о деформировании образца с дефектом в ортотропном материале в рамках плоской задачи теории упругости с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

$$\begin{pmatrix}\sigma_{11}\\ \sigma_{22}\\ \sigma_{12}\end{pmatrix} = 2\,\mathrm{Re}\left(\sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{i^{(n+1)^2}}{\mu_1-\mu_2} r^{\frac{n}{2}-1}\begin{bmatrix} \mu_2^2\mu_1^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_1^2\mu_2^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} \\ \mu_1^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_2^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} \\ -\left(\mu_2\mu_1^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_1\mu_2^{\frac{(-1)^{n+1}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1}\right)\end{bmatrix}\right) + \tag{1}$$

$$+2\,\mathrm{Re}\left(\sum_{n=1}^{\infty} B_n \frac{i^{(n+1)^2}}{\mu_1-\mu_2} r^{\frac{n}{2}-1}\begin{bmatrix} \mu_2^2\mu_1^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_1^2\mu_2^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} \\ \mu_1^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_2^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} \\ -\left(\mu_2\mu_1^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1} - \mu_1\mu_2^{\frac{(-1)^{n}+1}{2}}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{\frac{n}{2}-1}\right)\end{bmatrix}\right),$$

где μ_1, μ_2 – корни характеристического уравнения; A_n, B_n – амплитудные коэффициенты асимптотических полей трещины анизотропного материала; r, θ – полярные координаты.

Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) выступают ключевыми характеристиками линейной механики разрушения, количественно характеризующими сингулярность напряженного состояния вблизи вершины трещины (см. рис.). В классической постановке для бесконечной пластины с центральной сквозной

трещиной длиной 2a, нагруженной равномерным растягивающим напряжением σ, КИН для моды I (нормальный отрыв) задается выражением:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}, \tag{2}$$

Данная формула представляет собой упрощенную форму более общей калибровочной зависимости:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}\gamma, \tag{3}$$

где безразмерный поправочный коэффициент γ, учитывающий геометрию, для случая бесконечной пластины принимает значение, равное единице.

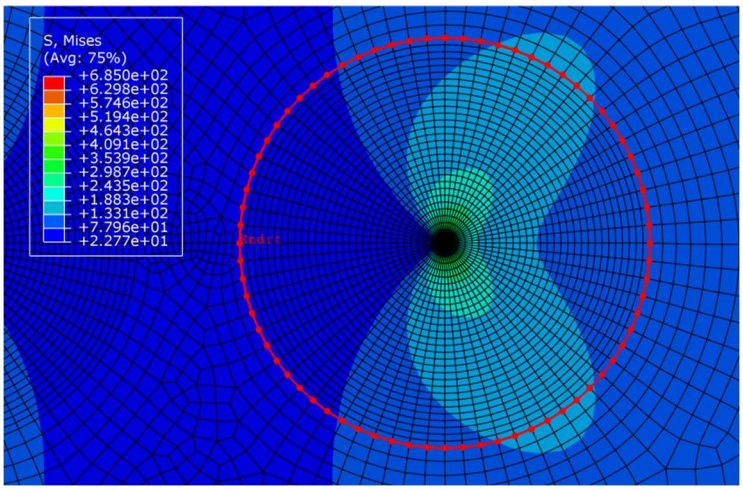


Рисунок – Путь для определения поля напряжений в окрестности вершины трещины

Современные численные подходы, прежде всего МКЭ, гарантируют высокоточное вычисление коэффициентов интенсивности напряжений. Интеграция переопределенного метода [5] асимптотического разложения напряжений с конечно-элементным моделированием разнообразных геометрических конфигураций (отношение длины трещины к ширине пластины) дает обобщенные тарировочные формулы. В частности, для $CsSnI_3$ тарировочная зависимость имеет вид:

$$F(\gamma) = 0.14 + 2.17\gamma - 4.53\gamma^2 + 8.63\gamma^3 - 5.09\gamma^4. \tag{4}$$

Библиографический список

1. Nejati, M. Crack tip asymptotic fields in anisotropic planes: Importance of higher order terms / M. Nejati, S. Ghouli, M.R. Ayatollahi // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 91. – P. 837–862.

2. Фомченкова, М.А. Анизотропные линейно упругие материалы: теоретические и конечно-элементные решения механики разрушения анизотропных сред / М.А. Фомченкова // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч. конф., Воронеж, 02–04 дек. 2024 г. – Воронеж: Науч.-исслед. публикации, 2025. – С. 766–770.

3. Степанова, Л.В. Теоретические и конечно-элементные решения механики разрушения анизотропных сред / Л.В. Степанова, М.А. Фомченкова // Математическое моделирование и краевые задачи: материалы XII Всерос. науч. конф. с междунар. участием: в 2 т. – Самара: СамГТУ, 2024. – Т. 1. – С. 136–139.

4. Фомченкова, М.А. Обобщение на случай анизотропных материалов переопределенного метода восстановления амплитудных коэффициентов рядов, представляющих механические поля вблизи кончика дефекта / М.А. Фомченкова, Л.В. Степанова // Математическое моделирование в естественных науках. – 2024. – Т. 1. – С. 403–406.

5. Фомченкова, М.А. Процедура переопределенного метода нахождения коэффициентов разложения полей у вершины трещины, основанная на конечно-элементном решении для компонент тензора напряжения / М.А. Фомченкова, Л.В. Степанова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2024. – Т. 30, № 2. – С. 54–66.

УДК 539.4, 519.6

ОЦЕНКИ СХОДИМОСТИ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЯДОВ ДЛЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ

© Фомченкова М.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: fomchenkova.ma@ssau.ru

Научный руководитель: Степанова Л.В., д-р физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: асимптотическое разложение, механика разрушения, анизотропные материалы, поля напряжений, абсолютная погрешность.

В работе получены оценки точности для усеченных асимптотических разложений (1), которые являются обобщением представления М. Уильямса [1] и широко используются для представления механических полей вблизи вершины трещины в анизотропно-упругих средах.

$$\begin{pmatrix}\sigma_{11}\\ \sigma_{22}\\ \sigma_{12}\end{pmatrix} = 2\,\mathrm{Re}\left(\sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{i^{(n+1)^2}}{\mu_1-\mu_2} r^{\frac{n}{2}-1}\begin{bmatrix} \mu_2^2\mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_1^2\mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1} \\ \mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1} \\ -\left(\mu_2\mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_1\mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1}\right)\end{bmatrix}\right) +$$

$$+2\,\mathrm{Re}\left(\sum_{n=1}^{\infty} B_n \frac{i^{(n+1)^2}}{\mu_1-\mu_2} r^{\frac{n}{2}-1}\begin{bmatrix} \mu_2^2\mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_1^2\mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1} \\ \mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1} \\ -\left(\mu_2\mu_1^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)^{n/2-1} - \mu_1\mu_2^{\left((-1)^n+1\right)/2}(\cos\theta+\mu_1\sin\theta)^{n/2-1}\right)\end{bmatrix}\right), \quad (1)$$

где μ_1, μ_2 – корни характеристического уравнения; A_n, B_n – амплитудные коэффициенты асимптотических полей трещины анизотропного материала; r, θ – полярные координаты.

Исследованы асимптотические решения [2] в виде бесконечных рядов, усеченных на различном количестве членов. Исследуемая погрешность вычисляется по формуле модуля разности точного аналитического решения (2) на основе теории функций комплексного переменного и асимптотического представления (1). Чтобы отобразить области, где погрешность достигает уровня машинной точности (порядка 10^{-12}), выполняется логарифмирование полей абсолютных погрешностей. Вычисленные поля абсолютной погрешности для $\alpha = \pi/2, \beta = 0, \sigma = 100\,Па$ (рис. 1, 2) демонстрируют наличие областей с точками, где погрешность равна нулю, что подтверждает существование зон, в которых усеченные ряды дают абсолютно точный результат.

$$\sigma_{11} = \sigma\,\mathrm{Re}\left[\frac{1}{\mu_1-\mu_2}\left\{\mu_2^2(\mu_1\sin^2\alpha+\sin\alpha\cos\alpha)\frac{z_2}{\sqrt{z_2^2-a^2}} - \mu_1^2(\mu_2\sin^2\alpha+\sin\alpha\cos\alpha)\frac{z_1}{\sqrt{z_1^2-a^2}}\right\}\right] +$$

$$+\sigma\left[\cos^2\alpha + \mathrm{Re}\left(\mu_1\mu_2\right)\sin^2\alpha + \mathrm{Re}\left(\mu_1+\mu_2\right)\sin\alpha\cos\alpha\right],$$

$$\sigma_{22} = \sigma \mathrm{Re}\left[\frac{1}{\mu_1 - \mu_2} \left\{ (\mu_1 \sin^2 \alpha + \sin\alpha \cos\alpha) \frac{z_2}{\sqrt{z_2^2 - a^2}} - (\mu_2 \sin^2 \alpha + \sin\alpha \cos\alpha) \frac{z_1}{\sqrt{z_1^2 - a^2}} \right\} \right], \quad (2)$$

$$\sigma_{12} = \sigma \mathrm{Re}\left[\frac{-1}{\mu_1 - \mu_2} \left\{ (\mu_1 \sin^2 \alpha + \sin\alpha \cos\alpha) \frac{\mu_2 z_2}{\sqrt{z_2^2 - a^2}} - (\mu_2 \sin^2 \alpha + \sin\alpha \cos\alpha) \frac{\mu_1 z_1}{\sqrt{z_1^2 - a^2}} \right\} \right].$$

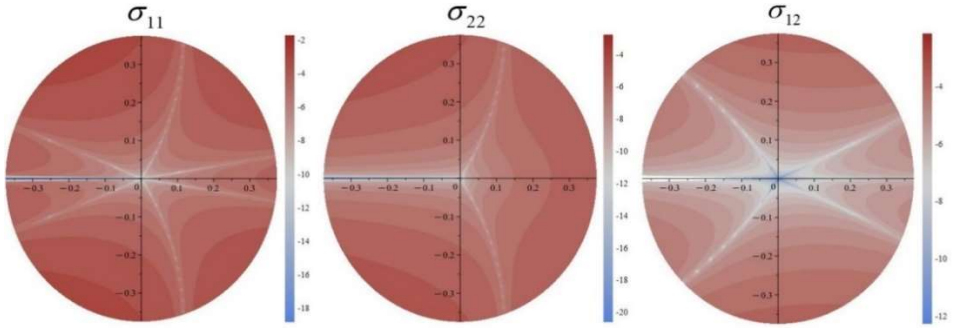


Рисунок 1 – Двумерные поля абсолютной погрешности между точным аналитическим решением и восьмичленным асимптотическим разложением для компоненты тензора напряжений

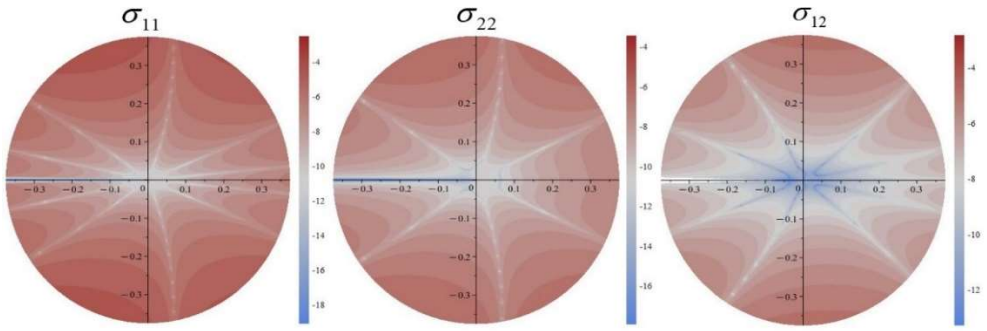


Рисунок 2 – Двумерные поля абсолютной погрешности между точным аналитическим решением и двенадцатичленным асимптотическим разложением для компоненты тензора напряжений

Установлено, что данные точки точности выстраиваются вдоль кривых, исходящих из вершины трещины и направленных к периферии областей сходимости соответствующих рядов [3; 4].

Библиографический список

1. Williams, M.L. Stress singularities resulting from various boundary conditions in angular corners of plates in extension / M.L. Williams // Journal of Applied Mechanics. – 1952. – Vol. 19. – P. 526–528.

2. Nejati, M. Crack tip asymptotic fields in anisotropic planes: Importance of higher order terms / M. Nejati, S. Ghouli, M. R. Ayatollahi // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 91. – P. 837–862.

3. Степанова, Л.В. О точности усеченных разложений полей у вершины трещины в анизотропных материалах / Л.В. Степанова, М.А. Фомченкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 4. – С. 403–420.

4. Степанова, Л.В. Эффекты слагаемых высшего порядка малости в обобщенных рядах для представления полей, ассоциированных с вершиной трещины в анизотропных средах. Часть 1. Сравнение точного и асимптотического решений определения напряжений у вершины трещины / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2025. – № 1. – С. 59–81.

УДК 539.4, 519.6

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ КАЧАНОВА-РАБОТНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЦЕДУР

© Чаплий Д.В., Белова О.Н., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Chapliy.dv@ssau.ru

Ключевые слова: поврежденность, сплошность, связанная постановка задачи, процедура UMAT.

Ползучесть и накопление повреждений критически влияют на долговечность конструкций, работающих при повышенных температурах (газотурбинные элементы, трубопроводы, реакторные установки). Особую опасность представляет трещинообразование, поскольку сочетание ползучести и повреждений ускоряет разрушение. Это делает актуальной разработку численных методов, учитывающих кинетику повреждений. В данной работе представлено конечно-элементное моделирование процессов накопления повреждений в окрестности вершины трещины в условиях ползучести с использованием закона Качанова-Работнова для описания кинетики повреждений и пользовательской процедуры UMAT в ABAQUS для реализации нелинейного материального поведения [1–4]. Исследована эволюция поврежденности вблизи вершины трещины в условиях нестационарной ползучести в двухмерной и трехмерной постановке задачи. Результаты конечно-элементного моделирования приведены на рис. 1–3. Проведено численное моделирование одноосного растяжения пластины с центральной трещиной с закруглёнными вершинами. На рис. 1 и 2 на графиках слева видно, что распределения компонент тензора напряжений и поврежденности обладают асимптотическим поведением. На рис. 1 и 2 справа наблюдается схождение кривых, соответствующих разным временным точкам, в единую зависимость, что подтверждает автомодельный характер решения в зоне ползучести.

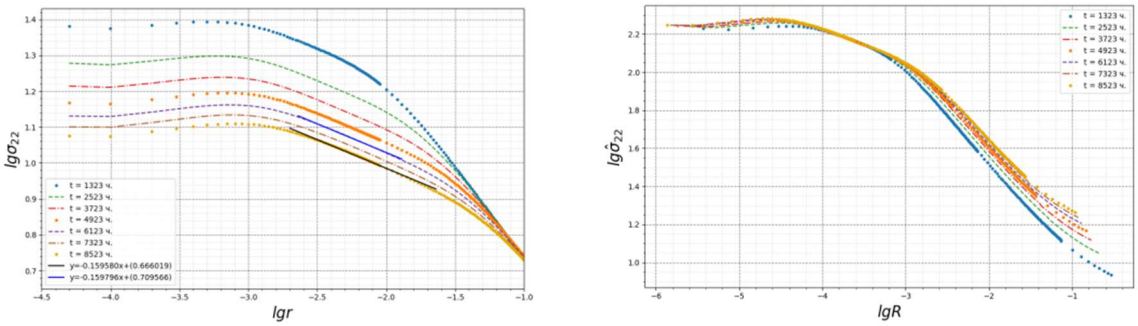


Рисунок 1 – Радиальные распределения компоненты тензора напряжений σ_{22} при ползучести с учетом развития поврежденности (показатель ползучести $n = 3$). Слева изображены зависимости безразмерного напряжения $\sigma_{22}(r, \varphi = 0)$ от радиальной координаты r в области ползучести для различных временных интервалов, включая асимптотические кривые для двух моментов времени. Справа приведены аналогичные зависимости, но в автомодельной радиальной координате R

Подпрограмма-UMAT была использована для расчета трубы, находящейся под действием внутреннего давления и продольной растягивающей нагрузки, ослабленной продольной трещиной, с учетом процессов накопления повреждений. Результаты приведены на рис. 3. Было показано, что учет поля повреждений имеет существенное значение. Результаты исследования демонстрируют значительное влияние повреждённости на асимптотическое поведение напряжённого состояния в окрестности вершины трещины. Установлено хорошее соответствие между расчётами методом конечных элементов и аналитическим решением XPP.

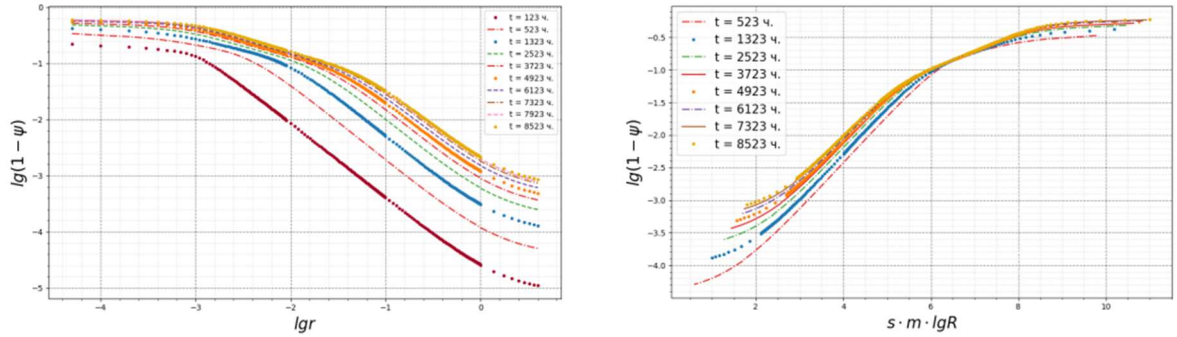


Рисунок 2 – Радиальные распределения параметра поврежденности $1 - \psi$ *в двойных логарифмических координатах* $(n = 3)$. *Слева отражена эволюция поврежденности* $1 - \psi$ *в зависимости от радиальной координаты* r *для различных моментов времени. Правый рисунок демонстрирует кривые зависимости параметра поврежденности* $1 - \psi$ *от автомодельной радиальной координаты* R

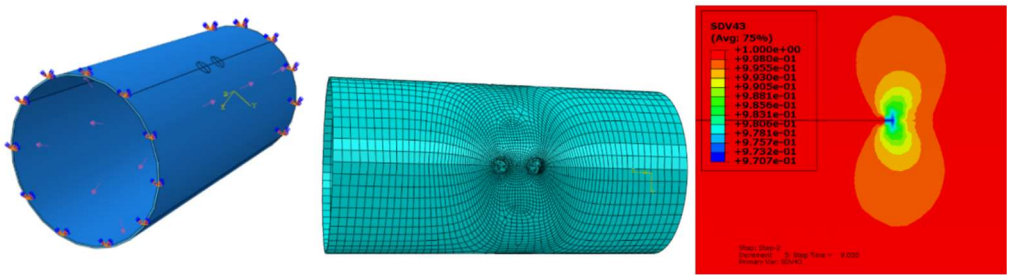


Рисунок 3 – Геометрия трубы, граничные условия (а), типичное МКЭ разбиение (б) и распределение сплошности в трубе (в)

На основании проведённого анализа можно заключить, что применение модифицированного закона ползучести, реализованного в пользовательской подпрограмме UMAT, обеспечивает достоверное описание поведения материала и может быть эффективно использовано в задачах континуальной механики разрушения.

Белова О.Н. и Степанова Л.В. благодарят Российский научный фонд (проект № 25-21-00272).

Библиографический список

1. Степанова, Л.В. Выявление асимптотического поведения поврежденности у фронта трещины при ползучести на основании конечно-элементных расчетов / Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Ю.С. Быкова // Прикладная механика и техническая физика. – DOI: 10.15372/PMTF202415561.

2. Чаплий, Д.В. Исследование асимптотики поля напряжений в окрестности вершины трещины в условиях ползучести с учетом поврежденности / Д.В. Чаплий, О.Н. Белова,

Л.В. Степанова, Ю.С. Быкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 3. – С. 17–38.

3. Чаплий, Д.В. Воздействие аккумуляции повреждений на асимптотическое поведение напряжений в окрестности вершины трещины / Д.В. Чаплий, Л.В. Степанова, О.Н. Белова // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 46–62.

4. Чаплий, Д.В. Параметрическое исследование полей, ассоциированных с вершиной трещины, в условиях ползучести с учетом процессов накопления поврежденности с использованием UMAT / Д.В. Чаплий, Л.В. Степанова, О.Н. Белова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». –2023. – Т. 27, вып. 3, № 3. – С. 509–529.

УДК 539.4, 519.6

ПРИМЕНЕНИЕ DIC СИСТЕМЫ VIC-3D ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

© Шарипова К.М., Бахарева Ю.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: bakhareva.yun@ssau.ru

Ключевые слова: поля деформации, DIC, система VIC-3D, механика деформируемого твердого тела.

Точное определение полей напряжений и перемещений в деформируемых телах является одной из фундаментальных задач механики деформируемого твердого тела. В этой связи экспериментальное, численное и теоретическое нахождение механических полей представляет собой актуальную задачу [1; 2]. В работе рассмотрена задача о сжатии диска с отверстием, выполненного из эпоксидной смолы, с помощью аналитического решения с использованием теории упругости, численного решения с использованием метода конечных элементов и проведен эксперимент с помощью метода DIC с использованием комплексной системы VIC-3D. Результаты сравнения решений методом DIC и МКЭ представлены на рис. 1–5.

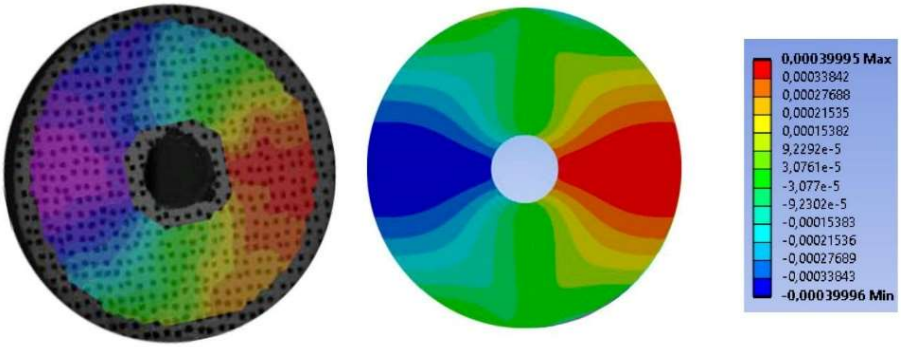


Рисунок 1 – Экспериментальная и численная карта перемещений u_x (DIC слева, МКЭ справа)

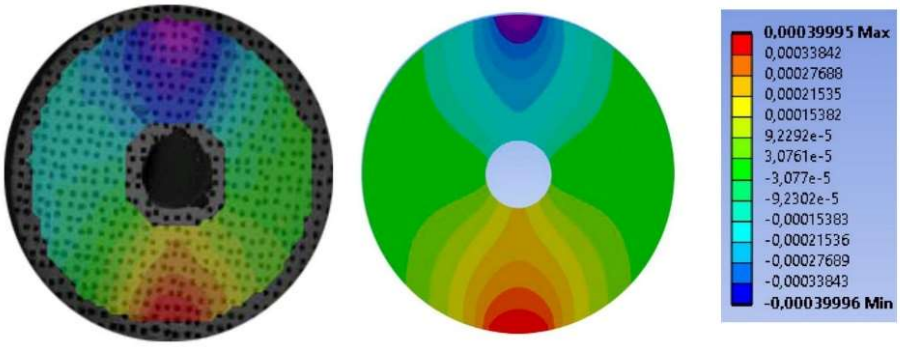


Рисунок 2 – Экспериментальная и численная карта перемещений u_y (DIC слева, МКЭ справа)

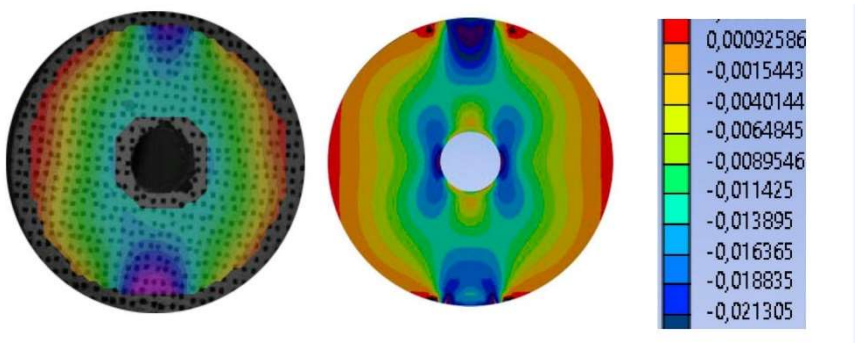


Рисунок 3 – Распределение деформации ε_{xx} (слева – DIC, справа – МКЭ)

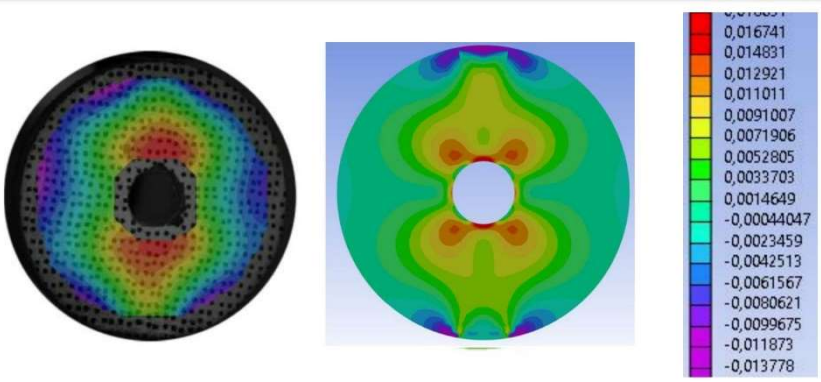


Рисунок 4 – Распределение деформации ε_{yy} (слева – DIC, справа – МКЭ)

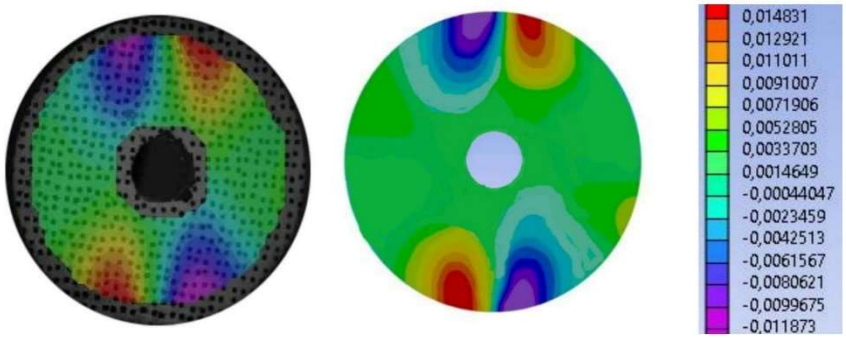


Рисунок 5 – Распределение деформации ε_{xy} (слева – DIC, справа – МКЭ)

Реализовано компьютерное моделирование в пакете ANSYS сжатия диска с круговым центральным отверстием, выполненного из эпоксидной смолы. В ходе проведенного вычислительного эксперимента получены характеристические величины (напряжения, деформации). В ходе проведенного вычислительного эксперимента было построено распределение компонент тензора деформации и вектора перемещения. Проведён эксперимент на сжатие на гидравлической установке с помощью комплексной системы VIC-EDU, которая обладает такими преимуществами как бесконтактность, универсальность, скорость, с применением метода корреляции цифровых изображений (DIC). С помощью программного обеспечения в ходе эксперимента так же были найдены напряжения, перемещения и деформации. Система VIC-3D и метод корреляции цифровых изображения в целом могут быть использованы для определения полей деформации для образцов из различных материалов различной формы под действием разного рода механических воздействий. Значения, полученные

в результате аналитического решения, сравнивались с экспериментальным решением и численным решением, полученным методом конечных элементов. Разницу в полученных решениях можно объяснить несоосностью, которая возникает при установке образца в захваты, процессом калибровки, видом нанесенного спекл-рисунка, освещенностью образца, и в целом погрешностью оптического комплекса.

Библиографический список

1. Степанова, Л.В. Выявление асимптотического поведения поврежденности у фронта трещины при ползучести на основании конечно-элементных расчетов / Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Ю.С. Быкова // Прикладная механика и техническая физика. – DOI: 10.15372/PMTF202415561.

2. Чаплий, Д.В. Исследование асимптотики поля напряжений в окрестности вершины трещины в условиях ползучести с учетом поврежденности / Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий, Ю.С. Быкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 3. – С. 17–38.

УДК 539.4, 519.6

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ВЕРШИНОЙ ТРЕЩИНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ: СОПОСТАВЛЕНИЕ С АНАЛИТИЧЕСКИМ РЕШЕНИЕМ

© Широбоков И.Д., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: issh235@gmail.com

Ключевые слова: анизотропные материалы, конечно-элементное соделирование полей, вершина трещины, численный и асимптотический анализ.

Анализ полей напряжений и перемещений вблизи кончика трещины в анизотропных материалах является одной из важных задач современной механики разрушения [1–5]. В работе был проведён численный и асимптотический анализ полей напряжений у вершины трещины в пластине из ортотропного материала при одноосном растяжении для трёх различных ортотропных материалов (mp – 979115, mp – 1652, mp – 2059 – идентификаторы рассматриваемых материалов в базе материалов Materials Project). Асимптотический анализ полей напряжений был реализован посредством расчёта на основе усечённых рядов асимптотического решения для полей напряжений с удержанием разного числа значимых (отличных от 0) слагаемых. Рассматриваются суммы с числом значимых слагаемых не более 100.Численный анализ был проведён посредством построения конечно-элементной модели пластины с центральной трещиной под одноосной нагрузкой и расчёта поля напряжений на основе этой модели методом конечных элементов в программном пакете SIMULIA ABAQUS.Расчёт на основе асимптотического решения, а также визуализация результатов были проведены в пакете компьютерной математики Maple. Результаты численного и асимптотического анализа приведены на рис. 1–3. Далее приняты следующие обозначения: $\sigma\,\sigma$ – величина приложенной нагрузки, a – полудлина трещины, θ – полярный угол (полярная ось исходит из вершины трещины и направлена по её продолжению), r – расстояние от вершины трещины, $\sigma_{11} = \sigma_{11}(r,\theta)$.

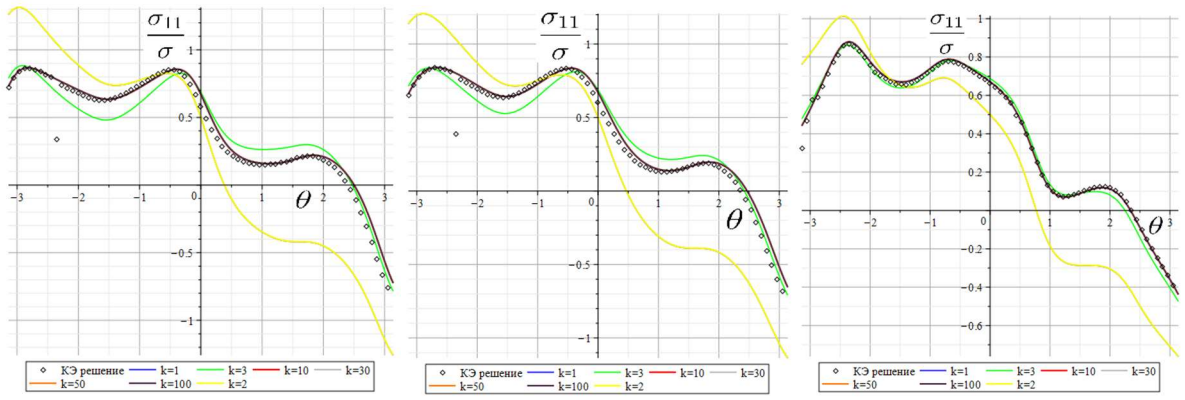


Рисунок 1 – Распределение σ_{11} у вершины трещины при r = 0.5a для mp – 979115, mp – 1652, mp – 2059 соответственно

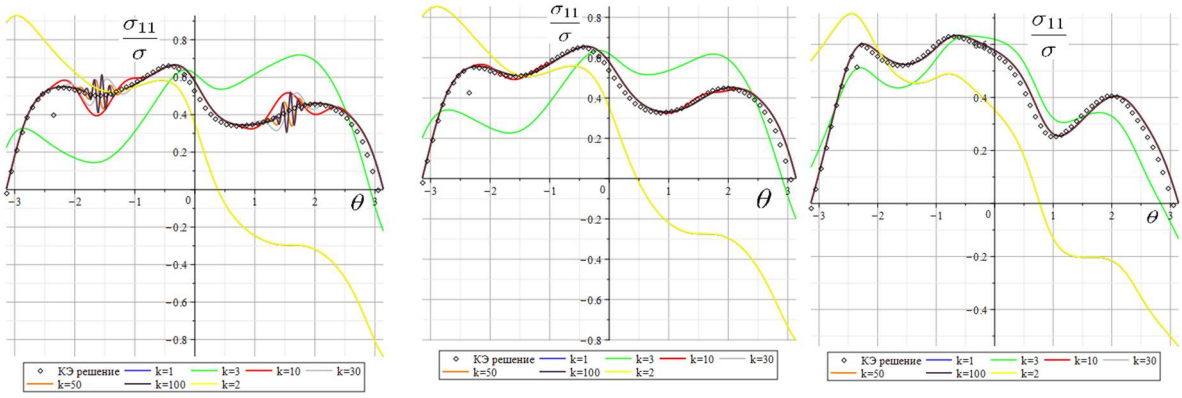


Рисунок 2 – Распределение σ_{11} у вершины трещины при r = a для тр – 979115, тр – 1652, тр – 2059 соответственно

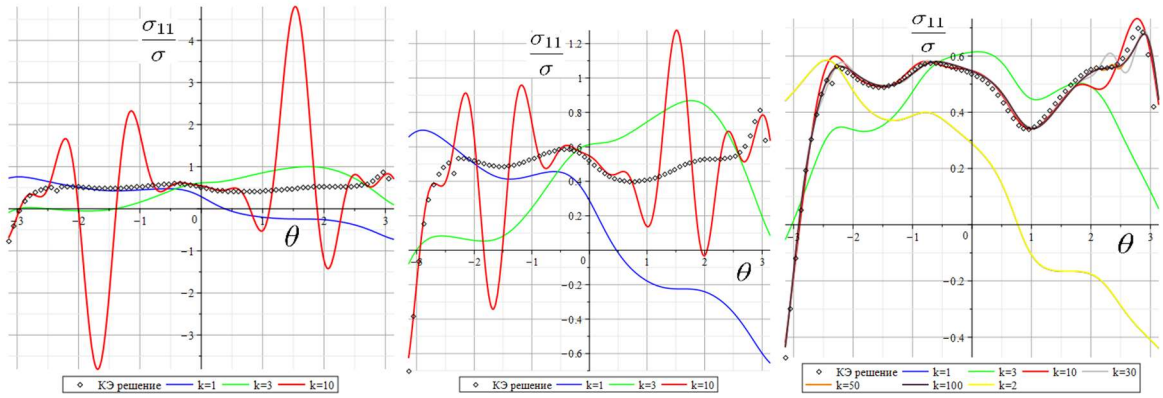


Рисунок 3 – Распределение σ_{11} у вершины трещины при r = 1.5a для тр – 979115, тр – 1652, тр – 2059 соответственно

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы. В ряде случаев в анизотропных материалах для расширения области справедливости асимптотических разложений следует увеличивать число удерживаемых слагаемых в асимптотических разложениях, представляющих поля напряжений у вершины трещины. Радиус области справедливости усечённых рядов асимптотического решения с числом значимых слагаемых не превосходящим 100, представляющих поля напряжений у вершины трещины в анизотропных материалах, зависит от материальных свойств. Показано, что используемый подход для построения конечно-элементного решения, основанный на введение сингулярных конечных элементов, позволяет получить решение, полностью совпадающее с асимптотическим решением задачи на области его справедливости и, в силу этого, может быть применен для решения численного решения задач, не обладающих аналитическими решениями.

Библиографический список

1. Nejati M. Crack tip asymptotic fields in anisotropic planes: Importance of higher order terms / M. Nejati, S. Ghouli, M. R. Ayatollahi // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 91. – P. 837–862.

2. Степанова, Л.В. О точности усеченных разложений полей у вершины трещины в анизотропных материалах / Л.В. Степанова, М.А. Фомченкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 4. – С. 403–420.

3. Степанова, Л.В. Эффекты слагаемых высшего порядка малости в обобщенных рядах для представления полей, ассоциированных с вершиной трещины в анизотропных средах. Часть 1. Сравнение точного и асимптотического решений определения напряжений у вершины трещины / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2025. – № 1. – С. 59–81.

4. Степанова, Л.В. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией / Л.В. Степанова, К.А. Мушанкова // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 15–25.

5. Белова, О.Н. Компьютерное моделирование роста трещин. Метод молекулярной динамики / О.Н. Белова, Л.В. Степанова, Д.В. Чаплий // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 44–55.

Секция 10
Фундаментальная и прикладная математика

УДК 517.928

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БРЮССЕЛЯТОРА

© Беззубов А.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: bezzubov.03@inbox.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: динамическая модель, устойчивость, стационар, брюсселятор.

Представленная работа посвящена исследованию модели брюсселятора, представляющей собой колебания субстратов и продуктов гликолиза, которая, будучи выражена в безразмерных переменных описывается системой [1; 2]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v - xy^2, \\ \frac{dy}{dt} = xy^2 - wy, \end{cases} \quad (1)$$

где x – концентрация субстрата, который поступает в систему с постоянной интенсивностью v, в ходе реакции необратимо превращается в продукт y, который удаляется из реакционного пространства со скоростью w.

В исследовании системы (1) особое внимание уделено анализу устойчивости стационаров и выявлению бифуркаций при изменении значений интенсивности субстрата v и скорости удаления продукта w. Качественным исследованием модели был проведен анализ устойчивости положения равновесия, и было установлено, что при изменении значений параметров системы происходит смена типа стационарного состояния. Также в работе были получены условия, при которых наблюдается бифуркация рождения предельного цикла, в виде соотношения значений параметров системы [3]. Качественное исследование модели было дополнено численным анализом, который подтвердил выводы о динамике решений системы на основе анализа ее траекторий на фазовой плоскости.

Проведенное исследование показало, что при малых изменениях параметров системы могут происходить качественные скачки в динамике решений, что демонстрирует высокую чувствительность гликолитической системы к внешним воздействиям. Получены условия бифуркации рождения предельного цикла. Существование предельного цикла означает наличие автоколебаний в реакционной системе.

Библиографический список

1. Selkov, E.E. Self-oscillations in glycolysis. I. A simple kinetic model / E.E. Selkov // European Journal of Biochemistry. – 1968. – Vol. 4. – P. 79–86.

2. Лаврова, А.И. Брюсселятор – абстрактная химическая реакция? / А.И. Лаврова, Е.Б. Постников, Ю.М. Романовский // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 12. – С. 1327–1332.

3. Арнольд, В.И., Теория бифуркаций / В.И. Арнольд [и др.] // Современные проблемы математики: Фундаментальные направления. – М.: ВИНИТИ, 1986. – Т. 5. – С. 5–218.

УДК 517.928

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПЕРВОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

© Горейнов Д.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: denis2.goreinov@yandex.ru

Научный руководитель: Кривошеева Ю.Ю., ассистент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: краевая задача,уравнение теплопроводности, явная разностная схема.

В данной работе исследуется сравнение численного и аналитического метода для решения первой краевой задачи для уравнения теплопроводности.
Задача: в области $D = \{(x,\ t): 0 < x < l,\ 0 < t < T\}$ найти функцию $u(x,\ t)$:

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0,\ \ 0 < x < l,\ \ 0 < t < T, \tag{1}$$

$$u(x,0) = \begin{cases} 1, & \frac{l}{2} - \frac{l}{4} \le x < \frac{l}{2} + \frac{l}{4} \\ 0, & else, \end{cases}, \tag{2}$$

$$u(0,t) = u(l,t) = 0,\ \ 0 < t < T. \tag{3}$$

Пусть $a = 1\frac{\text{см}^2}{c}$, $l = 12$ см, $T = 1$ c.

Аналитическое решение, полученное методом разделения переменных Фурье, имеет следующий вид:

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n}\left(cos\left(\frac{\pi n}{4}\right) - cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right)\right) sin\left(\frac{\pi n x}{12}\right) e^{-\frac{\pi^2 n^2 t}{144}}. \tag{4}$$

Численное решение получено по явной разностной схеме [1]. Сравним аналитическое решение (1) и численное по критериям точности и времени вычисления. К сожалению, при компьютерном моделировании теплового процесса, мы не можем взять бесконечное число слагаемых в ряде 4. Поэтому экспериментально было найдено, необходимое количество слагаемых для получения решения с приемлемой точностью.

Результаты сравнения аналитического и численного решения представлены в таблице и на рисунке.

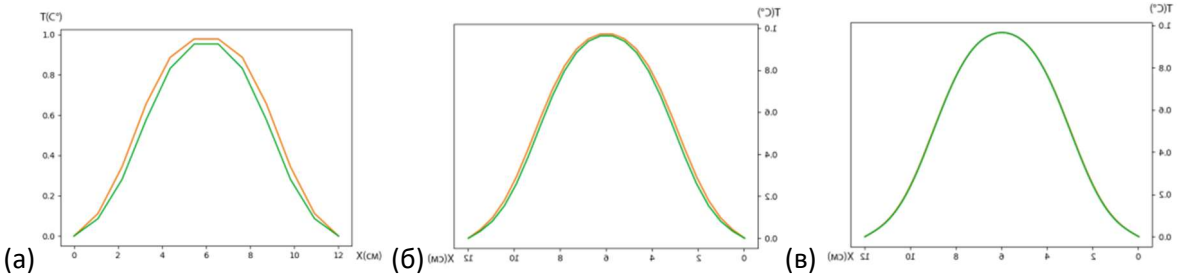


Рисунок – Графики зависимости температуры от координаты x для аналитического (зеленая линия) и численного (оранжевая линия) методов: (а) I = 12, K = 5, (б) I = 24, K = 14, (в) I = 192, K=600

Таблица – Сравнение времени вычисления для различных сеточных областей

I,K	t_a**(с)**	$t_ч$**(с)**	δ
12,5	1,54	$< 0{,}001$	0,17
24,14	8,68	0,001	0,16
48,50	67	0,002	0,08
96,150	401	0,011	0,06
192,600	3945.7	0,087	0,04

Из приведённых графиков и таблицы видно, что при измельчении сеточной области численное решение сходится к аналитическому. Кроме того, численное на достаточно мелкой сетке численное решение получается в 45 353 раза быстрее аналитического.

Библиографический список

1. Самарский, А.А. Численные методы математической физики / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – 2-е изд. – М.: Научный мир, 2003. – 316 с.

УДК 517.928

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧЕ О ТЕПЛОВОМ ВЗРЫВЕ

© Долгова Е.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: dolgova.es@ssau.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: асимптотическое разложение, аппроксимация Паде, автокаталитическое горение, критические явления.

В работе рассматривается безразмерная модель горения в случае автокаталитической реакции [1]:

$$\begin{cases} \varepsilon \frac{d\theta}{d\tau} = \eta(1-\eta)e^{\theta} - \alpha\theta, \\ \frac{d\eta}{d\tau} = \eta(1-\eta)e^{\theta}, \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$\eta(0) = \overline{\eta_0}, \theta(0) = 0 (\overline{\eta_0} \geq 0), \quad (2)$$

где η – глубина превращения, θ – безразмерная температура газа, τ – безразмерное время, $-\alpha\theta$ характеризует теплоотвод, ε – малый параметр.

В работе проводится сравнительный анализ различных асимптотических методов при моделировании критических явлений. Известно, что критические явления для математической модели горения в случае автокаталитической реакции моделируются так называемыми траекториями-утками [2; 3]. Для построения траектории-утки требуется найти критическое значение управляющего параметра, в данной задаче это параметр теплоотвода α. Чаще всего траектория-утка и критическое значение управляющего параметра строятся в виде асимптотических разложений по степеням малого параметра:

$$\alpha = \alpha(\varepsilon) = \alpha_0 + \alpha_1\varepsilon + \alpha_2\varepsilon^2 + \cdots, \quad (3)$$

$$\eta = \eta(\theta, \varepsilon) = \eta_0(\theta) + \eta_1(\theta)\varepsilon + \eta_2(\theta)\varepsilon^2 + \cdots. \quad (4)$$

В данной работе критическое значение параметра α найдено также в виде аппроксимаций Паде разного порядка. Показано, что аппроксимация Паде позволяет улучшить точность приближения критических условий.

Библиографический список

1. Соболев, В.А. Редукция моделей и критические явления в макрокинетике / В.А. Соболев, Е.А. Щепакина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 320 с.

2. Gorelov, G.N. Duck-trajectories in a thermal explosion problem / G.N. Gorelov, V.A. Sobolev // Applied Mathematics Letters. – 1992. – V. 5. – P. 3–6.

3. Sobolev, V.A. Duck-trajectories in a problem of combustion theory / V.A. Sobolev, E.A. Shchepakina // Differential Equations. – 1996. – V. 32, № 9. – P. 1177–1186.

УДК 517.9

ДЕКОМПОЗИЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИРОВЕРТИКАЛИ С РАДИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

© Иванов С.А., Воропаева Н.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: voropaeva.nv @ssau.ru

Научный руководитель: Соболев В.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: гироскопические системы, сингулярные возмущения, асимптотические методы, интегральные многообразия, декомпозиция.

Рассматривается математическая модель гировертикали с радиальной коррекцией [1]. Динамику рассматриваемой гироскопической системы можно описать нелинейной сингулярно возмущенной системой дифференциальных уравнений вида

$$\dot{\alpha} = y_1, \quad \dot{\beta} = y_2,$$

$$\varepsilon \dot{y}_1 = \frac{1}{J\cos^2\beta}(\varepsilon J \sin 2\beta y_1 y_2 - \cos\beta y_2 - \varepsilon b y_1 - \varepsilon\mu\beta),$$

$$\varepsilon \dot{y}_2 = \frac{1}{J}(-\varepsilon J \sin\beta \cos\beta y_1^{\,2} + \cos\beta y_1 - \varepsilon b y_2 + \varepsilon\mu\alpha),$$

где α, β – углы поворота внешнего и внутреннего колец карданова подвеса соответственно, J – экваториальный момент инерции гироскопа, H – кинетический момент, b – коэффициент сил сопротивления в осях подвеса колец, $\mu\alpha, \mu\beta$ – величины моментов, которые подаются на оси колец карданова подвеса, $\varepsilon = 1/H$ – малый параметр.

Особенностью рассматриваемой системы является то, что для нее не выполнено условие теоремы А.Н. Тихонова об асимптотической устойчивости присоединенной системы, что затрудняет применение классических асимптотических методов анализа. Тем не менее, используя метод геометрической декомпозиции, основанный на теории интегральных многообразий [2], удается построить замену переменных, позволяющую привести исходную сингулярно возмущенную дифференциальную систему к блочно-треугольному виду с независимой медленной подсистемой, описывающей движение на интегральном многообразии, и подсистемой, описывающей гаснущие высокочастотные колебания. Расщепляющее преобразование может быть построено с любой степенью точности в виде асимптотического разложения по степеням малого параметра. При этом медленная подсистема имеет размерность в два раза меньше исходной, не содержит разнотемповых переменных, но во многих случаях адекватно отражает поведение исходной системы и может быть использована в качестве редуцированной модели при решении задач анализа и управления. Произведен качественный анализ поведения медленных и быстрых составляющих движения для различных соотношений между параметрами системы.

Библиографический список

1. Меркин, Д.Р. Гироскопические системы / Д.Р. Меркин – М.: Наука, 1974. – 344 с.

2. Воропаева, Н.В. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем: монография / Н.В.Воропаева, В.А. Соболев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 256 с.

УДК 517.928

СМЕНА УСТОЙЧИВОСТИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С СИНГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

© Кипкаева О.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kipkaeva.os@ssau.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: дифференциальные системы, сингулярные возмущения, инвариантные многообразия, затягивание потери устойчивости.

В работе рассматривается явление затягивания потери устойчивости в дифференциальных системах с сингулярными возмущениями. Данное явление заключается в том, что фазовая точка системы, находящаяся в области влияния устойчивого участка медленного инвариантного многообразия, сначала быстро притягивается к нему, после чего, двигаясь вдоль этого многообразия, достигает границы устойчивости. Но, попадая в область влияния неустойчивого участка медленного инвариантного многообразия, фазовая точка срывается не сразу, некоторое время она продолжает двигаться вдоль этой части многообразия.

В рамках данной работы рассматриваются как некоторые ранее изученные сценарии затягивания потери устойчивости [1–5], так и новые, при которых одно или пара собственных значений матрицы Якоби быстрой подсистемы переходят из левой открытой комплексной полуплоскости в правую, что сопровождается потерей устойчивости медленным инвариантным многообразием системы. Новые сценарии связаны с возникновением кратного нулевого корня, то есть при переходе из левой открытой комплексной полуплоскости в правую происходит одновременное обнуление действительных и мнимых частей собственных чисел.

Библиографический список

1. Benoit, E. Chasse au canard / E. Benoit, J.L. Callot, F. Diener, M. Diener // Collectanea Mathematica. – 1981. – Vol. 31–32, № 1–3. – P. 37–119.

2. Щепакина, Е.А. Два вида смены устойчивости интегральных многообразий / Е.А. Щепакина // Дифференциальные уравнения. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 713–716.

3. Кипкаева, О.С. Смена устойчивости инвариантных многообразий дифференциальных систем с разномасштабными переменными / О.С. Кипкаева, Е.А. Щепакина // Дифференциальные уравнения. – 2024. – Т. 60, № 9. – С. 1155–1166.

4. Шишкова, М.А. Рассмотрение одной системы дифференциальных уравнений с малым параметром при высших производных / М.А. Шишкова // Доклады Академии наук СССР. – 1973. – Т. 209, № 3. – С. 576–579.

5. Нейштадт, А.И. Асимптотическое исследование потери устойчивости равновесия при медленном прохождении пары собственных чисел через мнимую ось / А.И. Нейштадт // Успехи математических наук. – 1985. – Т. 40, № 5. – С. 300–301.

УДК 517.928

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© Коннова К.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: konnova.ka@ssau.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: асимптотическое разложение, аппроксимация Паде, гироскопическая система.

В работе рассматривается линейная автономная гироскопическая система [1]:

$$\mathrm{A}\ddot{q} + (\Upsilon K + B)\dot{q} + Cq = 0, \quad (1)$$

где q – вектор обобщенных координат, A и B – симметрические положительно определенные матрицы, K – кососимметрическая невырожденная матрица, Υ – большой параметр.

Система (1) может быть приведена к виду [1; 2]:

$$\dot{u} = A_1(\varepsilon)u, \ \varepsilon\dot{z} = A_2(\varepsilon)z,$$

с помощью замены переменных

$$q = u + \varepsilon P z, \ y = z + Lx. \quad (2)$$

Неизвестные L и P в замене (2) находятся как решения уравнений

$$\varepsilon \mathrm{A} L^2 = -\varepsilon C - (K + \varepsilon B)L, \quad (3)$$

$$-P\mathrm{A}^{-1}(K + \varepsilon B + \varepsilon L) = \varepsilon LP + I. \quad (4)$$

Чаще всего для решения матричных уравнений (3) и (4) используется стандартное асимптотическое разложение неизвестных функций по степеням малого параметра вида

$$f = f(\varepsilon) = f^{(0)} + \varepsilon f^{(1)} + \varepsilon^2 f^{(2)} + \cdots. \quad (5)$$

Целью данной работы является сравнение асимптотического разложения (5) с аппроксимациями Паде [3] решений матричных уравнений (3) и (4) на примере уравнений гироскопической вертикали с радиальной коррекцией:

$$\begin{cases} \varsigma\ddot{\alpha} - \Upsilon\dot{\beta} - k\beta = 0, \\ \varsigma\ddot{\beta} + \Upsilon\dot{\alpha} + k\alpha = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Показано, что аппроксимация Паде позволяет улучшить точность приближения искомых решений L и P.

Библиографический список

1. Меркин, Д.Р. Гироскопические системы / Д.Р. Меркин. – Москва: Наука, 1974. – 300 с.

2. Воропаева, Н.В. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем / Н.В. Воропаева, В.А. Соболев. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 256 с.

3. Бейкер, Дж. Аппроксимация Паде / Дж. Бейкер, П. Грейвс-Морис. – М.: Мир, 1986. – 502 с.

УДК 517.928

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ХИЩНИК – ЖЕРТВА» С УЧЕТОМ КОНКУРЕНЦИИ ЖЕРТВ И С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ

© Кучиев Г.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ksgermanz@gmail.com

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: динамическая система, «хищник – жертва», особые точки, устойчивость.

В работе рассматривается модель динамики популяций [1; 2], в которой в популяции жертвы учитывается деление на подпопуляцию молодняка и подпопуляцию взрослых особей:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_2 - vx_1 - \zeta y - \mu x_1, \\ \dot{x}_2 = \mu x_1 - mx_2, \\ \dot{y} = k(\zeta y - dy), \end{cases} \quad (1)$$

где $x_1(t)$ – численность оленят (детеныши оленей в возрасте от 4 до 6 мес.), т. е. численность «жертвы»; $x_2(t)$ – численность взрослых оленей (от 6 мес. до 12 лет); $y(t)$ – численность койотов, т.е. «хищника»; a – уровень прироста оленей; v, m – коэффициент естественной смертности оленят и оленей, соответственно; μ – скорость взросления оленят; d – коэффициент смертности койотов; Предполагается, что численность выедаемой жертвы изменяется согласно линейному уравнению $\zeta = \gamma x_1$, где γ – частота нападений на жертву.

Средняя продолжительность жизни и возраст взросления оленя $1/m$ и $1/\mu$, соответственно. Так как процессы, связанные с взрослением молодняка, протекают существенно быстрее процессов взрослых особей, то в систему (1) включаем малый параметр ε, после чего она может быть записана в сингулярно возмущенной форме:

$$\begin{cases} \varepsilon\dot{x}_1 = ax_2 - vx_1 - \gamma x_1 y - \mu x_1, \\ \dot{x}_2 = \mu x_1 - mx_2, \\ \dot{y} = k(\gamma x_1 y - dy). \end{cases} \quad (2)$$

Исследование модели проведено качественными и численными методами. На основании исследования особых точек системы (2) на устойчивость и проведения численного эксперимента были получены результаты о влиянии значений параметров системы на динамику ее решений. Установлено условие на параметры системы, когда сосуществуют все три популяции, что свидетельствует об экологическом равновесии биологической системы.

Библиографический список

1. Рубин, А.Б. Кинетика Биологических процессов / А.Б. Рубин, Н.Ф. Пытьева, Г.Ю. Ризниченко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 330 с.

2. Базыкин, А.Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А.Д. Базыкин. – М.: Наука, 1985. – 181 с.

УДК 517.928

УСТОЙЧИВО-НЕУСТОЙЧИВЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

© Логинов М.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: loginovmax2003@gmail.com

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: сингулярно возмущенная система, инвариантные многообразия, устойчивость, траектории-утки, бифуркация.

Работа посвящена исследованию сингулярно возмущенной системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = X(x, y, \alpha, \varepsilon), \\ \varepsilon\dot{y} = Y(x, y, \alpha, \varepsilon), \end{cases} \tag{1}$$

где ε – малый положительный параметр, α – скалярный вещественный параметр, x – скалярная медленная переменная, y – скалярная быстрая переменная, X и Y – достаточно гладкие функции. Предполагается, что значения функций X и Y сравнимы с единицей при малых значениях параметра ε. Точка означает дифференцирование по независимой переменной времени t.

Напомним [1], что медленной кривой системы (1) называется множество точек

$$\Gamma = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2: \ \ Y(x, y, \alpha, 0) = 0\}.$$

Участки медленной кривой, для которых выполнено условие $Y_y < 0$ ($Y_y > 0$) называются устойчивыми (неустойчивыми).

В достаточно малой окрестности устойчивого и неустойчивого участков медленной кривой существуют, соответственно, устойчивые и неустойчивые медленные инвариантные многообразия системы (1), которые в окрестности нерегулярных точек [1] терпят разрыв. Отметим, что медленное инвариантное многообразие является устойчивым (неустойчивым), если оно обладает свойством притяжения (отталкивания). Особый интерес представляют собой инвариантные многообразия, которые состоят одновременно из устойчивых и неустойчивых частей [2]. На плоскости примером таких многообразий могут служить траектории-утки.

Первое упоминание о траекториях-утках было в работе [3] для системы Ван дер Поля, которая исследовалась методами нестандартного анализа.

В данной работе рассматривается теорема существования таких инвариантных многообразий для уравнения вида [2]

$$\varepsilon\frac{dy}{dx} = 2xy + F(x, y, \alpha, \varepsilon). \tag{2}$$

Особенность работы заключается в том, что при доказательстве теоремы рассматриваются методы стандартного анализа, применяется теория дифференциальных уравнений и теория операторов. Результат бы продемонстрирован на системе Ван дер Поля. Система была сведена к уравнению вида (2), и для нее были проверены все условия выполнения теоремы. Продемонстрирован метод нахождения

такого инвариантного многообразия в виде асимптотического разложения по целым степеням малого параметра, а также найдено значение скалярного параметра, соответствующего данному инвариантному многообразию. Результат был наглядно представлен графически (см. рис.).

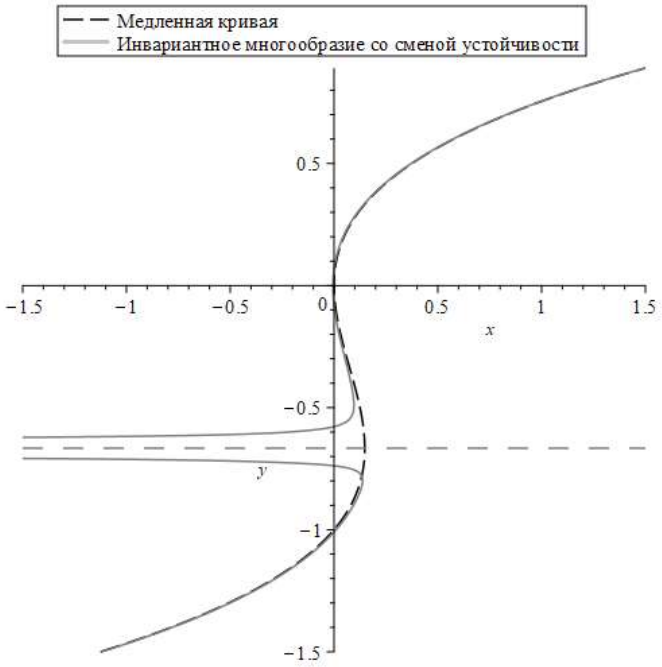


Рисунок – медленная кривая и полученное инвариантное многообразие для системы Ван дер Поля при ε = 0,01

Здесь для системы

$$\begin{cases} \dot{x} = \alpha - y, \\ \varepsilon\dot{y} = x - y^2 - y^3, \end{cases}$$

изображена медленная кривая

$$x = y^2 + y^3.$$

Для нее устойчивые участки при

$$y < -\frac{2}{3}, \qquad y > 0,$$

а, соответственно, неустойчивый участок при

$$-\frac{2}{3} < y < 0.$$

Медленная кривая имеет две точки срыва

$$P_1(0,0), \quad P_2\left(\frac{4}{27}, -\frac{2}{3}\right).$$

Серой сплошной линией изображено медленное инвариантное многообразие, которое меняет свою устойчивость, проходя через точку срыва P_1.

Библиографический список

1. Соболев, В.А. Редукция моделей и критические явления в макрокинетике / В.А. Соболев, Е.А. Щепакина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 320 с.

2. Shchepakina, E. Invariant surfaces of variable stability / E. Shchepakina, V. Sobolev // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – V. 727, issue 1. – P. 012016.

3. Callot, J.-L. Le probleme de la “Chasse an canard” / J.-L. Callot, F. Diener, M. Diener // C.R. Acad. Sci. Paris. Ser. 1. – 1978. – Vol. 286, № 22. – P. 1059–1061.

УДК 621.684.4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В АГРЕГАТЕ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ МЕТОДОМ FSI-АНАЛИЗА

© Пономарев С.А., Пономарева С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ponomarev.serg-hanter@yandex.ru

Научный руководитель: Родионов Л.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: перистальтический насос, FSI-анализ, аппарат искусственного кровообращения, гемодинамика, пульсирующий поток.

Перистальтические насосы широко применяются в аппаратах искусственного кровообращения (АИК), однако механическое воздействие на кровь может вызывать гемолиз – разрушение эритроцитов. Основными факторами гемолиза являются сдвиговые напряжения, градиенты скорости и локальные ускорения, возникающие в месте пережатия роликами трубки, а именно в образованном зазоре между стенками трубки (рис. 1).

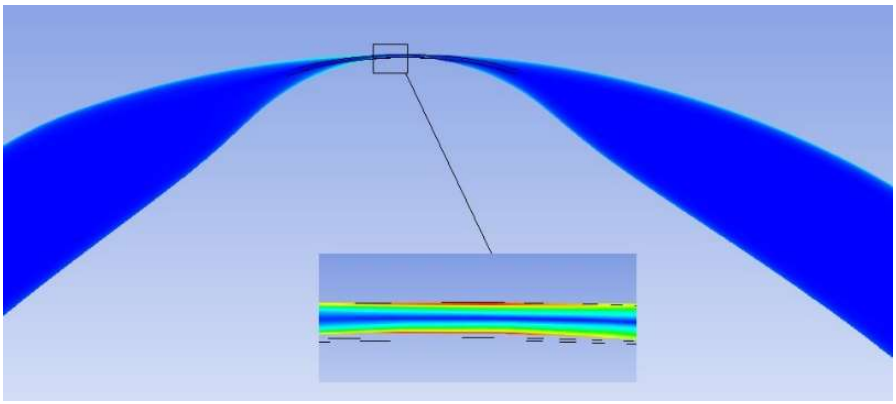


Рисунок 1 - Градиент скорости сдвиговой деформации в месте пережатия трубки

Целью работы являлось численное исследование влияния конструктивных параметров перистальтического насоса на гемолиз с использованием метода Fluid-Structure Interaction (FSI) анализа в ANSYS. Моделирование проводилось для различных зазоров между стенками трубки при пережатии (от 0,15 до 3 мм) и скорости вращения ротора 40 об/мин [1–5].

Результаты показали, что с увеличением зазора критические гидродинамические параметры (скорость сдвиговой деформации, напряжение сдвига пристеночного слоя, скорость потока) снижаются (рис. 2), что уменьшает риск гемолиза. Наилучшие показатели были достигнуты при зазоре 3 мм, однако требуемый для АИК расход (≥6 л/мин) при этом не обеспечивался (3,81 л/мин) (рис. 3). Попытка компенсировать недостаточный расход увеличением скорости вращения до 80 об/мин привела к резкому росту напряжений сдвига (до 255 Па) и скорости потока (до 4,76 м/с), что многократно превышает безопасные пределы.

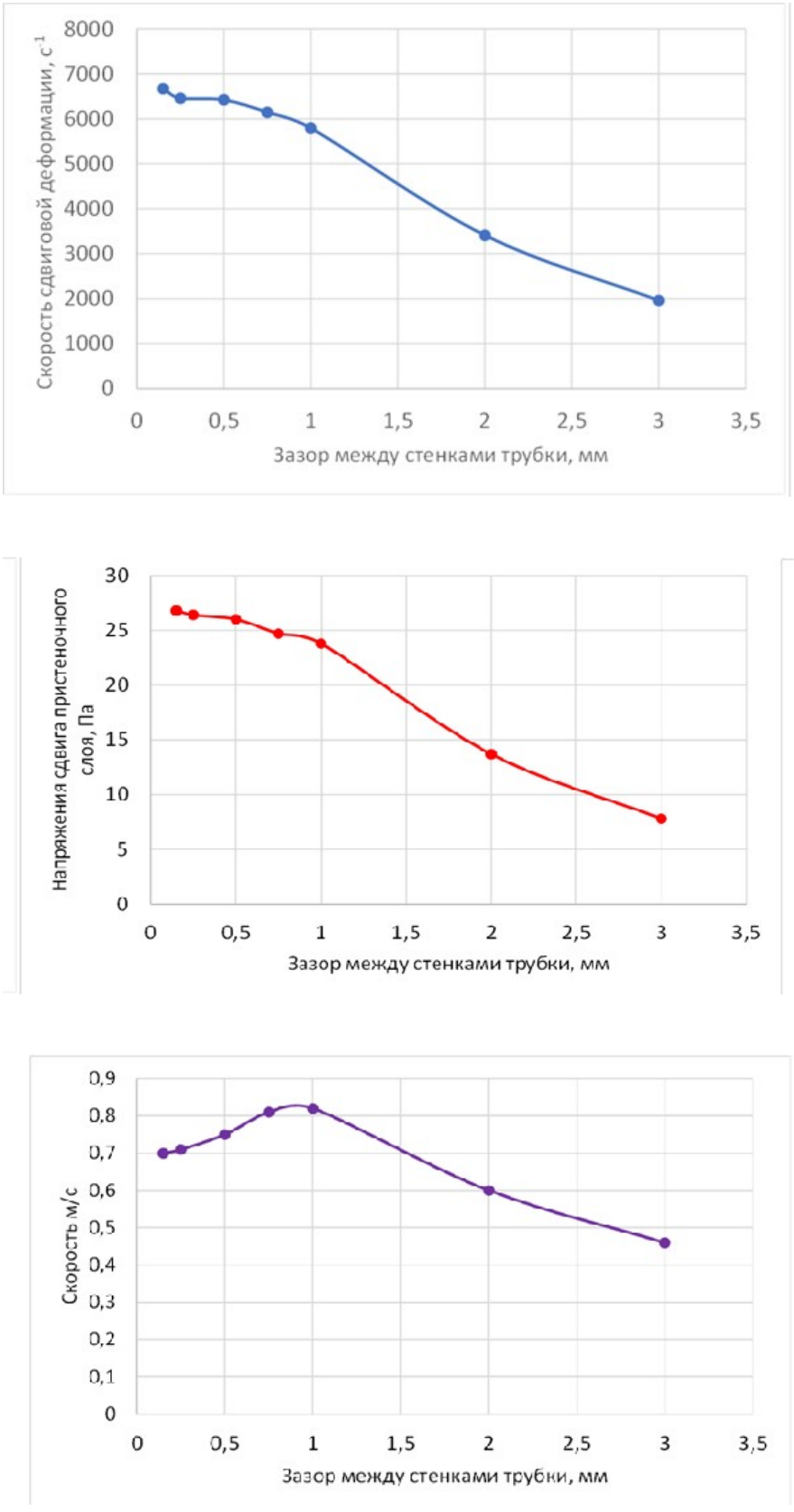


Рисунок 2 – Основные параметры оценки

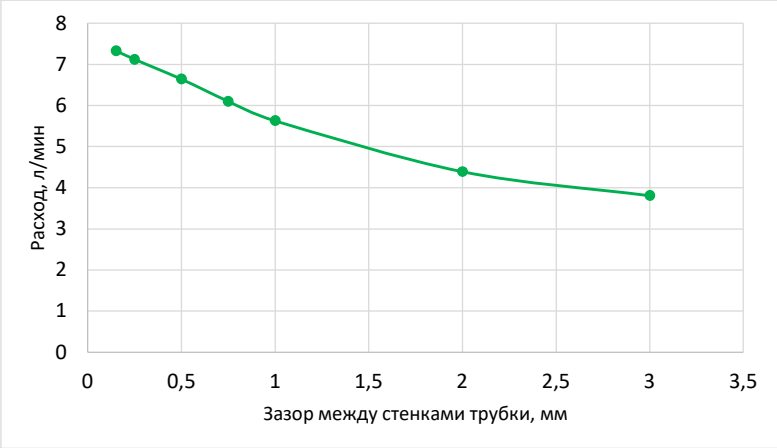


Рисунок 3 – Зависимость расхода от зазора между стенками трубки

Наиболее оптимальным с точки зрения баланса между гемолитической безопасностью и производительностью является зазор 0,5 мм. Данный выбор также учитывает возможные производственные погрешности сборки насоса [6–8].

Практическая значимость работы заключается в разработке методики и определении оптимальных параметров для проектирования перистальтических насосов медицинского назначения, позволяющих минимизировать повреждение крови без потери эффективности работы.

Исследование выполнено в рамках Соглашения № ПР-0708/01-2025 о выполнении научного проекта «Доработка перистальтического насоса для медицинских применений», в целях реализации Программы развития Самарского университета на 2025–2036 годы в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

Библиографический список

1. Петров, С.В. Гемолиз при искусственном кровообращении: механизмы и профилактика / С. В. Петров // Кардиохирургия и перфузиология. – 2020. – № 3. – С. 45–52.

2. Клинические рекомендации по применению аппаратов искусственного кровообращения / под ред. В.Г. Сидорова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 150 с.

3. Сидоров, В.Г. Основы проектирования медицинского оборудования: учебник для вузов / В.Г. Сидоров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2021. – 456 с.

4. Козлов, Д.И. Влияние скорости вращения на гемолиз в современных инфузионных системах / Д.И. Козлов // Современные технологии в медицине: сб. тр. VII Междунар. конф. – М., 2021. — С. 112–115.

5. Mclntyre, M.P. Modelling and characterisation of a 3D printed peristaltic pump: dissertation accepted in fulfilment of the requirements for the degree Master of Engineering in Mechanical Engineering at the North-West University: 10.2020 / M.P. Mclntyre. – 233 p. – 24211303.

6. Rivlin, R.S. Some applications of elasticity theory to rubber engineering / R.S. Rivlin // Collected Papers of R.S. Rivlin. – 1997. – Vol. 1, 2. – P. 9–16.

7. Paul, R. Shear stress related blood damage in laminar couette flow / R. Paul, J. Apel, S. Klaus, F. Schügner, P. Schwindke, H. Reul // Artificial Organs. – 2003. – Vol. 27, № 6. — P. 517–529. — DOI: 10.1046/j.1525-1594.2003.07289.x.

8. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов / Л.Г. Лойцянский. – 7-е изд., перераб. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

УДК 532.5-1/-9

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

© Пономарева С.А., Пономарев С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Sonya190201@yandex.ru

Научный руководитель: Родионов Л.В., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: шунт, математическое моделирование, параметры кровообращения, гемодинамика.

Межпредсердное шунтирование применяется для лечения диастолической дисфункции желудочка сердца. В настоящий момент существует два способа исполнения межпредсердного шунта: установка импланта и выкусывание в межпредсердной перегородки отверстия. Диаметр шунта зависит от размера импланта или от диаметра круглого лезвия в устройстве для выкусывания, он не подбирается под индивидуальные параметры пациента [1–3].

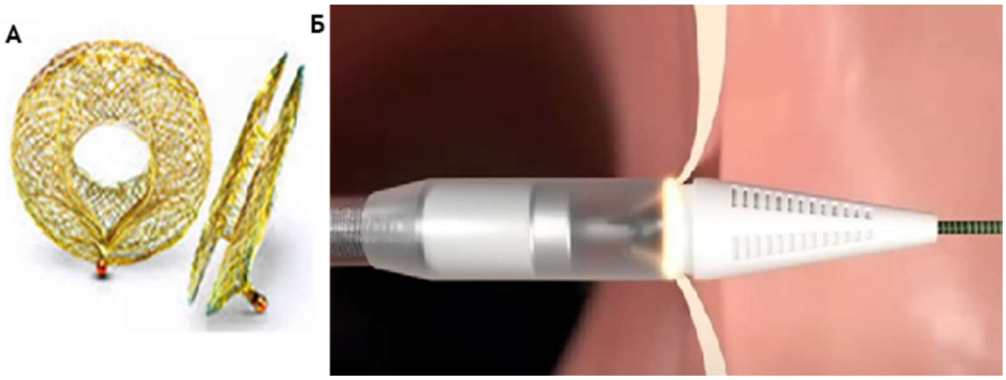


Рисунок 1 – Устройства для создания межпредсердного шунтирования: А) имплант; Б) устройство для выкусывания

Целью работы являлось создание математической модели кровеносной системы, учитывающей индивидуальные параметры пациента и позволяющей осуществить подбор оптимального диаметра [4–6].

Индивидуальные параметры, такие как давление и объём в желудочках и предсердиях сердца в течение сердечного цикла, вес, возраст, пол пациента, и некоторые параметры его кругов кровообращения были предоставлены кардиохирургами кардиологического диспансера.

Оптимальным диаметром межпредсердного шунта является такой диаметр, при котором наблюдается наибольшая эффективность и соотношение расходов через лёгочный круг кровообращения и через большой не превышало 1.5. Эффективность заключается в снижении давления в левом предсердии на 2–3 мм рт. ст.

В результате моделирования был определен наиболее подходящий данному пациенту диаметр шунта, который составил 12 мм (рис. 1, 2).

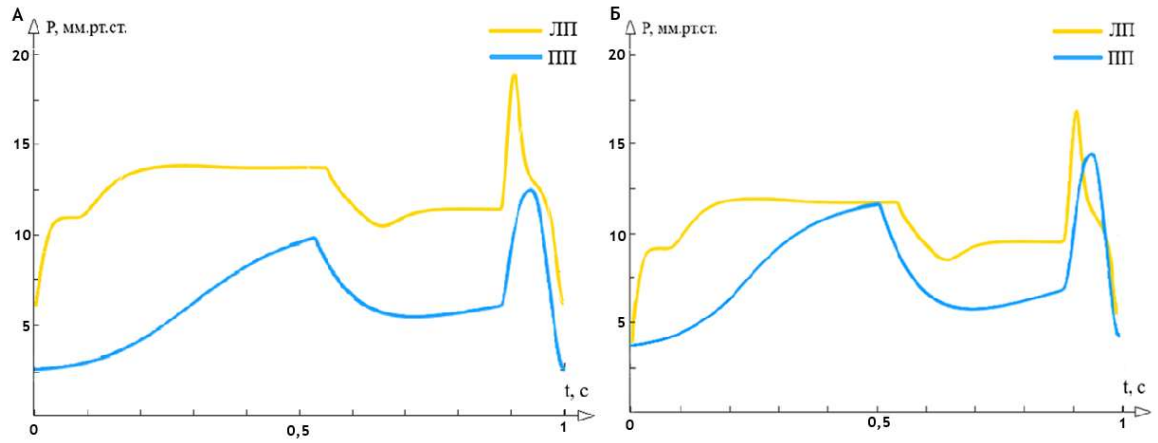


Рисунок 2 – Давления в левом предсердии (ЛП) и в правом предсердии (ПП) в течение сердечного цикла при А) отсутствии межпредсердного шунта; Б) наличии межпредсердного шунта

Практическая значимость работы заключается в разработке математической модели, позволяющей осуществить подбор оптимального диаметра межпредсердного шунта индивидуально для каждого пациента.

Библиографический список

1. Механизмы регуляции сердечного выброса // Studfile. – URL: https://studfile.net/preview/16460264/page:10 (дата обращения: 15.06.2025).

2. Cardiovascular Physiology: Hemodynamics // DoctorLib: Medical Library. – URL: https://doctorlib.org/cardiology/cardiovascular-physiology/3.html (дата обращения: 15.06.2025).

3. Pathophysiology of Heart Disease // CV Physiology. – URL: https://cvphysiology.com/heart-disease/hd002 (дата обращения: 15.06.2025).

4. Kaye, D.M. Comprehensive Physiological Modeling Provides Novel Insights Into Heart Failure With Preserved Ejection Fraction Physiology / D.M. Kaye, E. Wolsk, S. Nanayakkara, J. Mariani, C. Hassager, F. Gustafsson, J.E. Moller, K. Sunagawa, D. Burkhoff // Journal of the American Heart Association. – 2021. – Vol. 10, № 19.

5. Shimizu, S. Lumped parameter model for hemodynamic simulation of congenital heart diseases / S. Shimizu, D. Une, T. Kawada, Y. Hayama, A. Kamiya, T. Shishido, M. Sugimachi // The Journal of Physiological Sciences. – 2018. – Vol. 68. — P. 103–111.

6. Основы физиологии кровообращения // MedUniver: медицинский портал. – URL: https://meduniver.com/Medical/Physiology/540.html (дата обращения: 15.06.2025).

УДК 517.928

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭПИДЕМИОЛОГИИ

© Протопопова Я.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yana.protopopova@inbox.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: динамическая система, особые точки, устойчивость, бифуркация, модель «хищник – жертва».

В работе исследуется динамическая модель распространения инфекции SEIS [1], которая в безразмерном виде описывается системой:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -(\beta_I SI + \beta_E SE) + \gamma I + \alpha E, \\ \dot{E} &= \beta_I SI + \beta_E SE - (\delta + \alpha)E, \\ \dot{I} &= \delta E - \gamma I, \end{aligned} \tag{1}$$

где β_I характеризует скорость передачи вируса от больных людей к здоровым, β_E описывает передачу заболевания от инфицированных людей, γ определяет скорость перехода из группы больных лиц в группу здоровых индивидуумов, α – постоянная скорости перехода из латентной группы в категорию здоровых людей, δ – постоянная скорости перехода из группы инфицированных в группу больных [1; 2].

Данная модель является модификацией моделей SIRS и SEIR, в которой из рассмотрения исключены полностью выздоровевшие лица, способные обладать иммунитетом к рассматриваемому заболеванию. Также модель подразумевает постоянство и замкнутость рассматриваемой популяции:

$$S + E + I = 1. \tag{2}$$

Установлено, что в системе (1) может наблюдаться бифуркация без смены устойчивости: устойчивый фокус переходит в устойчивый узел. К данному результату можно прийти, понизив размерность системы (1) на единицу за счет (2):

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \beta_I(1 - E - I)I + \beta_E(1 - E - I)E - (\delta + \alpha)E, \\ \dot{I} &= \delta E - \gamma I. \end{aligned} \tag{3}$$

В редуцированной системе (3) точка покоя имеет координаты

$$I_0 = \frac{\delta}{\gamma+\delta}\left[\frac{\beta_E\gamma+\beta_I\delta-(\delta+\alpha)\gamma}{\beta_E\gamma+\beta_I\delta}\right], \tag{4}$$

$$E_0 = \frac{\gamma}{\gamma+\delta}\left[\frac{\beta_E\gamma+\beta_I\delta-(\delta+\alpha)\gamma}{\beta_E\gamma+\beta_I\delta}\right]. \tag{5}$$

Исследования на устойчивость особой точки (4), (5) системы (3) в физически интересной области, то есть в случае, когда:

1) выполняется одно из найденных условий устойчивости или неустойчивости;
2) параметры системы попадают в заданные допустимые промежутки;
3) сохраняется неотрицательность координат точки покоя;

показали, что положение равновесия не может быть неустойчиво, а устойчивые стационары бывают двух типов ─ узел и фокус.

В ходе численного эксперимента были построены фазовые портреты устойчивого узла (рисунок 1) и устойчивого фокуса (рисунок 2) системы (3). Значения параметров системы указаны в подписях к рисункам.

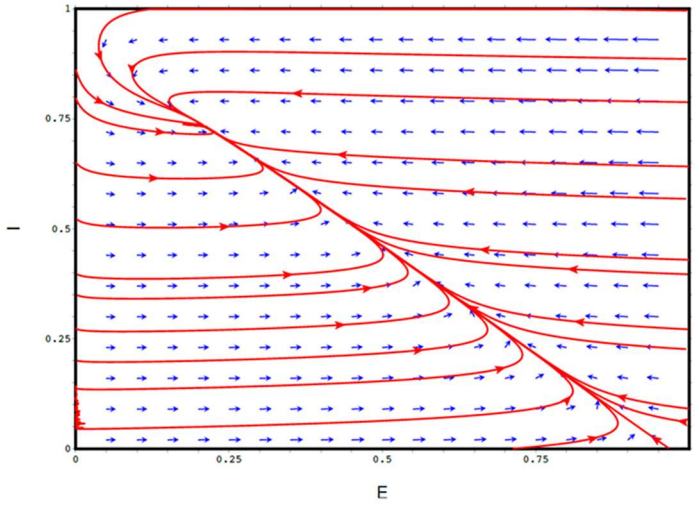


Рисунок 1 – устойчивый узел при $\alpha = \frac{1}{3}, \gamma = \frac{1}{14}, \beta_E = 10, \beta_I = \frac{1}{10}, \delta = \frac{1}{4}$

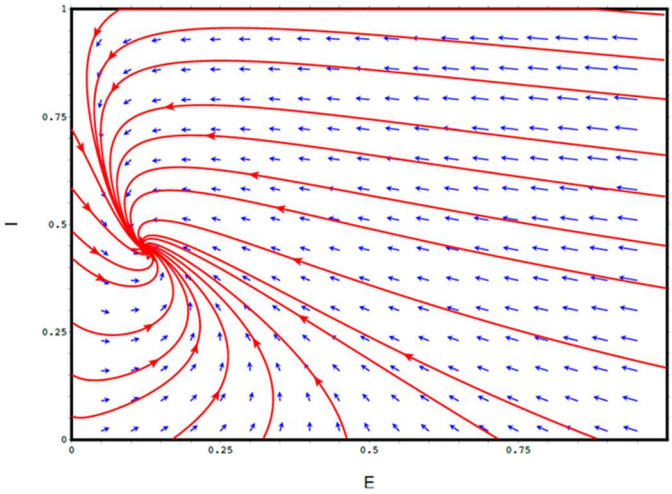


Рисунок 2 – устойчивый фокус при $\alpha = \frac{1}{3}, \gamma = \frac{1}{14}, \beta_E = 1, \beta_I = \frac{1}{10}, \delta = \frac{1}{4}$

Полученные результаты показывают, как влияют различные физические и социальные факторы на развитие инфекционных заболеваний.

Библиографический список

1. Karimov, A.R. Influence of transfer epidemiological processes on the formation of endemic equilibria in the extended SEIS / A.R. Karimov, M.A. Solomatin, A.N. Bocharov // Mathematics. – 2024. – Vol. 12. – P. 3585.

2. Братусь, А.С. Динамические системы и модели биологии / А.С Братусь, А.С. Новожилов, А.П. Платонов. – М.: Физматлит, 2009. – 400 с.

УДК 517.928

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ С СИНГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

© Федорова Д.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: fedorovadarinochka75@gmail.ru

Научный руководитель: Щепакина Е.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: динамическая система, сингулярные возмущения, устойчивость, особые точки, динамика популяций.

Еловая листовертка является одним из самых разрушительных насекомых в еловых лесах. В работе исследуется модель динамики популяций, в которой описывается взаимодействие между листоверткой и елью [1]:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{kS}\right) - \beta\frac{PN^2}{\mu^2S^2 + N^2},$$
$$\frac{dS}{dt} = \rho S\left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right) - \frac{\delta S}{K+S}N,$$

где N – плотность популяции личинок листовертки, S – средняя площадь листьев ели, r и ρ – внутренние темпы роста личинок листовертки и листьев ели соответственно, kS – способность к размножению листовертки, S_{max} – пропускная способность листьев ели, $\beta\frac{PN^2}{\mu^2S^2+N^2}$ – воздействие хищничества на популяцию листовертки, $\frac{\delta S}{K+S}N$ – воздействие хищничества на популяцию ели.

Предполагается, что $\rho \ll r$, т. е. внутренние темпы роста популяций имеют разные порядки. Поэтому после изменения масштаба переменных

$$x = \frac{N}{kS}, \qquad y = \frac{rkS}{\beta P}, \qquad \tau = \rho t$$

и переобозначений

$$\varepsilon = \frac{\rho}{r}, \qquad \alpha = \frac{\mu}{k}, \qquad l = \frac{\delta k}{\rho}, \qquad d = \frac{rkS_{max}}{\beta P}, \qquad A = \frac{rkK}{\beta P}$$

модель может быть записана в безразмерном виде [2] как сингулярно возмущенная система [3]:

$$\begin{aligned} \varepsilon\frac{dx}{d\tau} &= f_0(x,y;\alpha^2) - \varepsilon x g_0(x,y;l,d,A), \\ \frac{dy}{d\tau} &= y g_0(x,y;l,d,A), \end{aligned} \tag{1}$$

$$f_0(x,y;\alpha^2) = x(1-x) - \frac{1}{y}\frac{x^2}{x^2+\alpha^2}, \quad g_0(x,y;l,d,A) = 1 - \frac{y}{d} - \frac{lxy}{A+y},$$

где $0 < \varepsilon \ll 1, x \geq 0, y > 0$, все переменные и параметры системы положительны.

На основе исследования положений равновесий системы (1) делается вывод о динамике популяций при различных значениях параметров. Установлено существование положения равновесия $P(0, d)$.

Для исследования остальных стационаров проводится анализ графиков функций

$$y = \varphi(x) = \frac{x}{(x^2+\alpha^2)(1-x)},\ x = w(y) = \left(1 - \frac{A+y}{d} + \frac{A}{y}\right),$$

определяющих координаты остальных особых точек системы.

Показано, что в физически интересной области значений переменных и параметров графики функций $\varphi(x)$ и $w(y)$ могут иметь от одной до трех точек пересечения, а, это значит, что у системы (1) есть еще от одной до трех точек покоя. Установлены возможные типы особых точек и характер их устойчивости.

На основе анализа особых точек можно судить о динамике численности популяций хищников и жертв [4–6]. Устойчивость особой точки означает, что численность обеих популяций стабилизируется, если начальное условие попадает в особую точку, а иначе наблюдаются колебания: численность одного вида растет, другого – падает, затем наоборот и т. д. Неустойчивость же может означать, что сколько угодно малое отклонение от положения равновесия способно привести к катастрофическим последствиям, вплоть до полного вымирания одного из видов.

Установлено, что в дифференциальной системе одна из особых точек, лежащая в физически интересной области фазового пространства, при изменении значений одного или нескольких параметров системы меняет свою устойчивость, оставаясь фокусом. При этом наблюдается бифуркация рождения цикла [7; 8], что означает при определенных условиях окружающей среды возможны периодические колебания в размерах обеих популяций. Такое явление свидетельствует об экологическом равновесии.

Результаты качественного анализа подтверждены численным экспериментом.

Библиографический список

1. Zhong, L. Canard explosions in a Spruce-Budworm model with Holling-II functional response / L. Zhong, J. Shen // Journal of Nonlinear Modeling and Analysis. – 2024. – Vol. 6. – P. 238–264.

2. Марри, Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях: пер. с англ. / Дж. Марри. – М.: Мир, 1983. – 396 с.

3. Соболев, В.А. Редукция моделей и критические явления в макрокинетике / В.А. Соболев, Е.А. Щепакина. − М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 320 с.

4. Базыкин, А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций / А.Д. Базыкин. – М.; Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2003. – 368 с.

5. Братусь, А.С. Динамические системы и модели биологии / А.С. Братусь, А.С. Новожилов, А.П. Платонов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 400 с.

6. Ризниченко, Г.Ю. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов в 2 ч. Ч. 1: учебник для вузов / Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 210 с.

7. Арнольд, В.И. Теория бифуркаций / В.И. Арнольд, В.С. Афраймович, Ю.С. Ильяшенко, Л.П. Шильников // Итоги науки и техн. Сер. Соврем. пробл. мат. фундам. направления. – 1986. – Т. 5. – С. 5–218.

8. Мищенко, Е.Ф. Периодические движения и бифуркационные процессы в сингулярно возмущенных системах / Е.Ф. Мищенко, Ю.С. Колесов, А.Ю. Колесов, Н.Х. Розов. – М.: Физматлит, 1995. – 336 с.

Секция 11
Фундаментальная и прикладная физика

УДК 621.452.32

СВОЙСТВА БИОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ + ГИДРОКСИАПАТИТ

© Асташов М.А., Нефедов С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m4st4shovx@gmail.com

Ключевые слова: пористый кремний, гидроксиапатит, остеопластика, лазерная абляция, второй порядок пористого слоя.

В данной работе исследуются свойства нанокомпозита пористого кремния (ПК) с гидроксиапатитом (ГАП) как материала для применения в остеопластике.

Образование пористого слоя происходило на пластинах монокристаллического кремния путем электрохимического травления в растворе $HF:H_2O:C_2H_5OH$ [1]. Время травления 5, 15, 25 минут. Толщину пористого слоя и размеры пор определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе «Tescan Vega SB». Она составила 10-12 мкм, пористость составила 24–36 % [3]. При РЭМ-исследовании образца, время травления которого составило 25 минут, было обнаружено подобие упорядоченной структуры, внутри которой были выявлены поры. Время травление равное 25 минут представляется предельным, т. к. выявлены участки, на которых пористый кремний отслоился и наблюдался монокристаллический кремний со следами травления. Предполагаемая гипотеза: данная структура образует «второй порядок пористого слоя». Насыщение образцов ПК происходило путем выдержки в водной суспензии ГАП. Создание водной суспензии частиц нанокомпозита ПК+ГАП выполнялось методом лазерной абляции в воде [2]. Водная суспензия ПК+ГАП высушивалась на предметных стеклах. Оптически было установлено, что по мере выдержки на воздухе содержание частиц нанокомпозита в суспензии снижается.

Библиографический список

1. Суюндукова, Д.Р. Физико-химические свойства биоматериала для остеопластики на основе пористого кремния: монография / Д.Р. Суюндукова. – Самара: Самарский университет, 2018. – 17 с.

2. Смирнов, Н.А. Одноимпульсная абляция кремния ультракороткими лазерными импульсами варьируемой длительности в воздухе и воде / Н.А. Смирнов // Письма в ЖЭТФ. – 2018. – Т. 108, № 6. – С. 393–398.

3. Ксенофонтова, О.И. Пористый кремний и его применение в биологии и медицине / О.И. Ксенофонтова // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, № 1. – С. 67–78.

УДК 53.096; 53.097

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В УСТРОЙСТВАХ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР

© Калитов Р.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: romankalitov63@gmail.com

Научный руководитель: Шалимова М.Б., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: плотность тока утечки, туннелирование Фаулера-Нордгейма, эмиссия Шоттки, эмиссия Пула-Френкеля, МДП-структура.

Уменьшение размеров затвора и толщины диэлектрического слоя приводит к увеличению плотности тока утечки и снижению надежности затворного диэлектрика по мере миниатюризации КМОП-технологии (комплементарная металл-окисел-полупроводник технология), что особенно актуально при переходе к нанометровым нормам для уменьшения потерь мощности в интегральных схемах. Для решения проблем, связанных с ограничениями классических затворных диэлектриков (SiO_2 или SiON), которые приближаются к своим физическим пределам, в 45-нм технологическом узле и последующих поколениях применяются новые материалы с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k).

Механизмы токов утечки, которые мы исследовали в этой работе: туннелирование Фаулера-Нордгейма, эмиссия Шоттки, эмиссия Пула-Френкеля. Эмиссия Шоттки обусловлена термически активированными электронами. При эмиссии Пула-Френкеля захваченные на ловушки в диэлектрике электроны термически возбуждаются в зону проводимости при высокой температуре, и процесс усиливается электрическим полем. Туннелирование Фаулера-Нордгейма становится доминирующим в области высокого электрического поля.

Наиболее частым механизмом тока утечки в затворных диэлектриках является эмиссия Шоттки, выражаемая в виде [1]:

$$J_{SE} = A^* T^2 \exp\left[\frac{-q(\phi_B - \sqrt{\frac{qE}{4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0}})}{k_B T}\right], \quad (1)$$

где J_{SE} – плотность тока, A^* – эффективная постоянная Ричардсона, $A^* = 4\pi q$ (m^*_{ox}) $k^2/h^3 = 120$ (m^*_{ox}/m_0), T – абсолютная температура, q – заряд электрона, $q\Phi_B$ – высота барьера Шоттки (то есть, Φ_B), E – напряженность электрического поля, $k_B = 1{,}38\times 10^{-23}$ Дж / К постоянная Больцмана, $h = 6{,}63\times10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, ε_r – динамическая диэлектрическая постоянная (т. е. электронная компонента диэлектрической постоянной), ε_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства, m_0 – масса свободного электрона, m^*_{ox} – эффективная масса электрона. ε_r равно квадрату измеренного показателя преломления ($n = \varepsilon_r^{1/2}$).

Другой механизм проводимости тока, туннелирование Фаулера-Нордгейма, может быть выражено [2]:

$$J_{FN} = BE^2 \exp\left[\frac{-8\pi(2qm_{\dot{r}})^{1/2}\phi_B^{3/2}}{3hE}\right], \quad (2)$$

где B, как правило, считается постоянной, m_r – туннельная эффективная масса электронов, и другие термины определены выше.

В этой работе в качестве основного материала использовались монокристаллические пластины кремния, относящиеся к n-типу, с удельным сопротивлением 5 Ом·см. Тонкие пленки фторидов редкоземельных элементов (РЗЭ) получались с помощью метода термического распыления порошкообразных SmF_3 и YF_3 на предварительно нагретые кремниевые подложки. Температура подложки во время распыления оказывала значительное воздействие на качество, механические и электрические свойства получаемых диэлектрических слоев. Установлено, что оптимальными свойствами обладают структуры, для которых пленки фторидов РЗЭ изготавливаются при температуре подложки ~300°C. Толщина диэлектрического слоя РЗЭ в исследуемых структурах составляла 0,1 – 0,3 мкм. Верхние контакты к пленке диэлектрика изготавливались вакуумным термическим напылением алюминия через трафарет. Площадь электродов составляла ~ $2 \cdot 10^{-7}$ м^2.

На рисунке приведена зависимость плотности тока от напряжения МДП-структуры Al-SmF_3-nSi. Анализ показывает, что на данном графике в прямом направлении с хорошей достоверностью аппроксимации наблюдается механизм туннелирования Фаулера-Нордгейма в интервале от 15 В до 21 В, и механизм Шоттки в интервале от 7 В до 10 В. Остальные области в прямом направлении имеют смешанный механизм электропроводности.

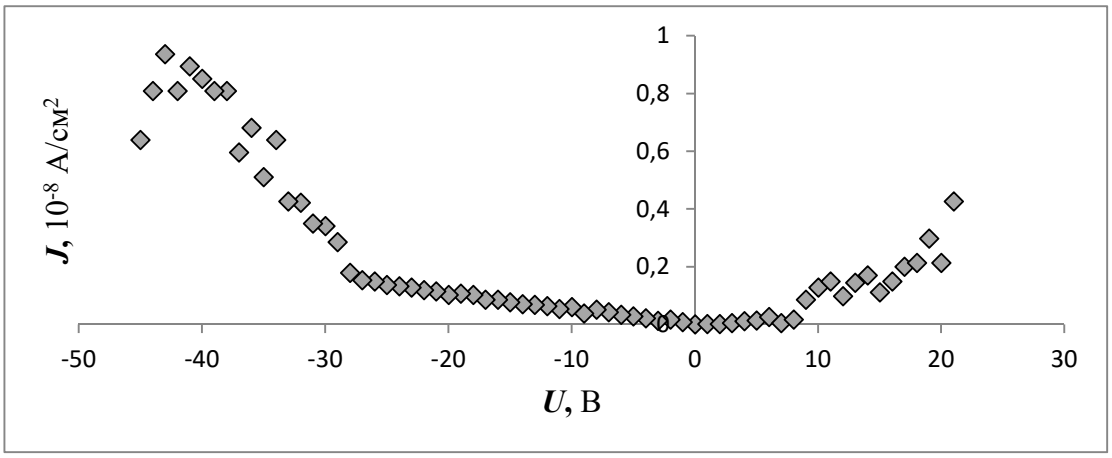


Рисунок – Зависимость плотности тока от напряжения МДП-структуры Al-SmF_3-nSi

В обратном направлении (-41 В) – (-24 В) – это механизм туннелирования Фаулера-Нордгейма, и (-11 В) – (-22 В) – механизм эмиссии Шоттки, остальные области в обратном направлении также имеют смешанный механизм электропроводности.

Для структуры Al-YF_3-nSi в основном наблюдался механизм эмиссии Шоттки как в прямом, так и в обратном направлении.

Библиографический список

1. Lin, K.C. Leakage current conduction behaviors of 0.65 nm equivalent-oxide-thickness HfZrLaO gate dielectrics / K.C. Lin, J.Y. Chen, H.W. Hsu, H.W. Chen, C.H. Liu // Solid-State Electronics. – 2012. – V. 77. – P. 7–11.

2. Kwon, H.-M. Carrier transport mechanism in La-incorporated high-k dielectric/metal gate stack MOSFETs / H.-M. Kwon, W.-H. Choi, I.-S. Han, M.-K. Na, S.-U. Park, J.-D. Bok, C.-Y. Kang, B.-H. Lee, R. Jammy, H.-D. Lee // Microelectronic Engineering. – 2011. – V. 88. – P. 3399–3403.

УДК 669.146

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ZN + 5 % AL ПОКРЫТИЯ

© Короткова Ю.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: korotkova.y.n@gmail.com

Научный руководитель: Бондарева О.С., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: горячее цинкование, Zn-Al, рентгенофазовый анализ, гальфан.

В рамках данной работы на образцы из стали Ст3сп наносили защитное покрытие методом погружения в расплав с временем выдержки 2 минуты [1]. Состав цинкового расплава был определен цинк с 5 % алюминия [2]. Температурный диапазон составил от 390°С до 520°С. Целью работы являлось изучение влияния температуры расплава Zn + 5 % Al на структуру и фазовый состав покрытия. При изменении температуры было установлено, что значительное увеличение толщины покрытия наблюдается при температуре от 480°С. При подробном рассмотрении структуры покрытия, полученного при температурах от 390°С до 450°С особых отличий не наблюдается, покрытия в основном состоит из пластинчатой эвтектики и зерен первичной фазы цинка. Толщина покрытия около 10 мкм. При дальнейшем увеличении температуры до 520°С образуется покрытие (рис. 1), толщина которого достигает 300 мкм.

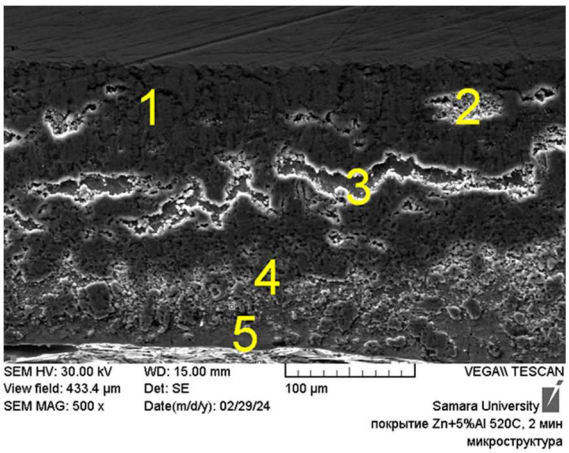


Рисунок 1 – Структура покрытия, полученного при 520°С

При проведении спектрального анализа можно заметить, что покрытие, полученное при 520°С преимущественно состоит из алюминия и железа, нежели из цинка (см. табл.).

Таблица – Спектральный анализ покрытия, полученного при 520°С

Точка	Al, мас.%	Fe, мас.%	Zn, мас.%
1	45,81	36,18	18,01
2	43,31	30,37	26,31
3	7,16	3,23	89,62
4	41,42	16,54	42,04
5	1,17	0,32	98,51

Обратившись к литературе [3] и тройной диаграмме состояния Zn-Al-Fe, можно определить состав образующихся фаз, в нашем случае это η-$Fe_2Al_5Zn_X$. Для идентификации фазы был проведен рентгенофазовый анализ, по результатам которого была получена зависимость интенсивности излучения от угла дифракции. На рисунке 2 представлены дифрактограммы образцов, полученных при температуре цинкования 420°C и 520°C.

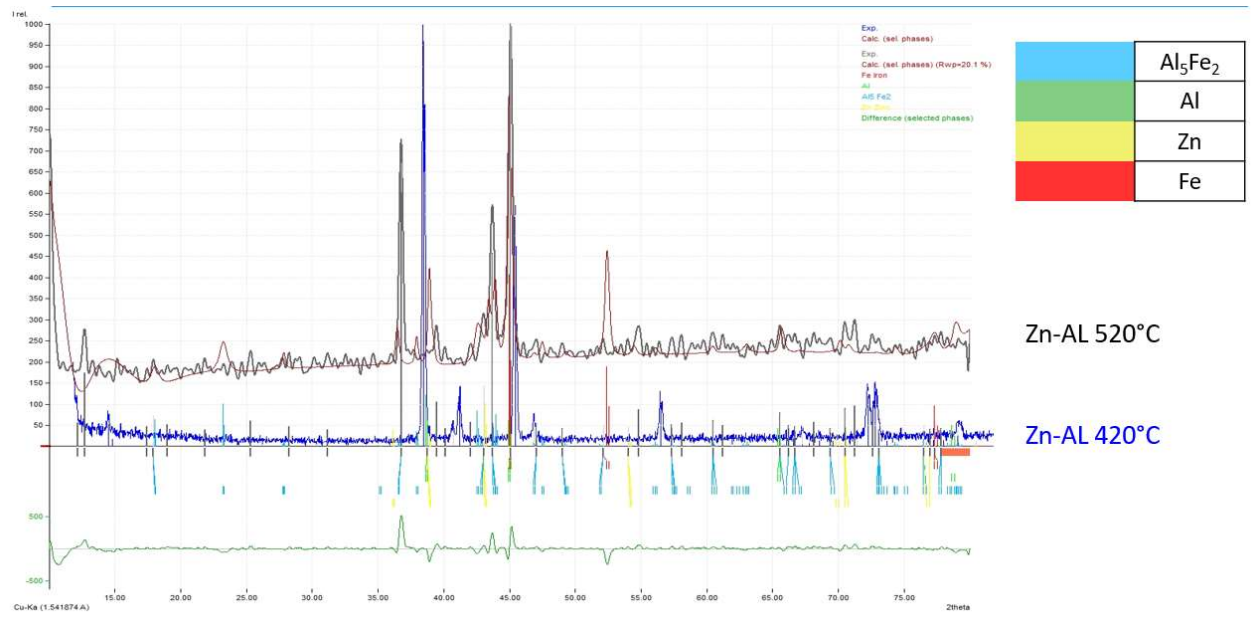


Рисунок 2 – Рентгенофазовый анализ покрытий, полученных при температурах 420°C и 520°C

В результате была идентифицирована фаза Al_5Fe_2 в покрытии, полученном при 520°C, что подтверждает результаты спектрального анализа.

Библиографический список

1. Bicao, P. et al. Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing: 9 / P. Bicao et al. // Surf. Coat. Technol. – 2008. – Vol. 202, № 9. – P. 1785–1788.

2. Емелюшин, А.Н. Применения новых коррозионностойких покрытий на основе цинка и алюминия в линиях АНГЦ ПМП в условиях ПАО «ММК» / А.Н. Емелюшин, Ю.М. Субботина // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. – 2022. – № 21. – С. 121–127.

3. McDermid, J.R. Fe Solubility in the Zn-Rich Corner of the Zn-Al-Fe System for Use in Continuous Galvanizing and Galvannealing / J.R. McDermid, M.H. Kaye, W.T. Thompson // Metallurgical and Materials Transactions. – 2007. – Vol. 38 (2). – P. 215–230.

УДК 539.21

СТРУКТУРА И СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ГИДРОКСИАПАТИТОМ

© Кулагина С.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kulagina4@ya.ru

Научный руководитель: Нефедов С.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: нанокомпозит, пористый кремний, гидроксиапатит, лазерная абляция.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания новых биосовместимых материалов, способствующих регенерации костной ткани. В данной работе представлены результаты разработки нанокомпозита на основе пористого кремния (ПК) и гидроксиапатита (ГАП), обладающих потенциалом для использования в качестве остеопластического материала [1; 2].

Целью исследования являлось получение и изучение состава и структуры нанокомпозита ПК + ГАП с контролируемыми морфологическими параметрами.

Методика эксперимента включала несколько этапов. Пористый кремний получали анодным травлением монокристаллических пластин кремния p-типа в растворе плавиковой кислоты в спирте 1:1 при плотности тока 10 мА/см². Пористость образцов (~22 %) определяли гравиметрическим методом. Насыщение ПК гидроксиапатитом проводили путем нанесения водной суспензии синтетического ГАП. Наличие ГАП в порах кремния подтверждалось данными рамановской спектроскопии (характерные пики при 423, 585 и 960 $см^{-1}$). Формирование наночастиц осуществляли методом лазерной абляции с использованием импульсного иттербиевого волоконного лазера (λ = 1062 нм). Морфологию и распределение частиц по размерам анализировали методами сканирующей электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Результаты исследования показали значительное влияние параметров лазерной абляции на размеры и выход частиц. Установлено, что увеличение скорости сканирования лазерного луча с 100 до 1000 мм/с приводит к уменьшению количества частиц размером менее 1 мкм в 10 раз при одновременном снижении общего выхода порошка в 3 раза. Повышение частоты импульсов с 50 до 100 кГц вызывает рост доли крупных частиц (>3 мкм) вследствие теплового накопления в мишени. Оптимальные параметры абляции, обеспечивающие получение мелкодисперсного порошка с минимальным разбросом по размерам, составляют: скорость сканирования 300–500 мм/с, частота импульсов 20–50 кГц, мощность лазера 8–12 Вт.

Комбинация биосовместимых свойств пористого кремния и остеокондуктивных характеристик гидроксиапатита, а также возможность управления размером частиц за

счет варьирования параметров лазерной абляции открывают новые возможности для создания эффективных материалов, ускоряющих регенерацию костной ткани.

Библиографический список

1. Спивак, Ю.М. Пористый кремний как наноматериал для дисперсных транспортных систем / Ю.М. Спивак, А.О. Белорус // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88, вып. 9. – С. 1394–1403.

2. Амантаев, Б.А. Анализ и характеристика костнозамещающих материалов / Б.А. Амантаев, С.С. Кобеков // Вестник Казахского Национального медицинского университета. – 2019. – № 1. – С. 123–126.

УДК 621.373.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХЧАСТОТНЫХ СХЕМ НАКАЧКИ ДЛЯ ЛАЗЕРА НА МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМАХ АРГОНА

© Курамшин Р.А.[1,2], Торбин А.П.[2]

[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский филиал ФИАН, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: kuramshinr2001@mail.ru

Научный руководитель: Загидуллин М.В.[1,2], д-р физ.-мат. наук, профессор
[1]*Самарский филиал ФИАН, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: лазер, импульсно-периодический разряд, метастабильный атом, инертный газ.

В настоящее время наиболее передовыми лазерными системами, способными обеспечивать как высокую мощность, так и дифракционное качество луча, являются гибридные газовые лазеры, использующие диодную оптическую накачку. Примерами таких систем являются лазеры на щелочных парах с диодной накачкой (DPAL) и лазеры с оптической накачкой на метастабильных атомах инертных газов (ЛОНИГ). В отличие от твердотельных активных сред, газовые активные среды обладают преимуществами низкого теплового воздействия на качество луча и малых оптических искажений. Следовательно, газовые лазеры способствуют получению более высоких пределов энергии на единицу объема активной среды по сравнению с их твердотельными аналогами.

ЛОНИГ является прямым аналогом DPAL, также способным обеспечивать выходную мощность 10^2 Вт на кубический сантиметр, но без ряда его недостатков, таких как химически активная лазерная среда и необходимость нагрева газовой ячейки. ЛОНИГ работает по трехуровневой схеме. Метастабильные атомы Rg* создаются в плазме тлеющего разряда. Оптическая накачка осуществляется из нижнего метастабильного состояния $1s_5$ на уровень $2p_9$ или $2p_8$. В результате столкновений возбужденного атома Rg* с атомом He заселяется уровень $2p_{10}$. Образуется инверсная населенность между уровнями $2p_{10}$ и $1s_5$. Усиление и лазерная генерация наблюдались при оптической накачке метастабильных атомов тяжелых инертных газов Rg* = Ne*, Ar*, Kr* и Xe*. Максимальные выходные мощности OPRGL, достигнутые на сегодняшний день, составляют 12,5 Вт (Ar*-He OPRGL) [1], 4,1 Вт (Ar*-He) [2] и 1,3 Вт (Xe*-He) [3].

Система ЛОНИГ на основе смеси Ar*-He считается наиболее перспективной из-за наиболее низкой стоимости используемых в ней газов и лучшей изученности аргон-гелиевой плазмы по сравнению с аналогичными смесями инертных газов. Одной из основных трудностей, препятствующих росту выходной мощности ЛОНИГ, является истощение метастабильного нижнего лазерного уровня при инициировании оптической накачки. Это явление возникает в результате столкновительных процессов и спонтанных эмиссионных переходов на ближайший уровень $1s_4$, который не участвует в лазерном цикле, но излучательно связан с основным состоянием. Следовательно, увеличивается потеря метастабильных атомов и снижается эффективность преобразования накачки в лазерное излучение. Наиболее перспективным подходом к решению этой проблемы является использование дополнительной оптической накачки для облегчения возврата атомов с уровня $1s_4$ в лазерный цикл [4; 5].

В докладе будут представлены результаты кинетического моделирования лазерной среды для двухчастотно оптически накачиваемого лазера на инертных газах. Получены аналитические формулы для населенностей энергетических уровней Ar, участвующих в лазерном цикле, и удельных мощностей поглощения накачки и генерации в пределе просветления переходов накачки и генерации с учетом двухчастотной оптической накачки.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 25-22-00392, https://rscf.ru/project/25-22-00392.

Библиографический список

1. Lei, P. Demonstration of a metastable argon laser of 10 W by transverse pumping / P. Lei, Z. Chen, Y. Shen, X. Wang, D. Zuo // Optics Letters. – 2024. – Vol. 49, №. 17. – С. 4918–4921.

2. Han, J. Optically pumped rare gas lasers / J. Han, C.R. Sanderson, B. Hokr, C.W. Ballmann, A.B. Clark, M.C. Heaven // XXII International Symposium on High Power Laser Systems and Applications. – SPIE, 2019. – Vol. 11042. – P. 1104202.

3. Sanderson, C.R. Demonstration of a quasi-CW diode-pumped metastable xenon laser / C.R. Sanderson, C.W. Ballmann, J. Han, A.B. Clark, B.H. Hokr, K.G. Xu, M.C. Heaven // Optics Express. – 2019. – Vol. 27, № 24. – P. 36011–36021.

4. Gao, J. Modeling of a dual-wavelength pumped metastable argon laser / J. Gao, P. Sun, X. Wang, D. Zuo // Laser Physics Letters. – 2017. – Vol. 14, №. 3. – P. 035001.

5. Sun, P. Investigation of dual-wavelength pump schemes for optically pumped rare gas lasers / P. Sun, D. Zuo, X. Wang, J. Han, M.C. Heaven // Optics Express. – 2020. – Vol. 28, №. 10. – P. 14580–14589.

УДК 53.043, 53.082, 539.217.1

СТРУКТУРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ И ИТТЕРБИЕМ

© Нестеров Д.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: nesand2606@mail.ru

Научный руководитель: Нефедов С.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: пористый кремний, оксиды эрбия и иттербия, фазовая трансформация нитратов, рентгенофазовый анализ, эффект ап-конверсии.

Известно, что применение соединений эрбия и иттербия в качестве легирующей примеси кремния позволяет использовать такие материалы в оптоэлектронике, в частности для реализации эффекта ап-конверсии [1; 2]. В рамках работ по легированию пористого кремния эрбием и иттербием была изучена фазовая трансформация нитратов эрбия ($Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$) и иттербия ($Yb(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$) в их оксиды в результате отжига.

Смесь нитратов эрбия и иттербия в соотношении 1:1 растворялась в водно-спиртовом растворе (соотношение воды и этилового спирта 1:1) до полного насыщения при нормальных условиях. После высыхания порошковая смесь отжигалась на воздухе при температуре 850°C. Методом качественного рентгенофазового анализа (РФА) исследовались порошковые композиции до и после отжига. Исследование проводилось в монохроматическом кобальтовом излучении (λ = 1,79 Å) на дифрактометре ДРОН-2.0 в схеме 2Θ. В качестве справочных использовались данные базы Match, для оценки совпадений использовался встроенный алгоритм базы, который затем перепроверялся с помощью собственного ПО.

На дифрактограммах до отжига надежно регистрировались наиболее интенсивные линии исходных нитратов – триклинной сингонии для эрбия и тригональной для иттербия (рис. 1).

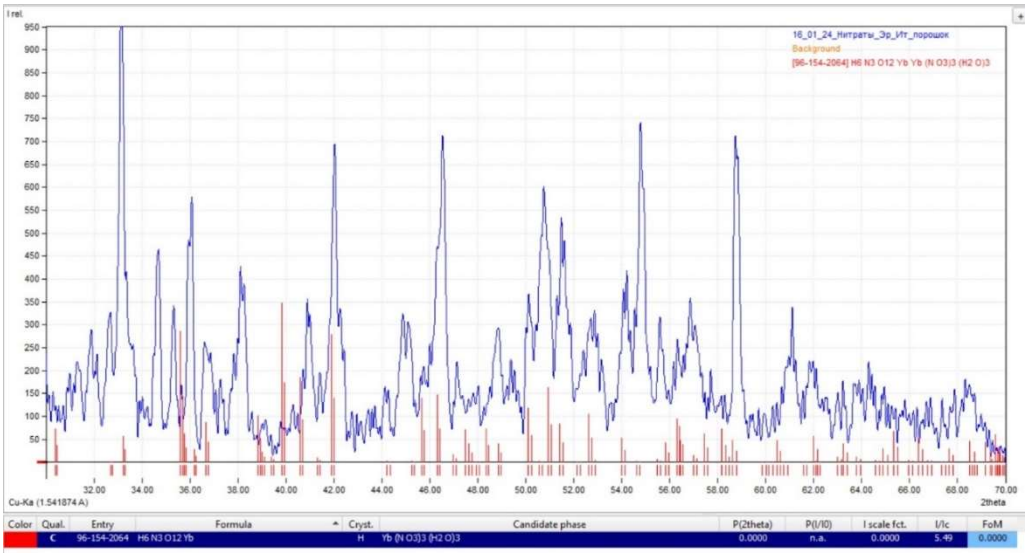


Рисунок 1 – РФА $Yb(NO_3)_3 * 5H_2O + Er(NO_3)_3 * 5H_2O$ с расшифровкой для иттербия

После отжига число линий резко уменьшилось (рис. 2).

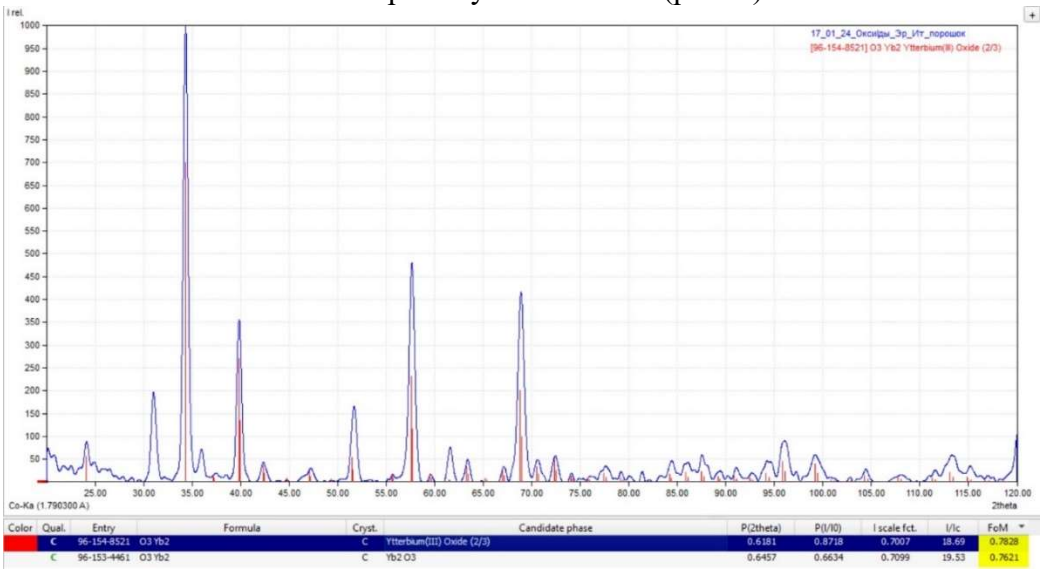


Рисунок 2 – РСА Yb_2O_3+ Er_2O_3 с расшифровкой для иттербия

Это говорит о полном превращении гидратированных нитратов в высокосимметричные решетки оксидов Er_2O_3 и Yb_2O_3, принадлежащих кубической сингонии.

Полученные данные имеют важное значение для дальнейших исследований в области легирования пористого кремния и разработки новых материалов с улучшенными свойствами.

Библиографический список

1. Марьина, У.А. Синтез системы $CaSnO_3$: Yb^{3+},Er^{3+},Ho^{3+} и исследование ее люминесцентных свойств при ИК−возбуждении / У.А Марьина, В.А. Воробьев, А.П. Марьин // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 45–50.

2. Mehrotra, P.N. Phase transformations of rare earth sesquioxides La_2O_3, Nd_2O_3, Pr_2O_3 and Y_2O_3 / P.N. Mehrotra, G.V. Chandrashekar, E.C. Subbarao // Transactions of the Faraday Society. – 1966. – V. 62. – P. 3586–3595.

УДК 537.63:539.26

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС СТАРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95ПЧ

© Нуретдинова Д.Р.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: dnuretdinova891@gmail.com

Научный руководитель: Осинская Ю.В., канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: старение, алюминиевые сплавы, постоянное магнитное поле.

Алюминиевые сплавы, благодаря своему низкому удельному весу, высокой прочности и коррозионной стойкости, находят широкое применение в авиастроении, автомобилестроении и космической промышленности [1]. Одним из ключевых этапов обработки этих сплавов является искусственное старение, в ходе которого формируется дисперсная структура, определяющая эксплуатационные характеристики материала [2]. В последние годы активно изучается влияние магнитного поля на физико-механические свойства различных материалов. Исследования показывают, что под действием магнитного поля изменяются микротвердость, внутреннее трение, предел прочности и другие макроскопические свойства металлов [3–5].

Целью данной работы является комплексное экспериментальное исследование влияния постоянного магнитного поля на микроструктуру, микротвердость, параметры кристаллической решетки, параметры тонкой структуры и процесс фазообразования в состаренном алюминиевом сплаве В95пч.

Образцы из алюминиевого сплава В95пч после предварительной закалки от 470 °С (выдержка 1 ч) в воду 20 °С отжигали при температуре 140°С длительностью 4 ч в ПМП напряженностью от 1 до 7 кЭ и без него.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Результаты металлографического анализа показывают, что наложение ПМП напряженностью от 1 до 7 кЭ на процесс старения сплава приводит к уменьшению размера и количества включений, при этом средний размер зерен практически не изменяется.

2. Обнаружен отрицательный магнитопластический эффект, величина которого растет с увеличением напряженности ПМП и достигает 21 %.

3. Установлено, что оптимальным режимом старения алюминиевого сплава В95пч является время старения 4 ч, температура старения 140 °С и напряженность ПМП 7 кЭ.

4. Рентгенофазовый анализ показал, что наложение ПМП на старение сплава приводит к увеличению полуширины дифракционных линий, соответствующих α–твердому раствору на основе алюминия, до 0,17° и их смещению в сторону больших углов до 0,23° по сравнению с отжигом без ПМП, что свидетельствует о формировании более искаженной структуры сплава.

5. Обнаружено, что параметр кристаллической решетки сплава, состаренного при наложении ПМП, имеет тенденцию к уменьшению своих значений по сравнению с

отжигом без поля, т. е. можно предположить, что ПМП уменьшает время релаксации сплава.

6. Установлено, что наложение ПМП приводит к уменьшению среднего размера блоков когерентного рассеяния в 1,4 раза, а также к увеличению относительной микродеформации и плотности дислокаций в 1,9 и 1,7 раза, соответственно по сравнению со старением без наложения ПМП.

Библиографический список

1. Белов, Н.А. Фазовый состав и структура силуминов: справочное издание / Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван. – М.: МИСИС, 2008. – 283 с.

2. Колобнев, Н.И. Термическая обработка алюминиевых сплавов / Н.И. Колобнев. – Москва: Металлургия, 2019. – 312 с.

3. Осинская, Ю.В. Влияние напряженности постоянного магнитного поля на процесс фазообразования в состаренном алюминиевом сплаве AlSi-Cu-Fe / Ю.В. Осинская, А.В. Покоев, С.Г. Магамедова // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2022. – № 2. – С. 80–84.

4. Xi, Z. Effect of magnetic field annealing on magnetic properties and corrosion resistance of MnBi alloy / Z. Xi, Q. Wu, J. Yan, J. Liang, H. Ge // International Journal of Electrochemical Science. – 2023. – Vol. 18. – P. 3564–3574.

5. Zhang, Z. A review of the microstructure and properties of superalloys regulated by magnetic field / Z. Zhang, H. Huang, Z. Zhang, Y. Wang, B. Zhu, H. Zhao // Journal of Materials Research and Technology. – 2024. – Vol. 30. – P. 9285–9317.

УДК 530.1

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ por-n-SiC/n-Si К ПАРАМ АЦЕТОНА

© Савина Е.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: layzazas0209@gmail.com

Научный руководитель: Чепурнов В.И., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: гетероструктуры por-n-SiC/n-Si, газовый чувствительный элемент, радиоуглерод.

Взаимодействие полупроводника с адсорбированными молекулами газа на поверхности, приводит к изменению проводимости. На основе этого эффекта делают газовые датчики. Газовые датчики работают при условии термоактивации в диапазоне температур от 150°С до 400°С. – это энергозатратное устройство, следовательно нашей целью является понизить энергозатраты путём активации газовых молекул бета – излучением легирующей примеси С-14 в SiC-фазе гетероструктуры [1; 2].

В данной работе решается задача измерений термометрической характеристики por-n-SiC/n-Si в вакуумной среде, т. к температура является влияющим фактором на показания газового датчика (рис. 1–4).

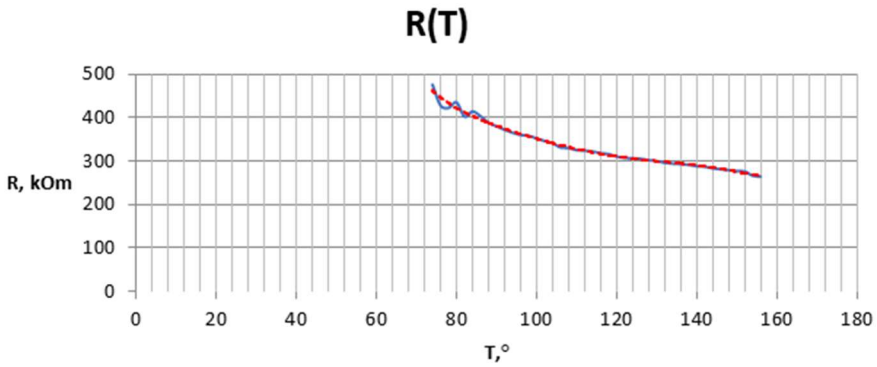


Рисунок 1 – График зависимости сопротивления чувствительно элемента от температуры в вакууме

Тестируемым газом являлся ацетон. Построены диаграммы зависимостей для различных диапазонов температур зависимостей $\frac{\Delta R}{R}$ = f ($P_{\text{паров газа}}$), где $\Delta R = R_{\text{вак}} - R_{\text{газа}}$, R = $R_{\text{вак}}$.

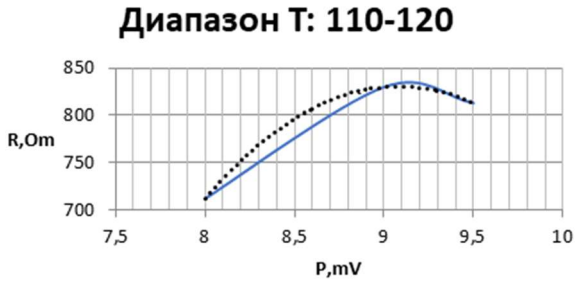


Рисунок 2 – График зависимости сопротивления от давления при температурах 110–120°С

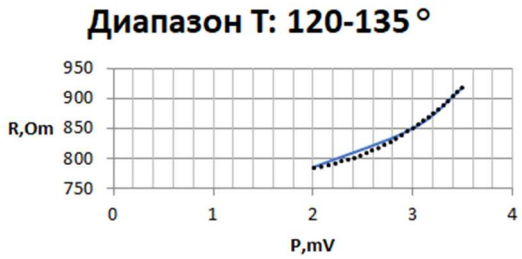


Рисунок 3 – График зависимости сопротивления от давления при температурах 120–135°C

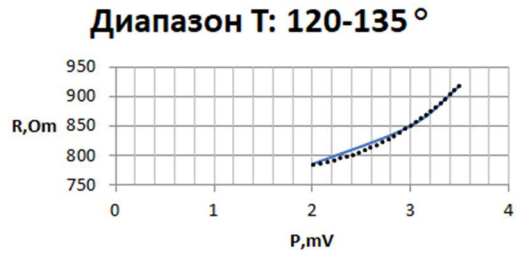


Рисунок 4 – График зависимости сопротивления от давления при температурах 135–150°C

Газовая чувствительность датчика проявляется в диапазоне температур 135–150°C.

Библиографический список

1. Трегулов, В.В. Пористый кремний, свойства применение: моногр. / В.В. Трегулов; Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2011. – 124 с.

2. Киселев, В.Ф. Основы физики поверхности тведого тела / В.Ф. Киселев, С.Н. Козлов, А.В. Зотеев. – М.: Изд-во Московского университета. Физический факультет МГУ, 1999. – 284 с.

УДК 539.184.26

ВКЛАД СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВЕРХТОНКУЮ СТРУКТУРУ МЮОНИЯ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

© Середина К.А., Мартыненко Ф.А., Мартыненко А.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: ksiushaseredina1009@gmail.com

Ключевые слова: мюоний, Стандартная модель, сверхтонкая структура спектра, слабое взаимодействие.

Со времен открытия космических лучей австрийским физиком В. Гессом в 1912 г. в физике космоса сформировалось фундаментальное научное направление, связанное с исследованием элементарных частиц и их взаимодействий в различных системах. В данной работе исследуется вклад частиц слабого взаимодействия в сверхтонкое расщепление основного состояния мюония. Мюоний представляет собой связанное состояние электрона и положительного мюона и во многих отношениях удобен для прецизионных исследований уровней энергии [1; 2]. Ряд основных амплитуд взаимодействия двух частиц показан на рис. 1 (обмен Z^0 и $W^{\pm}$). Экзотические атомы, такие как атом мюония, атом позитрония, ион позитрония, мюонный водород и т. д., играют очень важную роль в современной физике. Точное изучение их энергетических уровней, ширин распада – это такое направление фундаментальных исследований, в рамках которого можно искать проявления новых взаимодействий частиц. Хотя по меркам обычных систем такие системы существуют недолго, их создание и экспериментальное изучение позволяет заглянуть в область исследований, недоступную при работе со стабильными атомами и молекулами. Можно сказать, что изучение экзотических систем, наряду с коллайдерной физикой, является инструментом для понимания реальности за пределами Стандартной модели. Изучение тонкой и сверхтонкой структуры (СТС) мюония на протяжении десятилетий занимало центральное место в изучении квантовой электродинамики, поскольку в этой чисто лептонной системе различных лептонов отсутствуют эффекты ядерной структуры, которые всегда были главной теоретической неопределенностью [1–4].

Согласно работе [5] в настоящее время теория предсказывает $\nu_{hfs} = 4463302872(515)$ Гц, $\delta = 1{,}3 \times 10^{-7}$, где большая часть неопределенности (511 Гц) обусловлена измерением отношения m_μ/m_e (120 ppb). Поэтому из сравнения теоретических и новых экспериментальных результатов для СТС мюония можно получить более точное значение для массового отношения m_μ/m_e. Целью коллаборации MuSEUM является точное измерение сверхтонкого расщепления основного состояния атомов мюония с точностью 1 ppb [6]. Теоретические исследования заключаются в расчете новых вкладов в СТС с учетом планируемой точности эксперимента (см. рис.).

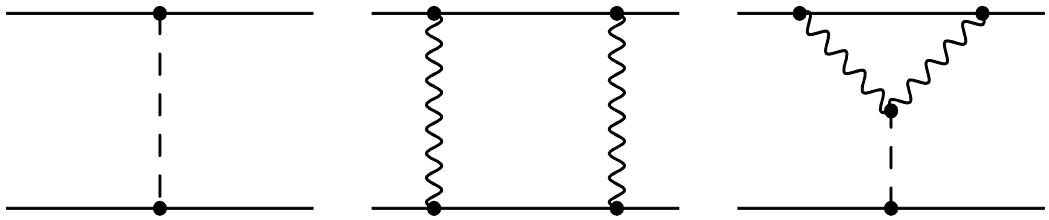


Рисунок – Амплитуды одноквантового и двухквантового обмена в мюонии. Пунктирной линией на рисунке показан фотон или Z-бозон, а волнистой линией показан $W^{\pm}$ бозон

Расчет сверхтонкой структуры мюония проводится в рамках квазипотенциального метода в квантовой теории поля. Основной вклад в сверхтонкое расщепление дает амплитуда однобозонного обмена. Для построения этой амплитуды взаимодействия выберем пропагатор Z-бозона в кулоновской калибровке:

$$D_{00}(\boldsymbol{k}) = -\frac{1}{\boldsymbol{k}^2+m^2}, \;\; D_{ij}(\boldsymbol{k}) = -\frac{1}{(k^2-m^2)}\left[\delta_{ij} - \frac{k_i k_j}{\boldsymbol{k}^2+m^2}\right]. \quad (1)$$

Вершине взаимодействия Z-бозона и лептона отвечает следующий фактор:

$$G_V\gamma_\alpha + G_A\gamma_\alpha\gamma_5 = \frac{e}{\sin 2\theta_W}\gamma_\alpha\left[\frac{1}{2}(1-\gamma_5) - 2\sin^2\theta_W\right]. \quad (2)$$

Оператор квазипотенциала выражается через амплитуду рассеяния при нулевой относительной энергии частиц. В первом приближении имеем вклады от обмена фотоном и Z – бозоном:

$$V^{(1)} = T^{(1)}, \;\; V^{(1)} = V_\gamma + V_Z. \quad (3)$$

При расчете сверхтонкой структуры необходимы следующие биспинорные свертки:

$$\bar{u}'_1\boldsymbol{\gamma}_1 u_1 = w_1^{*\prime}[i[\boldsymbol{\sigma}_1 \times \boldsymbol{k}] + 2\boldsymbol{p}_1 + \boldsymbol{k}]w_1, \quad (4)$$

$$\bar{u}'_2\boldsymbol{\gamma}_2 u_2 = w_2^{*\prime}[-i[\boldsymbol{\sigma}_2 \times \boldsymbol{k}] + 2\boldsymbol{p}_2 - \boldsymbol{k}]w_2. \quad (5)$$

$$\bar{u}'_1\boldsymbol{\gamma}_1\gamma_5 u_1 = 2m_1 w_1^{*\prime}\left[\boldsymbol{\sigma}_1\left(1 - \frac{\boldsymbol{p}_1^{2\prime}+\boldsymbol{p}_1^2}{8m_1^2}\right) + \frac{(\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{p}'_1)\boldsymbol{p}_1}{4m_1^2} - i\frac{[\boldsymbol{p}'_1\times\boldsymbol{p}_1]}{4m_1^2} + \frac{\boldsymbol{p}'_1(\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{p}_1)}{4m_1^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{(\boldsymbol{p}_1\boldsymbol{p}'_1)\boldsymbol{\sigma}_1}{4m_1^2}\right]w_1, \quad (6)$$

$$\bar{u}'_1\gamma_1^0\gamma_5 u_1 = w_1^{*\prime}[(\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{p}_1) + (\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{p}'_1)]w_1. \quad (7)$$

$$\bar{u}'_2\boldsymbol{\gamma}_2\gamma_5 u_2 = 2m_2 w_2^{*\prime}\left[\boldsymbol{\sigma}_2\left(1 - \frac{\boldsymbol{p}_2^{2\prime}+\boldsymbol{p}_2^2}{8m_2^2}\right) + \frac{(\boldsymbol{\sigma}_2\boldsymbol{p}'_2)\boldsymbol{p}_2}{4m_2^2} - i\frac{[\boldsymbol{p}'_2\times\boldsymbol{p}_2]}{4m_2^2} + \frac{\boldsymbol{p}'_2(\boldsymbol{\sigma}_2\boldsymbol{p}_2)}{4m_2^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{(\boldsymbol{p}_2\boldsymbol{p}'_2)\boldsymbol{\sigma}_2}{4m_2^2}\right]w_2, \quad (8)$$

$$\bar{u}'_2\gamma_2^0\gamma_5 u_2 = w_2^{*\prime}[(\boldsymbol{\sigma}_2\boldsymbol{p}_2) + (\boldsymbol{\sigma}_2\boldsymbol{p}'_2)]w_2, \quad (9)$$

где $\boldsymbol{\sigma}_1$, $\boldsymbol{\sigma}_2$ – спиновые матрицы Паули электрона и мюона, а w_1, w_2 – спиновые волновые функции частиц.

В нерелятивистском приближении квазипотенциальное уравнение переходит в уравнение Шредингера с потенциалом, содержащим кулоновское взаимодействие мюона и электрона и различные поправки к нему. Векторная часть нейтрального слабого тока дает следующий вклад в потенциал сверхтонкого взаимодействия:

$$\Delta U_V^{hfs}(\boldsymbol{k}) = -\frac{2\pi G_V^2}{3m_1 m_2}\left(1 - \frac{m_Z^2}{\boldsymbol{k}^2+m_Z^2}\right)(\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{\sigma}_2). \quad (10)$$

После усреднения по кулоновским волновым функциям получим вклад в СТС спектра:

$$\Delta E_V^{hfs} = -\frac{\mu\alpha}{m_Z}\frac{(1-4\sin^2\theta_W)^2}{\sin^2 2\theta_W}E_F = -3.04 \text{ Гц}, \quad (11)$$

где E_F – энергия Ферми, μ – приведенная масса двух частиц.

Псевдовекторная часть нейтрального слабого тока также дает вклад в потенциал взаимодействия:

$$\Delta U_{AV}^{hfs}(\boldsymbol{k}) = -\frac{4\pi G_A^2}{(\boldsymbol{k}^2+m_Z^2)}\left(1-\frac{\boldsymbol{k}^2}{(\boldsymbol{k}^2+m_Z^2)}\right)(\boldsymbol{\sigma}_1\boldsymbol{\sigma}_2). \quad (12)$$

Пренебрегая относительным импульсом $\boldsymbol{k}$ по сравнению с массой Z – бозона, получим вклад (12) в СТС в виде:

$$\Delta E_{AV}^{hfs} = -\frac{3m_1m_2}{m_Z^2\sin^2 2\theta_W}E_F = -62.58 \text{ Гц}. \quad (13)$$

В работе исследовался также вклад однопетлевых амплитуд взаимодействия (некоторые амплитуды показаны на рисунке). При этом использовались методы фейнмановской параметризации и размерной регуляризации. На основе проведенного расчета получен вклад ряда фейнмановских амплитуд взаимодействия частиц в оператор взаимодействия и в сверхтонкое расщепление основного состояния мюония. Численные оценки полученных вкладов показывают, что поправки слабого взаимодействия имеют важное значение при сравнении предсказаний теории и результатов нового эксперимента. Отметим также, что вклад слабого взаимодействия важен и при расчете сверхтонкой структуры мюонного водорода, поскольку в новых экспериментах коллабораций CREMA и FAMU также планируется увеличение точности измерения до 1 ppm.

Библиографический список

1. Eides, M.I. Theory of light hydrogenlike atoms / M.I. Eides, H. Grotch, V.A. Shelyuto // Physics Reports. – 2001. – V. 342, № 2–3. – P. 63–261.

2. Мартыненко, А.П. Поправки порядка (Zα)6me/mμ к тонкой структуре мюония / А.П. Мартыненко, Р.Н. Фаустов // ЖЭТФ. – 1999. – Т. 115, № 4. – Р. 1221–1235.

3. Старшенко, В.В. Вклад слабого взаимодействия в сверхтонкое расщепление уровней энергии водородоподобных атомов / В.В. Старшенко, Р.Н. Фаустов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. –1983. – Т. 24, № 3. –С. 47–50.

4. Jentschura, U.D. Fifth force and hyperfine splitting in bound systems / U.D. Jentschura // Phys. Rev. A – 2020. – V. 101, № 6. – P. 062503–062515.

5. Eides, M. Hyperfine splitting in muonium: Accuracy of the theoretical prediction / M. Eides // Phys. Lett. B – 2019. – Vol. 795, № 10. – P. 113–116.

6. Iwai, R. Precise measurement of the hyperfine splitting in muonium with a high intensity pulsed muon beam at J-PARC/ R. Iwai, M. Abe, S. Fukumura [et al.] // J. Phys. Conf. Ser. – 2023. – Vol. 2462. – P. 012019.

УДК 539.12.01

РЕДКИЕ РАСПАДЫ БОЗОНА ХИГГСА В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

© Скакун А.А., Мартыненко Ф.А., Мартыненко А.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: artemskakun0652@gmail.com

Ключевые слова: бозон Хиггса, Стандартная модель, эксклюзивные распады.

Космические лучи включают в себя различные частицы, которые заполняют межзвездное пространство. Природа космических лучей сверхвысоких энергий пока не имеет однозначной интерпретации. Современные ускорители элементарных частиц создают условия для рождения новых неизвестных частиц, изучение свойств которых важно для понимания фундаментальных взаимодействий. После открытия бозона Хиггса начался период более детального изучения его свойств и характеристик распада по различным каналам [1]. Такие теоретические исследования сейчас опираются на существующие экспериментальные данные, набор которых постоянно расширяется [1–2]. Начали формироваться планы относительно различных будущих ускорителей, в которых произойдет значительный рост рождения бозонов Хиггса, а следовательно, откроется возможность более точного определения различных параметров сектора Хиггса. Как это часто бывает при формулировании программ будущих коллайдеров, ставится задача поиска событий, не укладывающихся в схему Стандартной модели. Среди редких распадов бозона Хиггса можно выделить класс процессов, в которых возникают связанные состояния фундаментальных частиц, таких как мезоны и барионы. Теоретический интерес к этим реакциям обусловлен тем, что они, помимо прочего, позволяют дополнительно тестировать модели описания связанных состояний кварков [3–6]. В данной работе исследуются редкие эксклюзивные распады бозона Хиггса, в результате которых рождаются связанные состояния тяжелых кварков. На рисунке показаны процессы парного рождения чармония в рамках ZZ-механизма.

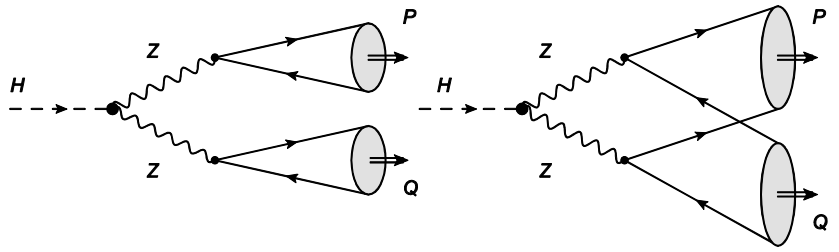


Рисунок – Амплитуды парного рождения чармония в распаде бозона Хиггса

В рассматриваемых процессах парного рождения один из чармониев рождается в S-состоянии, а второй – в P – состоянии. Прямая и перекрестная амплитуды рождения псевдоскалярного (P) и векторного (V) мезонов имеют вид:

$$M_{ZZ}^{(1)} = \frac{2e^3 g^{\lambda\sigma}}{\sin^3 2\theta_W} \int \frac{dp}{(2\pi)^3} Tr\{\Psi_V(p,P)\Gamma^\alpha\} \int \frac{dq}{(2\pi)^3} Tr\{\Psi_P(q,Q)\Gamma^\beta\} D^{\lambda\alpha}(P) D^{\sigma\beta}(Q), \quad (1)$$

$$M_{ZZ}^{(2)} = \frac{2e^3 g^{\lambda\sigma}}{\sin^3 2\theta_W} \int \frac{dp}{(2\pi)^3} \int \frac{dq}{(2\pi)^3} Tr\{\Psi_V(p,P)\Gamma^\alpha \Psi_P(q,Q)\Gamma^\beta\} D^{\lambda\alpha}(P+Q) D^{\sigma\beta}(P+Q) \quad (2)$$

где релятивистские волновые функции псевдоскалярного Ψ_P и векторного Ψ_V связанных состояний кварков имеют вид:

$$\Psi_P(p,P) = \frac{\Psi(p)}{[\frac{\epsilon(p)(\epsilon(p)+m)}{m}\ \frac{}{2m}]}\left[\frac{\hat{v}_1-1}{2} + \hat{v}_1\frac{p^2}{2m(\epsilon(p)+m)} - \frac{\hat{p}}{2m}\right]\gamma_5(1+\hat{v}_1)\left[\frac{\hat{v}_1+1}{2} + \right.$$
$$\left. + \hat{v}_1\frac{p^2}{2m(\epsilon(p)+m)} + \frac{\hat{p}}{2m}\right], \quad (3)$$

$$\Psi_V(q,Q) = \frac{\Psi(q)}{[\frac{\epsilon(q)(\epsilon(q)+m)}{m}\ \frac{}{2m}]}\left[\frac{\hat{v}_2-1}{2} + \hat{v}_2\frac{q^2}{2m(\epsilon(q)+m)} + \frac{\hat{q}}{2m}\right]\hat{\varepsilon}(1+\hat{v}_2)\left[\frac{\hat{v}_2+1}{2} + \right.$$
$$\left. + \hat{v}_2\frac{q^2}{2m(\epsilon(q)+m)} - \frac{\hat{q}}{2m}\right],$$

где $v_1 = P/M_1$, $v_2 = Q/M_2$, $M_{1,2}$ – массы мезонов, m – масса c-кварка, $\varepsilon^\lambda(Q,S_z)$ – 4-вектор спина чармония, $\epsilon(p) = \sqrt{p^2+m^2}$ – релятивистская энергия кварков. $\Psi(p)$ – волновая функция чармония в системе покоя. Импульсы кварков и антикварков $p_{1,2}$, $q_{1,2}$ удобно выразить через полные и относительные импульсы в виде:

$$p_{1,2} = \frac{1}{2}P \pm p, (p\cdot P) = 0, q_{1,2} = \frac{1}{2}Q \pm q, (q\cdot Q) = 0. \quad (4)$$

В знаменателях пропагаторов Z-бозона можно пренебречь относительными импульсами кварков p, q по сравнению с массой Z-бозона. В числителе амплитуд мы учитываем импульсы относительного движения, выделяя поправки порядка $O(p^2/m^2)$, $O(q^2/m^2)$. Выбирая пропагатор Z-бозона в унитарной калибровке представим в случае распада $H \to \eta_c + \chi_{c1}$ суммарную амплитуду $M_{ZZ}^{(1)} + M_{ZZ}^{(2)}$ следующим образом:

$$M(H\to\eta_c+\chi_{c1}) = \frac{\sqrt{3}}{4\sqrt{2}\pi}\tilde{R}_S(0)\widetilde{R'}_P(0)\frac{2e^3}{\sin^3\theta_W}\frac{(1-\omega_1-\tilde{\omega}_1+\omega_1\tilde{\omega}_1)}{mM_Z^3}(v_1\varepsilon(v_2,J_z))\times \quad (5)$$
$$[\frac{1}{(1-r_4^2)} - \frac{((r_3^2-r_4^2)[r_3r_4(r_1^2+r_2^2-1)-r_1r_2(r_3^2+r_4^2-8)]+32r_1r_2)(\frac{1}{2}-a_c+a_c^2)}{(r_5^2-4)^2r_1r_2}],$$

где введены параметры, которые определяются отношениями масс частиц:

$$r_1 = \frac{M_1}{M_H},\ \ r_2 = \frac{M_2}{M_H},\ \ r_3 = \frac{M_1}{M_Z},\ \ r_4 = \frac{M_2}{M_Z},\ \ r_5 = \frac{M_H}{M_Z}. \quad (6)$$

В случае распада $H \to J/\Psi + h_c$ вклад, который дает только перекрестная амплитуда, можно привести к виду:

$$M(H\to J/\Psi+h_c) = \frac{\sqrt{3}}{4\sqrt{2}\pi}\tilde{R}_S(0)\widetilde{R'}_P(0)\frac{e^3}{2\sin^3\theta_W m M_Z^3}\varepsilon_{\mu\nu\lambda\sigma}v_1^\mu v_2^\nu\varepsilon^\lambda(v_2,J_z)\varepsilon^\sigma(v_1,S_z)\times \quad (7)$$
$$\times(1-\omega_1-\tilde{\omega}_1+\omega_1\tilde{\omega}_1)a_c(1-a_c)\frac{((r_3^2-r_4^2)[r_3r_4(1-r_1^2-r_2^2)+r_1r_2(r_3^2+r_4^2-8)])}{(r_5^2-4)^2r_1r_2}.$$

Используя амплитуды (5) и (7), а также выражение для ширины получаем полные ширины распада процессов $H \to ZZ \to \eta_c + \chi_{c1}$ и $H \to ZZ \to J/\Psi + h_c$ в виде:

$$\Gamma(H\to ZZ\to\eta_c+\chi_{c1}) = \frac{6\alpha^3|P|[1-(r_1+r_2)^2]}{m^2M_Z^6\sin^6 2\theta_W(1-r_4^2)^2}(1-\omega_{10}-\omega_{01}+$$
$$+\omega_{10}\omega_{01})^2|\widetilde{R'}_P(0)|^2|\tilde{R}_S(0)|^2\times \quad (8)$$
$$\times[1+\frac{(1-r_4^2)(-\frac{1}{2}+a_c-a_c^2)}{r_1r_2(4-r_5^2)^2}[(r_1^2+r_2^2-1)r_3r_4(r_3^2-r_4^2)-r_1r_2(r_3^4-8r_3^2-r_4^4+8r_4^2-32)]]^2,$$

$$\Gamma(H\to ZZ\to J/\Psi+h_c) = \frac{6\alpha^3|P|[1-(r_1+r_2)^2]a_Z^2(1-a_c)^2}{m^2M_Z^6\sin^6 2\theta_W(4-r_5^2)^4r_1^2r_2^2}(1-\omega_{10}-\omega_{01}+\omega_{10}\omega_{01})^2\times \quad (9)$$
$$\times|\widetilde{R'}_P(0)|^2|\tilde{R}_S(0)|^2(r_4^2-r_3^2)^2[r_3r_4(1-r_1^2-r_2^2)+r_1r_2(r_3^2+r_4^2-8)]^2.$$

В рамках Стандартной Модели взаимодействия частиц и релятивистского квазипотенциального метода построены релятивистские амплитуды распада бозона Хиггса, которые определяют парное рождение связанных состояний тяжелых кварков. Вычислены ширины распада в нерелятивистском приближении и с учетом релятивистских поправок. Полученные численные результаты показывают, что реакции данного типа могут наблюдаться на фабриках бозонов Хиггса, которые проектируются в настоящее время [1].

Библиографический список

1. d'Enterria, D. Rare and Exclusive Few-Body Decays of the Higgs, Z, W Bosons, and the Top Quark / D. d'Enterria, Le Van Dung // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. – 2025. – Vol. 52. –P.053001.

2. Tumasyan, A Search for higgs boson decays into z and j/ψ and for higgs and z boson decays into j/ψ or υ pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ tev / A. Tumasyan // Phys. Lett. B. – 2023. – Vol. 42. – P. 137534.

3. Kartvelishvili, V. Double vector quarkonia production in exclusive higgs boson decays / V. Kartvelishvili, A.V. Luchinsky, A.A. Novoselov // Phys. Rev. D. – 2009. –V. 79. –P.114015.

4. Faustov, R.N. Relativistic Corrections to Paired Production of Charmonium and Bottomonium in Decays of the Higgs Boson / R.N. Faustov, A.P. Martynenko, F.A. Martynenko // Phys. Rev. D. – 2023. – Vol. 107, № 5. – P. 056002.

5. Martynenko, A.P. Paired Double Heavy Baryons Production in Decays of the Higgs Boson / A.P. Martynenko, F.A. Martynenko // Symmetry.– 2023. – Vol. 15, № 10. – P. 1944.

6. Gao, D.N. Higgs boson decays into a pair of heavy vector quarkonia / D.N. Gao, X. Gong // Phys. Lett. B. – 2022. – Vol. 832 – P. 137243.

УДК 539.232

ФОРМИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ МЕТОДАМИ MCXT

© Турченик С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: salatikkk81@yandex.ru

Научный руководитель: Нефедов С.А., канд. физ.-мат. наук., доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: кремниевые нанонити, металл-стимулированное химическое травление, пористый кремний.

В многочисленных технических приложениях широко используется кремний с развитой поверхностью. Наряду с пористым кремнием такая поверхность может содержать нанонити с характерной длиной в единицы и десятки нанометров. Метод MCXT [1] позволяет получить нанонити с помощью химического травления поверхности в присутствии маски из благородных металлов.

Целью работы было получение нанонитей на поверхности кремния по технологии [2] с использованием маски из частиц $AgNO_3$ в растворе плавиковой кислоты.

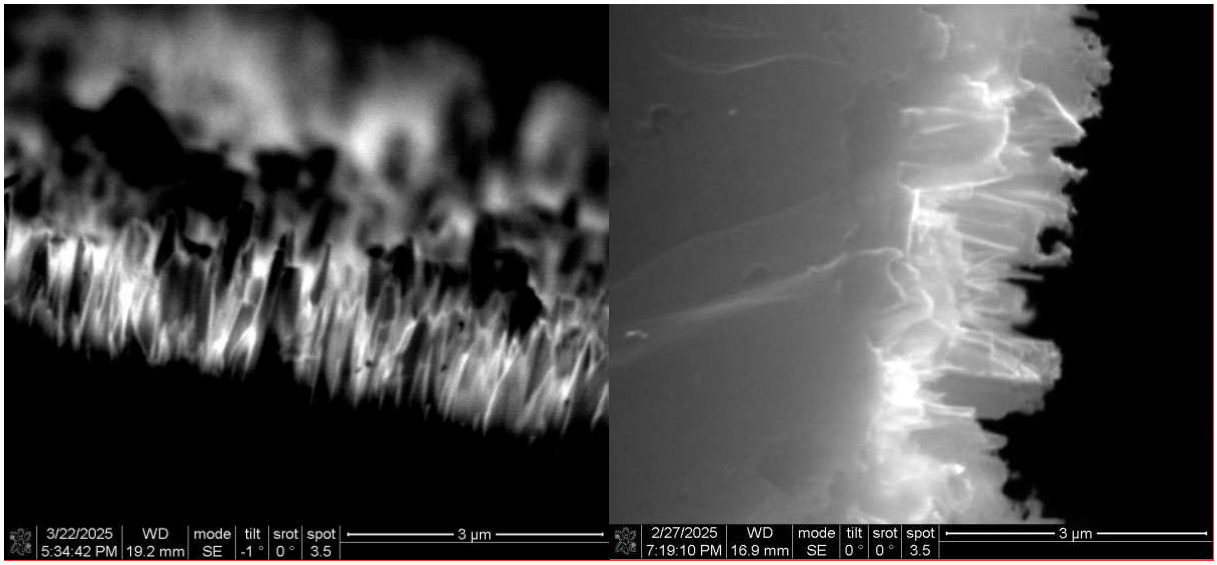


Рисунок – Нитевидная структура на поверхности кремния с ориентацией решетки {111} и временем травления а) 1,5 часа; б) 2 часа

Кремниевые пластины с ориентацией {100} и {111} марок электронного КЭФ-7,5 и дырочного КДБ-3,5 помещались в водный раствор нитрата серебра для осаждения частиц маски. Затем пластины травились в растворе HF и H_2O_2. Варьировалось время обработки пластин от 30 минут до 2 часов. Остатки маски удалялись азотной кислотой.

Исследование поверхности и поперечных сколов пластин методом оптической и растровой электронной микроскопии показало наличие структур, сходных с

нанонитями, полученными авторами [2]. Пример полученной структуры показан на рисунке. При этом была зафиксирована зависимость параметров нанонитей от времени обработки пластин и кристаллографической ориентации исходных пластин.

Библиографический список

1. Бондаренко, А.В. Формирование кремниевых нанонитей методом металл-стимулированного химического травления и исследование их оптических свойств / А.В. Бондаренко, К.А. Невзоров // Доклады БГУИР. – 2016.– С. 128.

2. Gonchsr, K.A. Photoluminescence and Raman Scattering in Wet Chemically Etched Silicon Nanowires / K.A. Gonchsr, L.A. Golovan // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. – Vol. 5, № 4.

УДК 621.785.78:537.636

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО И ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СТАРЕНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9

© Четверкин А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: anton.chetverkin.01@mail.ru

Научный руководитель: Осинская Ю.В., канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: магнитопластический эффект, старение, алюминиевый сплав, магнитные поля.

В работе представлены результаты исследования влияния постоянного и импульсного магнитных полей на физико-механические свойства алюминиевого сплава АК9 после искусственного старения. Образцы сплава, выдержанные в течение 2 ч и закаленные при 535 °С, подвергались старению длительностью 4 ч при температурах 140, 175 и 200 °С при наложении постоянного магнитного поля (ПМП) напряженностью 2,5 и 7 кЭ и импульсного магнитного поля (ИМП) амплитудой напряженности 2,5 и 7 кЭ и частотой 2 и 5 Гц.

При анализе экспериментальных данных было установлено следующее:

1. Металлографический анализ показал, что наложение ПМП на старение алюминиевого сплава АК9 приводит к уменьшению площади фазовых выделений чистого кремния с элементами эвтектики на 16 %, а увеличение температуры старения от 120 до 200 °С приводит к уменьшению площади фазовых выделений чистого кремния с элементами эвтектики как при наложении поля, так и без него в 1,3 раза.

2. Методом Виккерса и Бринелля установлен положительный магнитопластический эффект (МПЭ), величина которого достигает до 25 %. Причиной его обнаружения является формирование однородной и менее искаженной структуры сплава [1]. Рост напряженности ПМП, частоты и амплитуды напряженности ИМП способствуют усилению МПЭ.

3. Методом рентгенографического анализа установлено, что наложение ПМП и ИМП не приводит к значительным изменениям параметра кристаллической решетки, все значения лежат в пределах ошибки измерений.

4. Методом рентгеноструктурного анализа обнаружено, что при наложении ПМП и ИМП на старение наблюдается увеличение среднего размера блоков когерентного рассеяния 1,5 раза и уменьшению плотности дислокаций и величины относительной микродеформации в 2 и 1,4 раза, соответственно. Наблюдается корреляция между температурными зависимостями параметров тонкой структуры и микротвёрдости (твердости).

5. Метод рентгенофазового анализа показал, что наложение ПМП и ИМП во время старения сплава уменьшает полуширину дифракционных линий до 0,34° и их интенсивность до 20 раз по сравнению со старением без поля, что свидетельствует о снижение дефектности кристаллической решётки. Наблюдаемая закономерность усиливается с ростом температуры старения и характеристиками магнитных полей,

демонстрируя их благоприятное влияние на структуру и конструктивные свойства сплава.

6. Анализ результатов, полученных методом сканирующей зондовой микроскопии, даёт основание предположить, что наложение ПМП на старение сплава значительно повышает его пластические свойства. Это подтверждает корреляцию между прочностными и упругими характеристиками металлических сплавов и возможность использования термомагнитной обработки для управления их конструктивными свойствами [2].

Библиографический список

1. Осинская, Ю.В. Влияние амплитуды напряженности импульсного магнитного поля на параметры магнитопластического эффекта в состаренном алюминиевом сплаве Al-Si-Cu-Fe / Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова, А.В. Покоев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2024. – № 1. – С. 17–22.

2. Золоторевский, В.С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов: монография / В.С. Золоторевский. – М.: ИД МИСиС, 2005. – 376 с.

УДК 530.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SIC/SI, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

© Юрлова Д.Д.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: daria.dm.yurlova@gmail.com

Научный руководитель: Чепурнов В.И., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: гетероструктура SiC/Si, радиоуглерод, базовое сопротивление.

В данной работе исследуется планарное и вертикальное исполнение диодной структуры SiC/Si, легированной углеродом-14 [1; 2].

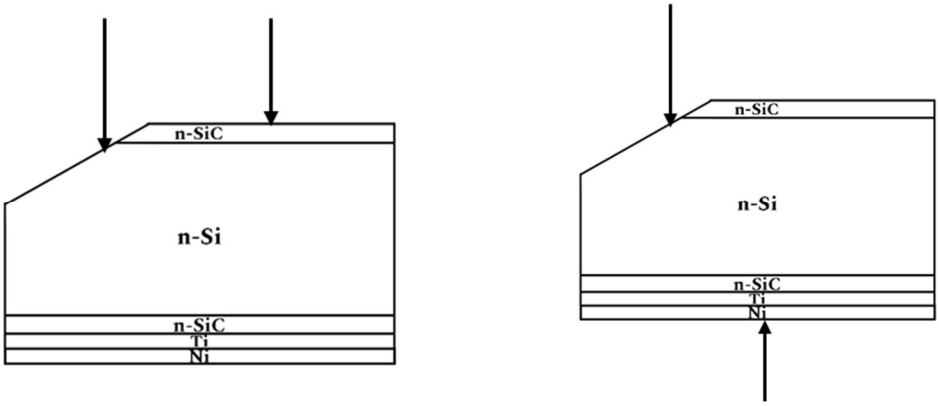


Рисунок 1 – а) планарное и б) вертикальное исполнение диодной структуры

Оценивалось влияние базового сопротивления кремния на генерацию токов энергопреобразователей.

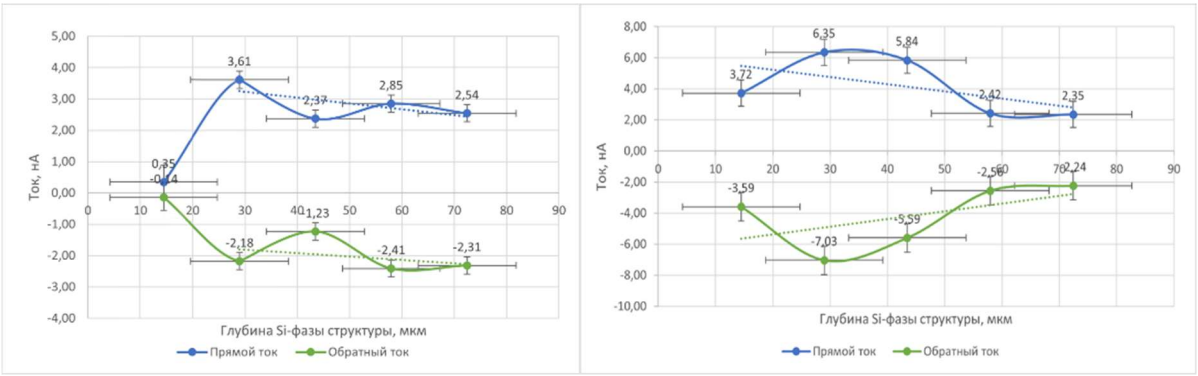


Рисунок 2 – Графики зависимости тока от глубины Si-фазы на косом шлифе в а) планарном и б) вертикальном исполнении диодной структуры SiC/Si

В обоих случаях линии тренда указывают на уменьшение значения тока, что говорит об увеличении сопротивления в зависимости от длины пробега по кремниевой фазе (см. рис. 1, 2). Базовое сопротивление влияет на снижение величины тока

короткого замыкания, что уменьшает эффективность бета-вольтаического энергопреобразователя в планарном и вертикальном исполнении.

Библиографический список

1. Нагорнов, Ю.С. Современные аспекты применения бетавольтаического эффекта: монография / Ю.С. Нагорнов. – Ульяновск: УлГПУ, 2012. – 113 с.

2. Булярский, С.В. Физика полупроводниковых преобразователей / С.В Булярский / под ред. академика РАН, проф. А.Н. Саурова. – М.: РАН, 2018. – 280 с.

Секция 12
Фундаментальная и прикладная химия

UDC 621.452.32

THE IMPORTANCE OF PROTEIN FOR MEN AND WOMEN IN THE 21ST CENTURY IN RUSSIA

© Schneider E.A., Demidova A.V.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

e-mail: elizabeth_2022@inbox.ru

Scientific supervisor: Postnikova E.V., PhD., associate professor
Samara National Research University, Samara, Russian Federation

Key words: protein, protein in nutrition, protein sources, protein intake, effect of protein on muscles, sports nutrition.

This work is a comprehensive study devoted to the study of the role of protein in human life. The authors, students of the Faculty of Chemistry of Samara University, conduct a detailed analysis of the importance of proteins as a key nutrient, their functions in the body, sources of production, consumption rates, as well as the consequences of protein deficiency and excess in the diet. Particular attention is paid to the effect of protein nutrition on the body of athletes and the development of practical recommendations for its optimal use to achieve maximum results in physical activity and recovery. Thus, this study is a comprehensive analysis of the role of protein in the diet of a modern person, combining theoretical foundations with practical recommendations, which makes it a valuable source of information for both specialists and a wide range of readers interested in healthy nutrition and sports dietetics [1–6].

Relevance

The discovery of the protein is attributed to the French chemist Antoine Francois de Fourcroy. World Protein Day is celebrated on February 27.

Protein is considered the cheapest supplement for an athlete. Thanks to him, a person can replenish everything that the body needs in a few hours. That's why many people consume protein.

This topic is important to consider, as many people consume protein as a supplement. But not everyone knows whether it is harmful or useful.

Goals and objectives

Goals: To study the role of protein in the lives of men and women.

Objectives:

1. Consider foods containing protein.
2. Analyze the protein intake rates.
3. Analyze what can happen due to excessive protein intake.
4. Develop recommendations for protein intake.

Protein sources can be divided into two main categories: animal and vegetable.

Animal proteins: beef, pork, chicken, salmon, shrimp, dorado, dairy products, chicken eggs.

Vegetable proteins: lentils, chickpeas, beans, peas, buckwheat, rice, oatmeal, almonds, flax, chia, soy products, herbs and vegetables.

Protein intake varies depending on age, gender, physical activity level, and overall health. The general recommendations are given below:

• Adults (inactive): 0.8 grams of protein per kilogram of body weight per day.

• Adults (active, engaged in sports): 1.2-2.0 grams of protein per kilogram of body weight per day.

• Pregnant and lactating women: adults – an additional 25 grams of protein per day.

• Children and adolescents: recommended from 1.0 to 1.5 grams of protein per kilogram of body weight per day, depending on age.

Recommendations on protein intake for athletes

1. Daily protein intake. During intensive training, active athletes are recommended to eat at least 1.5-2 grams of protein per kilogram of body weight per day. At the same time, the amount of protein per meal should not exceed 30 g.

2. Before training. It is advisable to drink a protein shake at least three hours before the start of the workout.

3. After training. For the fastest intake, the recommended protein dose is about 20 grams immediately after exercise or within three hours after it. You don't need to take more than 20-25 grams of protein at a time.

4. On rest days. For the first time, protein should be drunk in the morning as a second breakfast, it is better to postpone the second meal for the second dinner. Just before going to bed, prepare yourself a portion of a cocktail. In this case, it is recommended to use casein instead of whey protein.

The study examined key aspects of the role of protein in modern human nutrition. They found out that protein is the main building material for muscles, hormones, enzymes and the immune system. Recommendations on protein intake have also been developed.

References

1. URL: https://unclinic.ru/belki.

2. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Белки.

3. URL: https://edasport.ru/stati/vidy-proteina-ego-funkcii-i-primenenie.

4. Tutelyan, V.A. Chemistry of food. Proteins: structure, functions, role in nutrition / V.A. Tutelyan. – Moscow: Dynasty, 2020.

5. Pogozheva, A.V. Modern problems of protein nutrition / A.V. Pogozheva, A.K. Baturin. – Moscow: Litterra, 2022.

6. Martinchik, A.N. Nutritionology: proteins, peptides, amino acids / A.N. Martinchik. – St. Petersburg: SpecLit, 2021.

УДК 547.782

СИНТЕЗ 2- И 3-(1*H*-2-МЕТИЛИМИДАЗОЛ-1-ИЛМЕТИЛ)БЕНЗОГИДРОКСАМОВЫХ КИСЛОТ

© Вязьмина В.Е., Еремеева К.А., Виноградов С.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

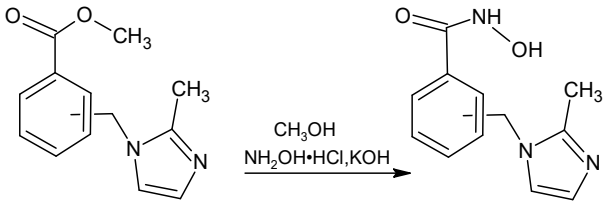
e-mail: vazmina12@gmail.com

Научный руководитель: Белоусова З.П., д-р хим. наук, профессор
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: метиловые эфиры 2- и 3-(1*H*-2-метилимидазол-1-илметил)бензойных кислот, гидроксамовые кислоты.

Целью исследования стало получение двух изомерных гидроксамовых кислот (IIа, IIб) из метиловых эфиров 2- и 3-(1*H*-2-метилимидазол-1-илметил)бензойных кислот (Iа, Iб) с использованием методики, описанной в работах [1, 2].

Конечную стадию реакции проводили при комнатной температуре. После упаривания растворителя целевые продукты экстрагировали из реакционных смесей этилацетатом и водой в соотношении 1:1, затем высушивали над безводным сульфатом натрия. Соединения IIа – кристаллическое вещество и IIб получили в виде маслянистой жидкости. Чистоту полученных соединений оценивали по ТСХ.



Iа, Iб IIа, IIб

Синтезированные соединения были проанализированы с помощью программы PASS Online для определения вероятности проявления различных видов биологической активности [3]. По оценке предполагаемой биологической активности, целевые соединения могут выступать в роли селективных ингибиторов некоторых ферментов, стимулирующих средств и противоопухолевых соединений.

Библиографический список

1. Lucky, M.V. Lanthanide luminescent coordination polymer constructed from unsymmetrical dinuclear building blocks based on 4-((1*H*-benzo[*d*]imidazol-1-yl)methyl)benzoic acid / M.V. Lucky, S. Sivakumar, M.L.P. Reddy, A.K. Paul, S. Natarajan // Crystal Growth & Design. – 2011. – V. 11, № 3. – P. 857–864.

2. Patent 201810705636A CN. IDO/HDAC double-target compound, synthesis method and applications thereof / Z. Hankun, P. Xiufeng, L. Mingyao [et al.]. – № 10668992A; заявл. 02.07.18; опубл. 01.10.20.

3. Сервис прогнозирования спектров биологической активности соединений PASS Online. –URL: http://way2drug.com/passonline/predict.php.

УДК 546.722/723-44

ЗАРЯДОВАЯ КОМПЕНСАЦИЯ В ПОЛИФЕРРИТАХ, СОДЕРЖАЩИХ ДОБАВКИ ДВУХЗАРЯДНЫХ КАТИОНОВ

© Дворецкая А.Н.

Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Российская Федерация

e-mail: dvoretskayaaleksandra@mail.ru

Научный руководитель: Судзиловская Т.Н., канд. хим. наук, доцент
Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Российская Федерация

Ключевые слова: полиферрит калия, железооксидные катализаторы, легирующая добавка, зарядовая компенсация.

Катализаторы на основе оксида железа широко распространены и используются в многотоннажных нефтехимических и химических процессах. 90 % стирола получают с помощью промотированных железооксидных катализаторов. Стирол используется в промышленности для производства пластмасс, резиновых изделий, лаков, клеев и других химических продуктов, а также является важным мономером в производстве синтетических волокон, упаковочных материалов – пенополистирола.

Задачи повышения эффективности катализатора решают путем введения модифицирующих добавок, способствующих повышению активности и селективности действия, механической прочности, термостабильности и химической устойчивости.

Цель работы – выяснение влияния добавок двухзарядных катионов на электронную и катионную проводимость полиферрита калия типа β″-глинозёма.

Постоянное стремление к экологичным, низкоуглеродным и эффективным процессам в катализе требует глубокого понимания механизмов каталитических реакций и взаимосвязи между структурой и эффективностью катализаторов. Стирол, важнейший мономер в химической промышленности, в основном получают путём каталитического дегидрирования этилбензола на катализаторах на основе железа

В работах [1; 2] была подготовлена серия промотированных железооксидных катализаторов катализаторов с различным содержанием CeO_2. В работе [2] дополнительно содержался магний. Результаты показывают, что объёмная плотность и прочность на сжатие катализатора тесно связаны со структурой пор и размером зёрен β-феррита калия. Поверхность катализатора, легированного церием, содержит β-феррит калия $KFe_{11}O_{17}$, диоксид церия и карбонат калия, а основная структура состоит из β-феррита калия и диоксида церия. Добавление Ce повышает каталитическую активность при дегидрировании этилбензола, но селективность по стиролу снижается. Катализатор Fe-K-Mg, содержащий 12% CeO_2, показал самый высокий однопроходный выход стирола, достигший 70,9%. В этом исследовании также обсуждается возможное влияние CeO_2 на эффективность катализатора Fe-K-Mg при дегидрировании этилбензола.

Исследователи [3] указывают, что что за высокую каталитическую активность отвечают полностью окисленные фазы железа, содержащие только ионы Fe^{3+} (Fe_2O_3, $KFeO_2$, $K_2Fe_{22}O_{34}$). Наблюдаемое впоследствии снижение выхода стирола и одновременное увеличение концентрации водорода указывают на то, что дегидрирование этилбензола с образованием H_2 приводит к частичному восстановлению только Fe^{3+} содержащих железосодержащих фаз.

β″-полиферрит калия является активным компонентом железооксидного катализатора дегидрирования олефиновых и алкилароматических углеводородов. Состав этой фазы соответствует центрам дегидрирования, содержащие ионы кислорода, двух- и трёхзарядные ионы железа, между которыми происходит электронный обмен ($Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$), и промотирующие ионы щелочного металла [4]. Такой электронный обмен обеспечивает высокую электронную проводимость β″-полиферрита. Это соединение обладает целым набором уникальных свойств, что позволяет использовать его в различных целях. Он является твёрдым электролитом. Высокая электропроводность β″-полиферрит калия обеспечивается не только электронной, но и катионной составляющими.

Легированные полиферриты щелочных металлов имеет широкое применение. В научной статье [5] сообщается об исследовании структурных, диэлектрических, оптических и электрических поляризационных свойств гексагонального феррита β-типа $KLa_xFe_{11-x}O_{17}$ при замещении редкоземельного элемента La^{3+} с составами (x = 0, 0,02, 0,06 и 0,1). Синтезированные бета-ферриты могут быть использованы для изготовления датчиков влажности и для снижения потерь на вихревые токи.

Катионная проводимость полиферрита непосредственно связана с миграцией и эмиссией щелочного промотора [6]. Потеря щелочного промотора – одна из основных причин дезактивации данного класса катализаторов.

Легирующие добавки приводят к улучшению одних свойств катализатора, оказывая негативное действие на другие.

Таким образом, выяснение способа распределения и механизма действия добавок, вводимых в сложную гетерогенную систему, является актуальной проблемой.

Для выяснения механизма зарядовой компенсации, способа размещения легирующих добавок были синтезированы образцы β″-полиферритов калия с широким диапазоном мольной доли вводимых двухзарядных катионов. Для легирования использовали двухзарядные ионы: Mg^{2+}, Zn^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+} (см. таблицу). Для данных образцов измеряли электронную проводимость, катионную проводимость, проводили рентгенофазовый анализ.

Таблица – Эффективные радиусы двухзарядных ионов, входящих в структуру β″-полиферрита калия [12]

Ионы	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Mg^{2+}	Zn^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}
Радиус, пм	104	112	66	74	80	67

Измерение электропроводности показало, что введение в систему ионов магния и цинка приводит к заметному снижению электронной проводимости K-β″Fe_2O_3. Этот факт связан с падением содержания Fe_{2+} и, как следствие, уменьшением интенсивности электронного обмена между ионами двухзарядного и трехзарядного железа. Такое легирование уменьшает концентрацию активных центров, то есть оказывает негативное воздействие на каталитические характеристики катализатора.

При легировании ионами магния и цинка механизм зарядовой компенсации может быть представлен

$$K_2Mg_qFe^{II}_{1-q}Fe^{III}_{10}O_{17} \text{ и } K_2Zn_qFe^{II}_{1-q}Fe^{III}_{10}O_{17.}$$

Введенные ионы кальция и стронция практически не уменьшают электронную проводимость полиферрита, следовательно такие ионы не способны занимать позиции, эквивалентные Fe^{2+} , в структуре K-β″Fe_2O_3. Они не располагаются в шпинелеподобном блоке, а будут размещаться в катионпроводящем слое.

При легировании ионами кальция и стронция механизм зарядовой компенсации может быть представлен

$$K_{2-2q}Ca_qFe^{II}Fe^{III}_{10}O_{17},\ K_{2-2q}Sr_qFe^{II}Fe^{III}_{10}O_{17}.$$

Представленные формулы показывают различные способы расположения легирующих двухзарядные ионов в структуре K-β″Fe_2O_3, и представляют два отличных механизма зарядовой компенсации в структуре каталитически активного полиферрита калия.

Выводы

1. Разработана система методов оперативной диагностики модифицированных катализаторов синтеза стирола, основанная на измерении электронной и катионной проводимости основного каталитически активного компонента железооксидных катализаторов дегидрирования.

2. Установлен механизм зарядовой компенсации в структуре K-β″Fe_2O_3 при введении легирующих двухзарядных ионов. Определено, что крупные двухзарядные ионы, размер которых сопоставим с размерами ионов кальция и стронция, располагаются в катионпроводящем слое, в то время как двухзарядные ионы меньшего размера, например, ионы магния и цинка, занимают позиции эквивалентные Fe^{2+} в шпинелеподобном блоке структуры K-β″Fe_2O_3.

3. Установлено, что крупные ионы двухзарядных металлов снижают подвижность ионов калия в межблочном пространстве, тем самым препятствуя эмиссии щелочного металла из решетки K-β″Fe_2O_3. Введение в структуру таких ионов целесообразно как для увеличения термостабильности и механической прочности гранул катализатора, так и для увеличения устойчивости каталитически активного компонента к действию каталитических ядов.

4. Показано, что введение в структуру β″-полиферрита калия ионов незначительного радиуса приводит к уменьшению электронного обмена между ионами двух- и трехзарядного железа и, как следствие, заметно уменьшает каталитические характеристики катализатора. Феррит, с низким значение электронной проводимости не пригодны в качестве катализаторов в реакциях дегидрирования.

Библиографический список

1. Nabiullin, I.R. Changes in the Physicochemical and Catalytic Properties of Iron–Potassium Catalysts under Operation in a Reactor of Ethylbenzene Dehydrogenation to Styrene at Nizhnekamskneftekhim / I.R. Nabiullin, A.V. Boretskaya, M.V. Berezkina, R.R. Gil'mullin, S.R. Egorova // Catalysis in Industry. – 2022. – V. 14. – P. 327–335. – DOI:10.18412/1816-0387-2022-2-65-75.

2. Zhengpai, Zh. Ce-promoted Fe-K-Mg catalyst and its application in dehydrogenation of ethylbenzene / Zhang Zhengpai, Zeng Tieqiang, Wei Chunling, Song Lei, Miao Changxi // Molecular Catalysis. – 2023. – V. 540. – P. 113058. – URL: https://doi.org/10.1016/j.mcat.2023.113058.

3. Zhu, X.M. The dehydrogenation of ethylbenzene to styrene over a potassium-promoted iron oxide-based catalyst: A transient kinetic study / Zhu X.M., Schön M., Bartmann U., Andre C. van Veen, M. Muhler // Applied Catalysis A General. – 2004. – V. 266, № 1. – P. 99–108. – DOI: 10.1016/j.apcata.2004.02.002.

4. Дворецкий, Н.В. Типы активных центров на поверхности промотированного железооксидного катализатора / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова, З.Г. Малышева // Изв. вузов. Химия и хим. Технология. – 2018. – Т. 61, № 6. – С. 61–68. – DOI: http://dx.doi.org/10.6060/tcct.20186106.5658.

5. Samreen, S. La^{3+}-substituted β-ferrite: Investigation of structural, dielectric, FTIR and electrical polarization properties / Saeed Samreen, Sadiq Imran, Hussain Sajjad, Idrees Mishal, Sadiq Farhan, Riaz Saira, Naseem Shahzad // Journal of Alloys and Compounds. – 2020. – V. 831. – P. 154854. – DOI: doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154854.

6. Аниканова, Л.Г. Стабилизация щелочных промоторов в структуре железооксидных катализаторов дегидрирования / Л.Г. Аниканова, Н.В. Дворецкий // Катализ в промышленности. – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 29–36. –DOI: http://dx.doi.org/10.18412/1816-0387-2016-1-29-36.

УДК 547.518+547.284

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ (АДАМАНТИЛ-1)БРОММЕТИЛКЕТОНА С МАГНИЙ- И МАГНИЙКУПРАТНЫМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ РЕАГЕНТАМИ

© Карпенко Д.С.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: daryakarpenko2003@mail.ru

Научный руководитель: Данилин А.А., канд. хим. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: (адамантил-1)бромметилкетон, фенилмагнийбромид, тетрахлорокупрат дилития, адамантилбензилкетон.

Органические соединения, содержащие адамантановый каркас, находят применение в различных сферах. Некоторые производные адамантана являются основой различных лекарственных препаратов [1]. Введение адамантильного фрагмента в состав полимерной цепи улучшает теплофизические свойства полимерных материалов [2].

В основе получения адамантилсодержащих соединений лежат различные функциональные производные адамантана.

Применение би- и полифункциональных соединений в органическом синтезе значительно расширяет спектр возможных химических реакций с их участием, однако предсказать конечный результат зачастую бывает затруднительно и требует в ряде случаев отдельного изучения.

В качестве объекта нашего исследования был использован (адамантил-1)бромметилкетон, как трифункциональный субстрат. Его реакция с реактивом Гриньяра должна протекать в первую очередь по карбонильной группе как по жесткому кислотному центру. Однако ситуация может осложняться наличием объемного адамантильного фрагмента в α-положении по отношению к карбонильной группе, вследствие чего последняя может быть недоступна для атаки нуклеофила.

Изучение взаимодействия данного субстрата с фенилмагнийбромидом проводилось в различных условиях:

– взаимодействие (адамантил-1)бромметилкетона с фенилмагнийбромидом в соотношении 1:1;

– взаимодействие (адамантил-1)бромметилкетона с фенилмагнийбромидом в соотношении 1:2;

– взаимодействие (адамантил-1)бромметилкетона с фенилмагнийбромидом, допированным тетрахлорокупратом дилития.

Фенилмагнийбромид был получен по методике [3]. Полученный реактив Гриньяра ввели в реакцию с изучаемым субстратом согласно методике [4].

Установлено, что основной продукт взаимодействия (адамантил-1)бромметилкетона с фенилмагнийбромидом независимо от их соотношения – (адамантил-1)бромметилкетон, являющийся одновременно и исходным веществом. Данный результат был объяснен протеканием кислотно-основной реакции по α-водородному атому (рис. 1).

Схема 1

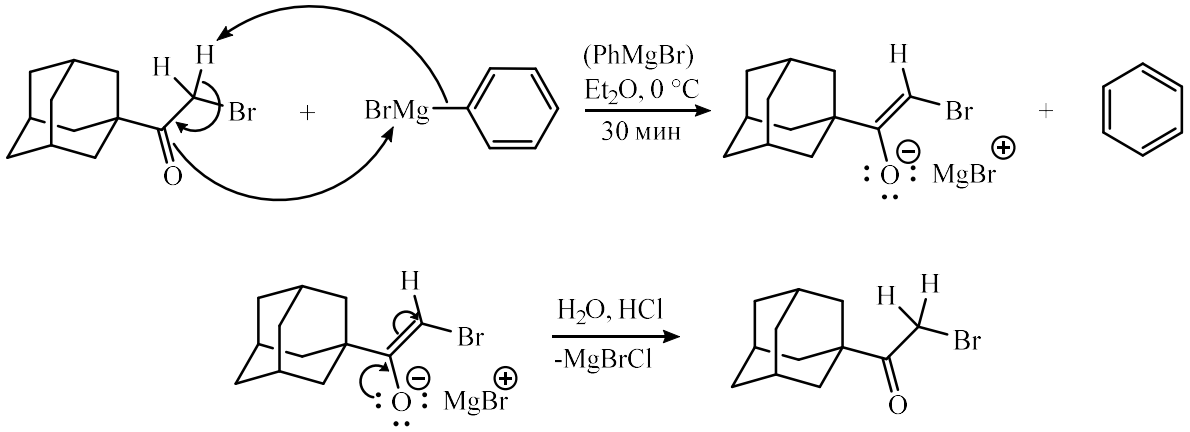


Рисунок 1

В случае взаимодействия (адамантил-1)бромметилкетона с фенилмагний-бромидом в присутствии тетрахлорокупрата дилития (рис. 2) связь углерод-магний преобразуется в комплекс, где присутствует дополнительная связь углерод-медь, что приводит к формированию мягкого основания и, следовательно, взаимодействию последнего с мягким кислотным центром, в роли которого выступает углерод, связанный с атомом брома [5].

Схема 2

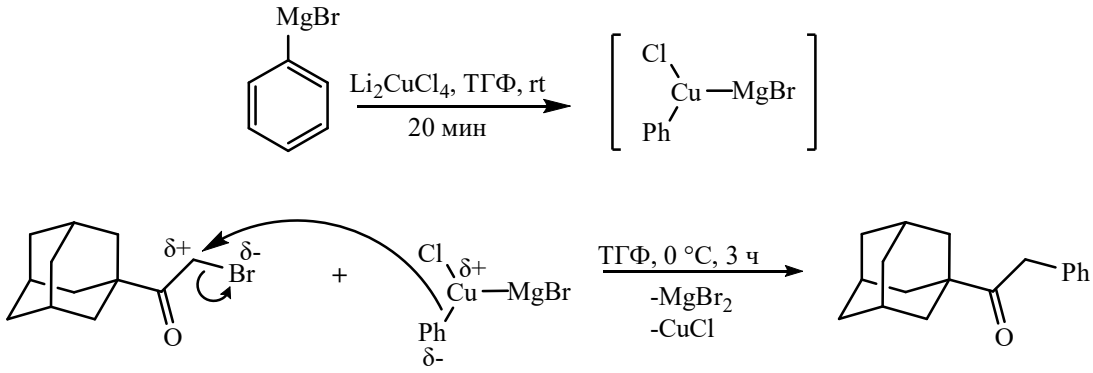


Рисунок 2

Индивидуальность соединений оценивалась с помощью ТСХ, структура целевых продуктов подтверждалась методом ИК спектроскопии.

Библиографический список

1. Морозов, И.С. Фармакология адамантанов: монография / И.С. Морозов, В.И. Петров, С.А. Сергеева. – Волгоград: Волгоградская медицинская академия, 2001. – 320 с.

2. Новаков, И.А. Полимеры на основе производных адамантана: синтез, свойства, направления практического использования / И.А. Новаков, Б.С. Орлинсон // Высокомолекулярные соединения. – 2005. – Т. 47, № 7. – С. 1302–1331.

3. Теренин, В.И. Практикум по органической химии / В.И. Теренин – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 568 с.

4. Teiichi, Ando. Reactions of α-Halo Carbonyl Compounds with Grignard Reagents. I / Ando Teiichi // J. Synth. Org. Chem. Jpn. – 1959. – V. 17, № 6. – P. 339–344.

5. Paquette, L.A. – URL: https://wellesu.com/10.1002/047084289X.rd268.pub2.

УДК 547.621+547.526

ТРЁХКОМПОНЕНТНАЯ ЦИКЛОАРОМАТИЗАЦИЯ ДИЭТАНОЛАМИНА С АЦЕТОНОМ И МЕТОКСИМЕТИЛЗАМЕЩЁННЫМ ИЗОНИТРОЗОДИКЕТОНОМ

© Первушин К.А., Шаклеин М.В., Машарова Д.А.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: p3rvushin.k@yandex.ru

Научный руководитель: Бобров П.С., канд. хим. наук, доцент
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

Ключевые слова: 4-нитрозоанилин, диэтаноламин, изонитрозодикетон, циклоконденсация.

Алкил- и арилзамещенные производные 4-нитрозоанилинов находят широкое применение как стабилизаторы резиновых смесей, позволяющие улучшить технические характеристики резиновых смесей [1]. Известно, что соединения с такой структурой используются как медиаторы в устройствах, измеряющих уровень глюкозы [2], и как полупродукты в синтезе азокрасителей [3]. В связи с этим синтез новых производных 4-нитрозоанилинов по-прежнему актуален.

Ранее был разработан метод синтеза 3,5-замещенных 4-нитрозоанилинов трёхкомпонентной конденсацией ацетона, аминов, изонитрозодикетонов. Однако, до сих пор не была исследована возможность применения 1-арил-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутан-1,3-дионов в таком превращении. Введение алкоксильной группы может повлиять на растворимость и полярность молекулы, что значительно модифицирует её свойства. Поэтому целью данной работы является синтез 3-(4-бромфенил)-N,N-ди(2-гидроксиэтил)-5-метоксиметил-4-нитрозоанилина трёхкомпонентной конденсацией ацетона, 1-(4-бромфенил)-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутадиона-1,3 и диэтаноламина в среде безводного ацетона (рисунок 1).

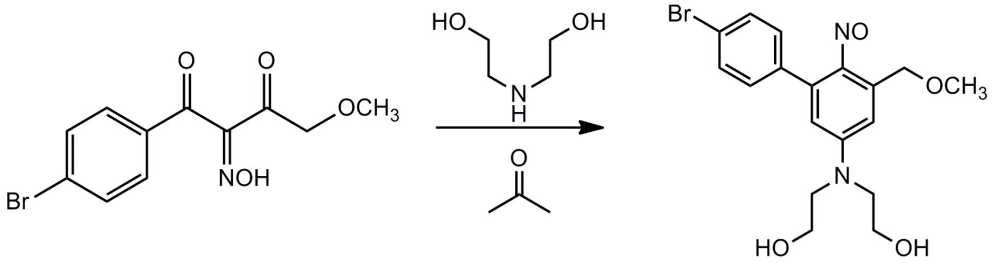


Рисунок 1 – Взаимодействие 1-(4-бромфенил)-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутадиона-1,3 с диэтаноламином в среде безводного ацетона

Реакцию циклоконденсации проводили в эквивалентом соотношении исходных компонентов – 1-(4-бромфенил)-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутадиона-1,3 и диэтаноламина 1:2 в среде безводного ацетона в течении 8 суток. Целевой продукт выделили методом колоночной хроматографии, в качестве неподвижной фазы использовали силикагель, а в качестве элюента была применена смесь гексан-этилацетат с соотношением 40:10-10:20 соответственно.

Строение ранее неизвестного 3-(4-бромфенил)-N,N-ди(2-гидроксиэтил)-5-метоксиметил-4-нитрозоанилина подтвердили с помощью метода хромато-масс-спектрометрии (рисунок 2).

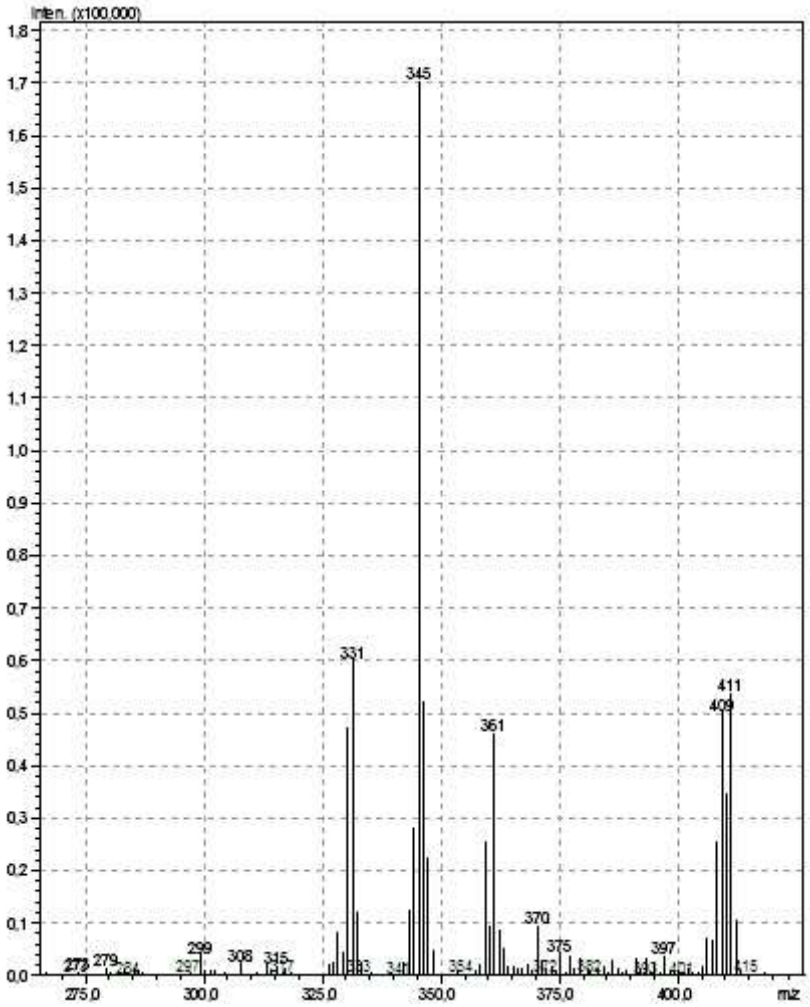


Рисунок 2 – масс-спектр полученного соединения

На масс-спектре впервые полученного соединения был зафиксирован пик молекулярного иона m/z 409. Также на спектре наблюдали характерный для бромсодержащих органических соединений набор пиков $[M+1]^+$, $[M+2]^+$ и $[M+3]^+$.

Экспериментальная часть

К раствору диэтаноламина (0,217 г, 0,002 моль) в 1,2 мл безводного ацетона добавляли 1-(4-бромфенил)-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутадион-1,3 (0,3 г, 0,001 моль). Реакционную массу перемешивали и выдерживали в течение 192 ч при комнатной температуре. По истечении времени реакционную массу растворяли в диэтиловом эфире (20 мл), промывали 1 % раствором NaOH (20 мл), затем водой (20 мл) и насыщенным раствором NaCl (10 мл). Эфирный слой отделяли, сушили прокаленным Na_2SO_4 и упаривали. Полученный остаток хроматографировали на колонке, стационарная фазы – силикагель (элюент: гексан-этилацетат). Выход 0,075 г (18,3 %). Масс-спектр, m/z (Iотн, %): 412 (6) $[M+3]^+$, 411 (31) $[M+2]^+$, 410 (20) $[M+1]^+$, 409 (29) $[M]^+$, 361 (26), 345 (100), 331 (35).

Таким образом, в результате проведённых исследований впервые показана возможность трёхкомпонентной циклоконденсации диэтаноламина, ацетона и

1-(4-бромфенил)-2-гидроксимино-4-метоксиметилбутадиона-1,3 получен ранее неизвестный 3-(4-бромфенил)-N,N-ди(2-гидроксиэтил)-5-метоксиметил-4-нитрозоанилин и подтверждено его строение методом хромато-масс-спектрометрии.

Библиографический список

1. Влияние природы заместителей нитрозоанилинов на их активность в резиновых смесях на основе синтетических каучуков / Т.Р. Гендлер, Д.Б. Богуславский, Г.М. Левит [и др.] // Каучук и резина. – 1972. – Т. 44, № 9. – С. 11–13.

2. Wilsey, C.D. Matrix composition with alkylphenazine quaternary salt and a nitrosoaniline: пат. 8008037 США / C.D. Wilsey, M. Ghoshal, H. Wieder. – 2011.

3. Yoopensuk, S. Photoactive azoimine dyes: 4-(2-Pyridylazo)-N, N-diethylaniline and 4-(2-pyridylazo)-N,N-dimethylaniline: Computational and experimental investigation / S. Yoopensuk [et al.] // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2012. – Vol. 86. – P. 538–546.

УДК 547.773

СИНТЕЗ ГАЛОГЕНАРИЛЗАМЕЩЕННЫХ ТРИАЗОЛИЛНИТРОЗОПИРАЗОЛОВ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИХ СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ

© Шаклеин М.В., Косицына А.С., Чижевская М.В.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: makarekmakarevich@mail.ru

Научный руководитель: Бобров П.С., канд. хим. наук, доцент
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

Ключевые слова: нитрозопиразол, циклоконденсация, триазолилпиразол.

Триазолилпиразолы и их производные – соединения, содержащие в своей структуре два азотсодержащих гетероароматических фрагмента, часто выступающих основой для лекарственных препаратов. При изучении литературы было выявлено, что триазолилпиразолы обладают различными видами биологической активности, среди которых – противораковая, антибактериальная, противомикробная и другие [1; 2].

Описанные в литературе биологически активные триазолилпиразолы получены циклоконденсацией 1,3-дикетонов с гидразинилтриазолами. Недавно нами впервые была проведена реакция циклоконденсации гидразинилтриазола с 2-изонитрозо-1,3-дикетоном, которая позволила ввести нитрозогруппу в 4-е положение пиразольного цикла и получить ранее неизвестный 4-амино-5-(5-(4-фторфенил)-3-метил-4-нитрозо-1Н-пиразол-1-ил)-4Н-1,2,4-триазол-3-тиол [3]. Целью данной работы стало расширение ряда перспективных триазолилнитрозопиразолов и подтверждение их строения методом ИК спектроскопии.

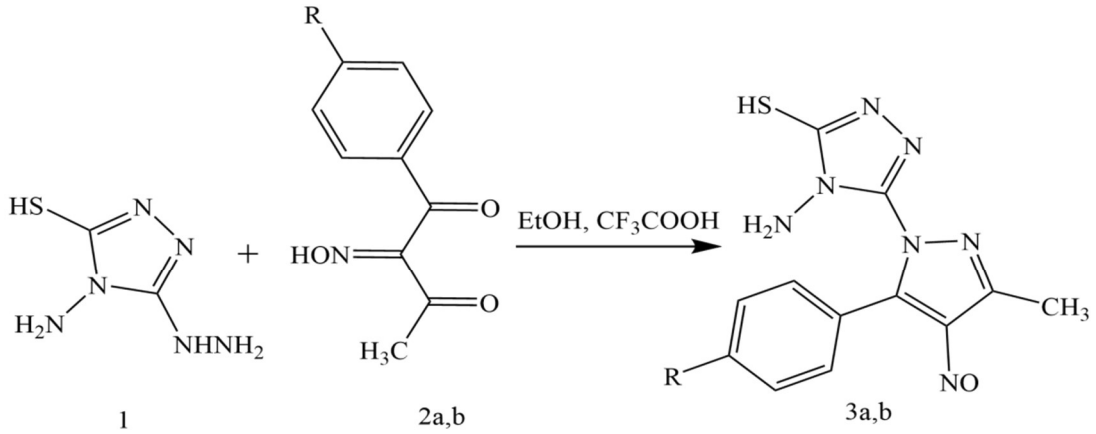


Рисунок 1 – Циклоконденсация 4-амино-3-гидразино-1,2,4-триазол-5-тиола с изонитрозодикетонами

Для реализации цели гидразинилтриазол синтезировали конденсацией тиомочевины с гидразином, а дикетоны – конденсацией Кляйзена с последующим нитрозированием по известным методикам. Синтез новых соединений осуществляли в соответствии с методикой, представленной в предыдущей работе [3] (рисунок 1). Для этого исходный гидразинилтриазол 1 вводили в реакцию с изонитрозодикетонами 2 в этаноле в присутствии трифторуксусной кислоты. Выходы обоих продуктов после очистки методом колоночной хроматографии составили 29 %. Рисунок 2 иллюстрирует наложение ИК спектров исходных веществ и продуктов для хлор- и бромпроизводных.

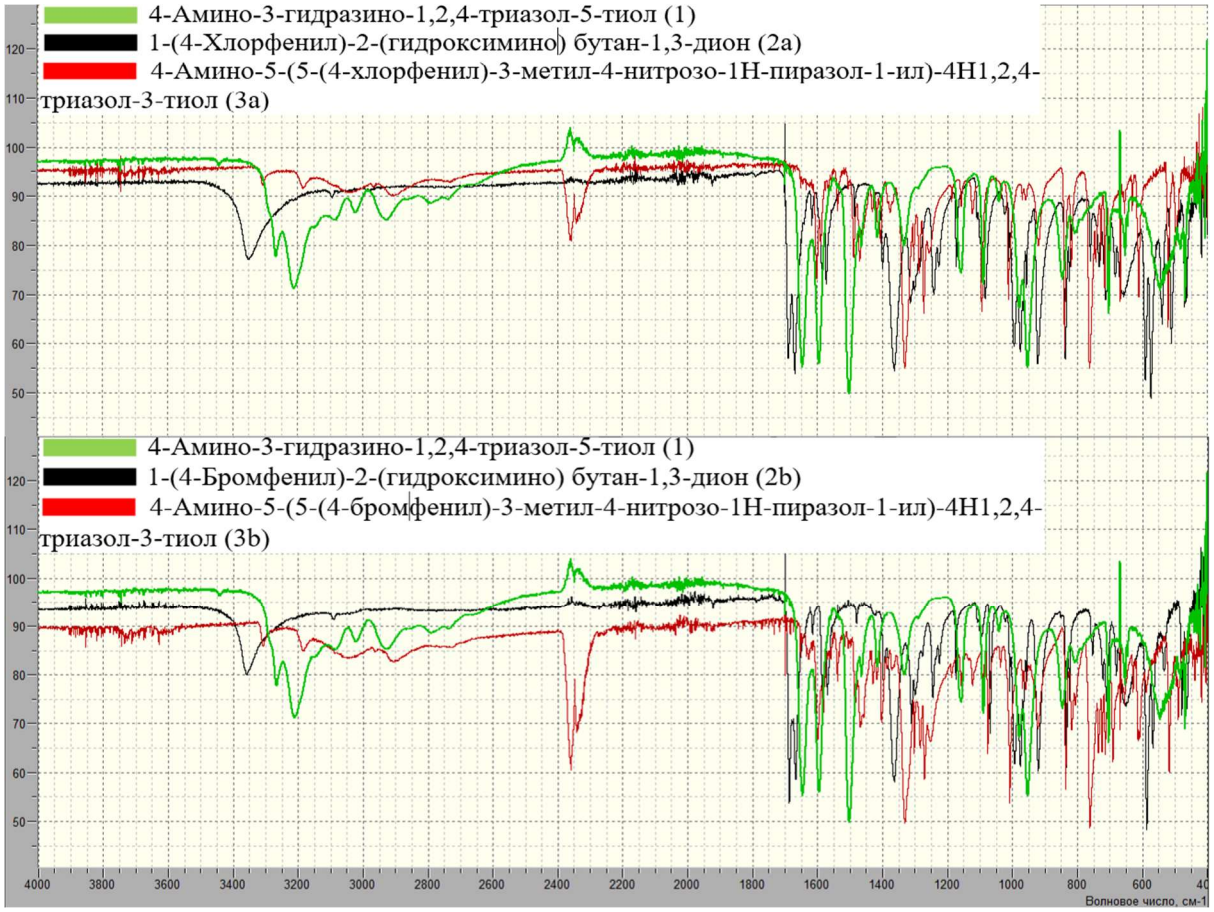


Рисунок 2 – Сравнение ИК спектров исходных и впервые полученных соединений

В области 3200–3300 см$^{-1}$ на спектре исходного соединения 1 присутствуют полосы поглощения, соответствующие гидразиновой группе, которые отсутствуют на спектрах впервые полученных 3a и 3b. На спектрах исходных изонитрозодикетонов 2a,2b имеются полосы поглощения карбонильных групп в области 1680–1700 см$^{-1}$, отсутствие которых в спектрах конечных продуктов указывает на успешную циклоконденсацию. Полученные продукты имеют полосу поглощения, характерную для нитрозогруппы мономерной формы в области 1540–1500 см-1 и димерной формы в области 1380–1340 см$^{-1}$, что соответствует литературным данным для нитрозопиразолов. В области 3400–3200 см$^{-1}$ у соединений 3a, 3b имеются две полосы поглощения, соответствующих первичной аминогруппе. Тиольная группа в полученном ряду соединений на спектре предположительно имеет сильно уширенную полосу поглощения в области 2600–2800 см$^{-1}$. Таким образом, в результате

проведённых исследований получено 2 ранее неизвестных нитрозосоединения гетероциклического ряда и подтверждено их строение методом ИК спектроскопии.

Библиографический список

1. Parameshwara, C.J. One-pot, Multicomponent Cascade Reaction for the Synthesis of Various Aralkyl/alkylthio-3,5-dimethyl-1H-pyrazolyl-4H-1,2,4-triazol-4-amine and Their Docking Studies / C.J. Parameshwara, A. Vinaykumar, P. Shyam, R.V. Rajeswar // Journal of Heterocyclic Chem. – 2019. – V. 3. – P. 1012–1019.

2. Sujatha, K. An efficient one-pot expeditious synthesis of 3-phenyl-1-(6-phenyl-7H-[1,2,4] triazolo[3,4-b][1,3,4] thiadiazin-3-yl)-1H-pyrazol-5-amines via multicomponent approach / K. Sujatha, P.D. Ravindra, K.K. Rajesh, P.B. Phanithi, R.V. Rajeswar // Synthetic Communications. – 2018. – P. 1-7.

3. Шаклеин, М. Циклоконденсация 2-гидразинилпиримидина с 2-гидроксимино-1,3-дикетонами / М. Шаклеин, П. Бобров // IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Химические проблемы современности»: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. – Донецк: Издательство Донец. гос. ун-та, 2025. – С. 228–230.

Секция 13
Актуальные проблемы современной биологии

УДК 639.3.05

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ УЗВ В КФХ «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР»

© Алькановa И.П.[1], Захаров В.В.[1], Беленко Л.А.[1], Земскова Н.Е.[1], Ковнир О.Ю.[2]

[1]*Самарский государственный аграрный университет, г. Кинель, Российская Федерация*
[2]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: alkanovairinaaaa@mail.ru

Ключевые слова: установка замкнутого водоснабжения, гидрохимический режим, рыбоводство.

Вследствие ухудшения качества воды, уничтожения привычных мест обитания, вредных выбросов и экологических катастроф - многие виды гидробионтов погибают или теряют свой генетический потенциал. Именно поэтому важно содержать рыб в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), где поддерживается баланс химических элементов и происходит ежедневный контроль показателей среды обитания.

Гидрохимический режим – это основа и главный фактор успеха любой УЗВ. Это не просто набор параметров, а динамическая и сбалансированная система, которую необходимо постоянно контролировать и управлять ею (см. таблицу).

Самыми главными показателями являются кислород, углекислый газ, кислотность (pH) и щёлочность, также особое внимание стоит уделять триаде азота [2].

Таблица – Гидрохимический режим в установках замкнутого водоснабжения [4]

Показатель	Референсные значения	Показатели УЗВ
Нитраты, мг/дм^3	1–5	0
Нитриты, мг/дм^3	0,02	0
Аммоний мг/дм^3	1,0	0,5
Кислород мг/дм^3	6,0–9,0	8,0
Углекислый газ мг/дм^3	10–15	11
pH	6,5–8,5	6,5±0,25

Кислород: Оптимальная концентрация: > 5–6 мг/л (для большинства видов лососевых и осетровых — ближе к 7–9 мг/л).

Углекислый газ: образуется в результате дыхания рыб и нитрифицирующих бактерий. Высокие концентрации токсичны и мешают усвоению кислорода (газовый наркоз). Вызывает респираторный ацидоз, подавление роста, повышенную чувствительность к болезням. Удаление: Специальные дегазаторы (струйные колонны). В них вода разбрызгивается в потоке воздуха, и CO_2 уходит в атмосферу.

Азотистые соединения (аммоний, нитриты, нитраты) представляют собой главную экологическую и физиологическую опасность [1; 4], так как являются прямыми продуктами метаболизма рыб и разложения органики. Их накопление приводит к нарушениям нервной системы рыб, разрушает клетки жаберного эпителия [3] и наносит прямой вред гидробионтам.

Библиографический список

1. Быков, Ю.А. Водная токсикология и санитарная гидрохимия в аквакультуре / Ю.А. Быков, А.В. Журавлева. – СПб.: Лань, 2021. – 256 с.

2. Пономарев, С.В. Индустриальная аквакультура: учебное пособие / С.В. Пономарев, Л.Ю. Лагуткина. – Астрахань: АГТУ, 2021. – 289 с.

3. Иванов, А.П. Основы рыбоводства в установках замкнутого водоснабжения / А.П. Иванов. – М.: КолосС, 2018. – 320 с.

4. Методические указания по гидрохимическому анализу вод рыбоводных хозяйств / ФГБНУ «ВНИРО». – М., 2018. – 64 с.

УДК 636.32/.38, 616.15

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ СУСПЕНЗИИ МИНЕРАЛЬНОГО КОСТНОГО КОМПОНЕНТА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ОВЕЦ

© Барыкина А.М., Кирова А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

e-mail: Barykinanastya2004@mail.ru, kirovaanastasia615@gmail.com

Научные руководители: Писарева Е.В., канд. биол. наук, доцент, Власов М.Ю., канд. биол. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: минеральный костный компонент; активность ферментов; фотометрический метод; активатор свёртывания; лактация.

Обоснование. Старение населения во всем мире – неизбежная демографическая тенденция, которая имеет далеко идущие последствия для здравоохранения. Гериатрические ортопедические заболевания, которые включают в себя ряд нарушений, поражающих опорно-двигательный аппарат пожилых людей, стали основной причиной общего бремени болезней. В связи с чем возникает необходимость в подборе безопасных препаратов, направленных на нормализацию регуляции обмена костной ткани. Минеральные вещества (кальций, фосфор, магний и др.) играют ключевую роль в обмене веществ, формировании костной ткани, работе нервной и мышечной систем, на примере сельскохозяйственных животных.

Цель. Исследование влияния минерального костного компонента на активность ферментов в сыворотке крови и биохимические показатели крови овец после внутримышечного введения суспензии минерального костного компонента.

Методы. Исследование проведено на овцах породы «Куйбышевская» (Ovis aries), в количестве 12 шт., массой от 70 до 80 кг. На базе вивария Самарского государственного аграрного университета в поселке городского типа Усть-Кинельский, Самарской области. Особи были разделены на три группы контрольная, экспериментальные не беременные и экспериментальные беременные. Исследованию подлежали биохимические показатели крови овец, такие как холестерин, креатинин, мочевина, триглицериды, общий белок, альбумин, глюкоза, фосфат неорганический, общий кальций. Также в сыворотке крови определяли активность следующих ферментов: глутамилтрансфераза (ГГТ, GGT), аланинаминотрасфераза (АЛАТ, ALAT), аспартатаминотрансфераза (АСАТ, ASAT), лактатдегидрогеназа (ЛДГ, LDG) и креатинкиназа (СК). Определение этих показателей осуществлялось с использованием автоматического анализатора iMagic-S7 (фотометрический метод), вакуумных пробирок с сухими кристаллами диоксида кремния в качестве активатора свёртывания и набора биохимических реагентов для ветеринарии. Эксперимент длился сто четыре суток, в течение этого времени было произведено пять заборов крови и два введения минерального костного компонента. На вторые сутки после первого забора крови была введена инъекция минерального костного компонента (100 и 150 мг). Результаты действия препарата были оценены на 15-е сутки вторым забором крови и на 63-е сутки – третьим. Второе введение препарата проходило на 65-е сутки (100 и 150 мг). Действие второй инъекции оценили четвёртым и пятым заборами крови на 78-е и 104-е сутки соответственно. Третий и последующие заборы крови проводились у лактирующих животных.

Результаты. Биохимические показатели претерпевали незначительные изменения и колебались в пределах фоновых значений, а также после введения суспензии минерального костного компонента положительно разрешилась многоплодная и одноплодная беременности, нарушения лактации выявлены не были.

Выводы. В ходе изучения влияния минерального костного компонента при двукратном введении суспензии изменения содержания биохимических показателей и активности ферментов не выявлено.

УДК 636.32/.38, 616.15

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЖИВОТНЫХ ПОСЛЕ ВВЕДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА КОСТИ

© Горшкова М.А., Хамитова Я.Т.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

e-mail: marishka_gorshkova2005@mail.ru, xamitova2004@list.ru

Научные руководители: Писарева Е.В., канд. биол. наук, доцент, Власов М.Ю., канд. биол. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

Ключевые слова: минеральный костный компонент, гематологические показатели, овцы.

Обоснование. В настоящее время наблюдается рост патологий, вызванных нарушениями структуры костной ткани: остеопороз, посттравматические дефекты, возрастные дегенерации, что создаёт необходимость поиска безопасных и эффективных препаратов, стимулирующих регенерацию костной ткани и нормализующих минеральный обмен.

Особую значимость задача приобретает на фоне ограниченной доступности донорских материалов и увеличения объёмов хирургических вмешательств, связанных с восстановлением костных дефектов.

Цель. Исследование влияния минерального компонента кости (МКК) на гематологические показатели крови овец после внутримышечного введения суспензии МКК.

Методы. Тест-системой являются 12 здоровых овец породы куйбышевская. Эксперимент проводился на базе вивария Самарского государственного аграрного университета посёлка городского типа Усть-Кинельский Самарской области. Особи были разделены на 3 группы по 4 особи: контроль, экспериментальные небеременные, экспериментальные беременные. Тестовым особям вводились двукратные внутримышечные инъекции суспензии костного компонента в бедренную мышцу в объёме 5 мл на кг животного. Исследование проводилось в течение 104 дней. Введение суспензии осуществлялось на 2-е и 65-е сутки эксперимента. Взятие крови выполнялось однократно до первого введения суспензии и по два раза после каждой инъекции.

В данной работе проводился анализ следующих показателей: общее содержание гемоглобина, число эритроцитов в литре крови, гематокрит, средний объем эритроцита, концентрация гемоглобина в одном эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, общее содержание лейкоцитов, лимфоциты, моноциты, нейтрофилы и С-реактивный белок. Гематологический анализ крови проводился на базе лаборатории Центра доклинических испытаний НИИ «БиоТех» Самарского государственного медицинского университета на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-5160. С-реактивный белок определяли на планшетном иммуноферментном анализаторе Stat Fax 3200 с помощью набора реагентов «СРБ-ИФА». Забор крови проводился из яремной вены в вакуумные пробирки мини-мед с антикоагулянтом ЭДТА при помощи одноразовых инъекционных стерильных ветеринарных игл.

Результаты. Гематологические показатели претерпевали небольшие изменения, но находились в пределах фоновых значений.

Выводы. В ходе работы существенного влияния минерального компонента кости на изменение гематологических показателей не выявлено.

УДК 574.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ОВАРИАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ РЫБ СЕМЕЙСТВА *ACIPENSERIDAE* ВИДА *ACIPENSER RUTHENUS* В УСЛОВИЯХ УЗВ КРЕСТЬЯНСКО(ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР»

© Кононенко А.В.[1], Зубкова Ю.В.[1], Сарокваша В.Д.[2], Ковнир О.Ю. [1,2]

[1]*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация*
[2]*Крестьянско(фермерское) хозяйство «Волжский осётр», г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: kovnir.oyu@ssau.ru

Ключевые слова: липидный состав, овариальная жидкость, рыбы семейства *Acipenseridae*.

Рыбы семейства *Acipenseridae* являются представителями реликтовой ихтиофауны - они появились в нижнеюрском периоде более 200 млн лет назад и на сегодняшний день являются национальным богатством России. Вся продукция рыб осетровых пород имеет богатый белками, липидами и аминокислотами состав. Это делает побочные продукты получения икры ценным сырьем для косметологической, фармацевтической и других отраслей.

Цель работы – определение липидного состава половых продуктов рыб семейства *Acipenceridae* в зависимости от условий содержания, выращенных в установках замкнутого водоснабжения на предприятии «Волжский осётр» г.о. Самара.

Овариальная жидкость была получена методом прижизненного получения икры (доения), который позволяет сохранить поголовье самок для их многолетнего использования. Искусственная стимуляция «родов» производилось методом стимуляции полового созревания рыб-производителей с применением инъекций измельченного гипофиза карпа. Рыб подготавливали к нересту по схеме дробных инъекций, при которых доза препарата делится на равные части, вводимые рыбе через определенные промежутки времени. Овариальная жидкость вместе с икрой откидывалась на сухое сито и после подвергалась заморозке [1].

Метиловые эфиры жирных кислот и свободные жирные кислоты овариальной жидкости рыб семейства *Acipenceridae* вида *Acipenser ruthenus* анализировали методом газовой хроматографии. Метилирование проводили по методу Моррисона и Смита. Силикагель, содержащий индивидуальные фосфолипиды соскребали в пробирку со шлифом, заливали 4 мл смеси хлороформ/метанол (2/1). Элюирование проводилось при постоянном перемешивании на магнитной мешалке (12 ч.). Супернатант сливали в пробирку со шлифом. Растворитель выпаривали и к сухому остатку липидов приливали 3 мл метанола, 50 мкл трехфтористого бора в метаноле и 10 мкг маргариновой кислоты. Пробирки плотно закрывали и помещали в термостат с температурой 64°С на 1 час. Затем пробы охлаждали, в каждую пробирку добавляли 1,5 мл воды, 2 мл гексана и 1,5 мл соляной кислоты. Пробирки закрывали, энергично встряхивали 3 мин и центрифугировали при 3000 об/мин в течение 5 мин. Верхнюю фазу, содержащую метиловые эфиры, отбирали и выпаривали в канюле током азота. Метиловые эфиры растворяли в 10 мкл гексана. Разделение метиловых эфиров жирных кислот проводили на газовом хроматографе SHIMADZU GC-2010 Plus AF (Япония). Скорость пропускания газа устанавливали следующие: водород – 40 мл/мин, воздух – 400 мл/мин. Давление азота было постоянным – 49,5 кПа. Температура испарителя – 225°С, детектора – 250°С, колонок не выше 240°С. При разделении смеси веществ применяли метод нелинейного программирования температур, т.е. программа включала несколько линейных

участков с разной скоростью нагрева: Т1 = 100°С; время удерживания 4 мин; Т2 = 240°С; скорость нагрева 3°С/мин в течение 10 мин, время анализа – 49 мин [2–4].

Количественный анализ проводили методом внутреннего стандарта. В качестве внутреннего стандарта использовали маргариновую кислоту.

При оценке полученных результатов изученных спектров жирных кислот полостной жидкости Acipenser ruthenus L. на газовом хроматографе SHIMADZU GC-2010 Plus AF нами были обнаружены 20-ть жирных кислот, 14 из которых были обнаружены во всех образцах, при этом, разница концентраций 11 из этих кислот статистически подтверждена. А именно это кислоты: ундециловая, лауриновая, тридекановая, миристиновая, миристолеиновая, пальмитиновая, пальмитолеиновая, стеариновая, арахиновая, бегеновая, лигноцериновая. При этом данные по разнице концентрации кислот статистически достоверны с уровнем значимости $p < 0,001$: стеариновой, арахиновой, лигноцериновой. Соотношение омега 3:6:9 составляет 17:1:1.

Библиографический список

1. Сытова, В.М. Овариальная жидкость осетровых рыб – перспективноесырье для получения БАВ / В.М. Сытова, Е.Н. Хоренко // Рыбпром. –2007. – № 3. – С. 41–43.

2. Morrison, W. R. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol / W.R. Morrison, L.M. Smith // J. Lipid Res. – 1964. – Iss. 5. – P. 600–608.

3. GC–2010 Plus // Shimadzu Europa GmbH Moscow office. – 24 p.

4. Подушка, С.Б. Получение икры у осетровых с сохранением жизни производителей / С.Б. Подушка // Научно-технический бюллетень ихтиологии ИНЭНКО. – СПб., 1999. – Вып. 2 – С. 4–19.

УДК 577.18.08, 612.751.1

ПОЛУЧЕНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

© Мухаметшин А.И., Языкова М.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yazykovasamgu@mail.ru

Ключевые слова: антибактериальный композит, наночастицы металлов, природные полимеры, синтез полимерных композитов.

Технологии получения новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками утверждены Указом Президента РФ от 18.06.2024 № 529 [1]. К подобным материалам относятся и нанокомпозиты с антибактериальными свойствами, требующиеся в различных областях промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Об интересе к данной проблеме свидетельствует растущий рынок плёночных нанопокрытий, который в 2024 году оценивался в 1,75 миллиарда долларов, также ожидается, что к 2033 этот рынок вырастет до 4,50 миллиардов долларов [2]. Однако сложности их синтеза и применения состоят в использовании токсичных реагентов и агрегации наночастиц входящих в их структуры. В частности, это касается наночастиц металлов, обладающих антибактериальными и противовирусными свойствами, имеющих чрезвычайно малый размер, большое соотношение поверхности к объему, и другие размерные эффекты, что определяет эффективность их действия. Ограничения доступа к рынку и высокая стоимость подобных покрытий в условиях санкционного давления требует новых подходов к синтезу собственных полимерных композитов с включением стабилизированных наночастиц металлов, являющихся экологически безопасными и обеспечивающие сохранность посевного материала. Данные композиты также относятся к приоритетному направлению научно–технологического развития: Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство.

Целью данного исследования являлось получение антибактериального композита на основе наночастиц серебра и меди стабилизированных гуматом натрия и включенных в матрицу природного полимера альгината, а также изучение антибактериальной активности полученных плёночных покрытий.

Для синтеза гумата натрия использовали бурые угли. Химический состав гумата натрия включает в себя различные функциональные группы, такие как гидроксильные (-OH), кетоновые (C=O) и другие, что было подтверждено методом ИК-спектроскопии. Полученный спектр характеризуются широкой и интенсивной полосой в области 3600–3100 см-1, валентные колебания (H_2O, спирты, фенолы), -OH (гидроксилы), включает воду и фенольные -OH группы. Пик поглощения при 1650–1630 см-1, характерен для амидной группы, вероятной примеси, содержащейся в углях. В области 1400–1380 см-1 наблюдаются симметричные колебания (C-O), $-COO^-$ (карбоксилаты), что подтверждает наличие солевых форм. В области 1630–1580 см-1 асимметричные колебания (C=O), COO^-(карбоксилаты), основной пик характерный для гуматов [3]. В данном исследовании проводили анализ альгината натрия от компании ООО «ТД СТОИНГ» с помощью ИК-спектроскопии. Полученный спектр характеризуется широкой полосой 3600–3000 см-1, обусловленной валентными колебаниями O–H и C–H связей. Пики 1608 и 1413 см-1 обусловлены асимметричными и симметричными валентными колебаниями карбонильной группы. Полоса, соответствующая 1028 см-1 в основном связана с валентными колебаниями C–O связи. Полоса при 944 (946) см-1 относится к валентным колебаниям C–O остатков гулуроновой кислоты, тогда как полоса при 819 (820) см-1 характерна для альгината натрия и

характерна для остатков маннуроновой кислоты [4]. Наночастицы серебра получали в матрице альгината восстановительным синтезом с помощью боргидрида натрия. Для дополнительной стабилизации полученных наночастиц серебра добавляли 3 %-ный раствор гумата натрия. Для определения размерности и распределения наночастиц в матрице использовали сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra – 25. Морфология образцов определялась в режиме вторичных электронов SEI. Синтез наночастиц меди проводили методом химического восстановления из нитрата меди, используя в качестве восстановителя раствор глюкозы, стабилизатора 3 %-ный раствор гумата натрия, и раствор этиленгликоля. Далее получали композит, содержащий как наночастицы серебра, так и наночастицы оксида меди.

По результатам СЭМ синтезированные наночастицы серебра обладали сферической формой и размерностью в диапазоне от 40 до 80 нм, наночастицы равномерно распределялись в матрице альгината. Полученные наночастицы CuO имели размеры 60–120 нм, неправильную или кубическую форму, типичную для данного оксида. Получение композита с наночастицами Ag-CuO оказалось успешным, что подтверждается данными микроскопии, где четко идентифицируются частицы обоих типов с характерными размерами и морфологией.

Изучение антибактериальной активности полученных наночастиц проводили методом серийных разведений, используя штаммы микроорганизмов *Micrococcus luteus* и *Escherichia coli.* Оценивая количество колонии образующих единиц при инкубации полученных композитов в разведениях 2, 4, 8, 16 и 32 раза в течение 180 минут, температуре 37°C определяли эффективность антибактериальной активности композитов.

В результате исследования было установлено, что минимальная бактерицидная концентрация относительно культуры *Escherichia coli* составила 0.135 ppm на мл и наблюдалась у наночастиц серебра стабилизированных гуматом натрия и включённых в альгинатную матрицу. Меньшим эффектом обладал композит, содержащий альгинат и гумат, а также наночастицы серебра и оксида меди, его минимальная бактерицидная концентрация составила 0,215 ppm на мл у наночастиц серебра и 2.525 ppm на мл для наночастиц оксида меди. Ещё менее выраженным действием обладал композит наночастиц серебра включённых в альгинатную матрицу без гумата натрия, его концентрация составила 0,54 ppm на мл. В случае *Micrococcus luteus* все исследуемые композиты проявляли минимальную бактерицидную концентрацию при разведении 1:16. Высокая чувствительность *Micrococcus luteus* к данным композитам вероятно объясняется отсутствием внешней мембраны и ключевых защитных механизмов, характерных для грамотрицательных микроорганизмов (таких как липополисахаридный слой и эффлюксные насосы).

Библиографический список

1. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня Критических технологий: указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 // ГАРАНТ: информационно правовая система. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755 (дата обращения: 06.08.2025).

2. Verified Market Reports. Антибактериальная пленка // Рынок: глобальный анализ и прогноз. – URL: https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/antibacterial-film-market (дата обращения: 06.05.2025).

3. Кукса, А. Д. Гуминовые кислоты: инновации и перспективы использования / А.Д. Кукса, И.А. Потапова // Молодой ученый. – 2025. – № 15 (566). – С. 39-42. – URL: https://moluch.ru/archive/566/123961 (дата обращения: 06.08.2025).

4. Верещагин, А.Л. Гелеобразование в системе альгинат натрия-сульфат кальция – пирофосфат натрия с инертным наполнителем и свойства образующихся гидрогелей / А.Л. Верещагин, Е.А. Кукарина, Е.А. Морозова, Н.В. Бычин, Е.В. Грешных // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 3 (31). — С. 9–17. – DOI: 10.25699/SSSB.2020.21.3.002.

УДК 577.18.08, 612.751.1

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

© Языкова М.Ю., Габрелян А.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yazykovasamgu@mail.ru

Ключевые слова: наночастицы золота, синтез, морфологические характеристики, антибактериальная активность, потенциал применения.

Золото и его соединения использовались человеком в течение длительного исторического периода [1]. Несмотря на то, что золото относится к самым древним объектам научных исследований, основные достижения были сделаны сравнительно недавно и связаны с получением наночастиц золота различной геометрии и размеров. Наночастицы золота, наиболее стабильные из всех видов наночастиц, имеют большой потенциал применения в таких областях экономики, как производство полупроводников, медицина, сенсорная техника, экология, автомобилестроение, строительные материалы, биотехнология, химия, авиация, космонавтика, машиностроение и многих других [2].

Современные научные исследования показали, что наночастицы золота повышают способность кожи к поглощению влаги, витаминов, аминокислот, минералов, кислорода. Создавая эффект проводимости, биозолото улучшает питание кожи, активизирует обменные процессы, обеспечивает длительный увлажняющий эффект, способствует регенерации клеток, повышает эластичность и упругость кожи, предохраняет кожный покров от нежелательных возрастных изменений [3]. В биомедицине наночастицы золота применяются для изучения транспорта веществ в клетку путем эндоцитоза для доставки генетического материала в клеточное ядро [4].

Несмотря на широкое применение наночастиц золота в косметической промышленности, существует противоречивое мнение об их антибактериальной активности, в связи с чем в косметическую продукцию добавляют различные консерванты с целью подавления патогенной микробиоты. В связи с этим существует необходимость с одной стороны совершенствовать технологию производства наночастиц золота с другой стороны изучить их антибактериальный потенциал [5].

Целью данного исследования являлось получение наночастиц золота, изучение их морфологии и антибактериальной активности.

Наночастицы золота получали восстановительным синтезом из $HAuCl_4$ с аскорбатом в качестве восстановителя и поливинилпиролидоном в качестве стабилизатора.

Спектрофотометрическим методом определяли наличие наночастиц. Измерение проводили в видимой области спектра на спектрофотометре Agilent Cary 60 относительно дистиллированной воды при длине волны 395 -600 нм. Полное восстановление наночастиц золота соответствовало пику при 505 нм.

Для определения формы, размеров и распределения наночастиц использовали сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss Supra 25. Морфология образцов определялась в режиме вторичных электронов SEI [5–9].

Изучение антибактериальной активности полученных наночастиц проводили методом диффузии с диска в агар, использовали штаммы микроорганизмов *Micrococcus luteuss* и *Escherichia coli.* Оценивая размеры появившихся зон ингибирования вокруг образцов после 24 часов инкубирования, определяли эффективность антибактериальной активности наночастиц.

В результате исследования было установлено, что синтезированные наночастицы золота имели пирамидальную форму и размер в диапазоне от 50 до 400 нм (см. рисунок).

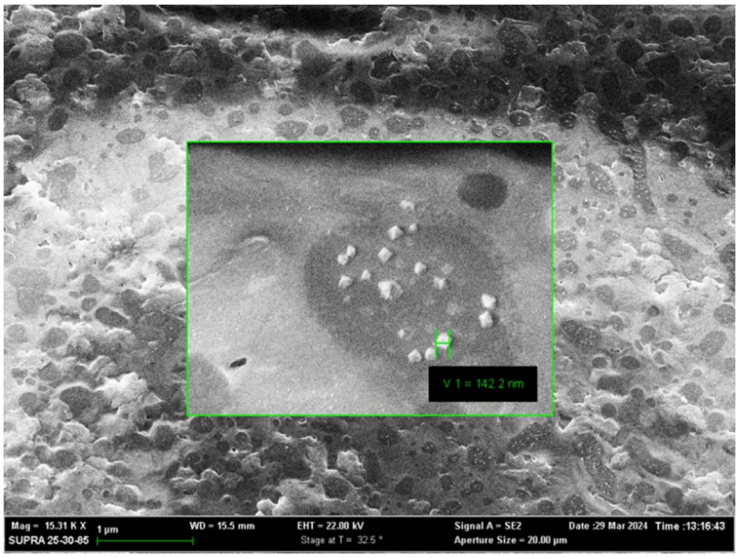


Рисунок – СЭМ-изображение полученных наночастиц золота

Наночастицы золота, стабилизированные поливинилпиролидоном были получены в концентрации 210 ppm и проявили слабо выраженную антибактериальную активность. По отношению к *E. coli* зона задержки роста составляла 14,01 ± 0,95 мм. Против *M. luteus* диаметр зон лизиса составил 13,10 ± 0,60 мм. Для усиления антибактериального эффекта AuNPs могут использоваться в качестве платформ для различных соединений: большая площадь поверхности наночастицы обеспечивает возможность компактного размещения молекул, выполняющих дополнительные антибактериальные функции.

Библиографический список

1. Dube, R.K. Gold powder: Its preparation & application as described in ancient Sanskrit texts / R.K. Dube // Gold Bulletin. – 1991. – № 24 (3). – P. 95–102.

2. Азоев, Г.Л. Оценка деятельности нанотехнологических научно-образовательных центров РФ / Г.Л. Азоев, Е.В. Сумарокова // Маркетинг. – 2011. – № 3 (118). – С. 3–13.

3. Форстер, Л. Нанотехнологии: наука, инновации и возможности / Л. Форстер. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

4. Черных, В.В. Сравнительный анализ методов синтеза наночастиц для лекарственных препаратов / В.В. Черных // Международный студенческий научный вестник. – 2014. – № 2. – С. 61–66.

5. Губин, С.П. Что такое наночастица? Тенденции развития нанохимии и нанотехнологии / С.П. Губин // Росс. хим. Журнал. – 2012. –Т. XLIV. – С. 121–131.

6. Zhang, X.F. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches / X.F. Zhang [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2016. – P. 1534–1623.

7. Yin, Zhai Drugging evolution of antibiotic resistance at a regulatory network hub / Zhai Yin [et al.] // Science Advances. – 2023. – Vol 9, issue 25. – P. 1–10.

8. Agnihotri, S. Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5-100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy / S. Agnihotri, S. Mukherji // Rsc. Adv. – 2014. – P. 3974–3983.

9. Oprica, L. Citrate–silver nanoparticles and their impact on some environmental beneficial fungi / L. Oprica [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2020. – P. 3365–3375.

УДК 574.24, 639.3.06

ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ СЕМЕЙСТВА *ACIPENSERIDAE* ВИДА *ACIPENSER RUTHENUS* В УСЛОВИЯХ УЗВ КРЕСТЬЯНСКО(ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР»

© Яруськина Я.Н., Языкова М.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yazykovasamgu@mail.ru

Ключевые слова: аминокислотный состав, мышечная ткань, рыбы семейства *Acipenceridae*, биохимические особенности.

Осетровые породы, от которых зависит разнообразие и качество пищевых продуктов, находятся под серьезной угрозой исчезновения вследствие интенсивного вылова, загрязнения среды обитания и изменения климата. В этой связи становится особенно важным глубокий анализ их аминокислотного состава, позволяющий оценить, какие ценные питательные вещества мы теряем с сокращением их популяции. Несмотря на значимость, научное сообщество по-прежнему испытывает дефицит данных о аминокислотном профиле мышечной ткани осетровых, что придаёт особую актуальность дальнейшим исследованиям. Понимание состава аминокислот помогает определить потенциал восполнения жизненно важных микроэлементов и белковых компонентов для человеческого организма. Кроме того, осетровые ценны не только в пищевой отрасли, но и находят широкое применение в медицине и ряде других отраслей, что делает их сохранение и разведение особенно значимыми в условиях современных санкций и ограничений поставок. В этой критической ситуации искусственное разведение осетровых предстает как жизненно необходимый путь, способный обеспечить население качественным белком и поддержать экономическую стабильность [1–3].

Целью данного исследования являлось определение аминокислотного состава мышечной ткани рыб семейства *Acipenceridae* вида *Acipenser ruthenus* (стерлядь Волжская) в условиях выращивания в УЗВ предприятия «Волжский осётр» г.о. Самара Самарской области.

Для определения химического состава мышечной ткани стерляди была использована, мышечная ткань, помещенная в стерильную емкость, замороженная при -28°С. Испытания проводились по правилам ГОСТ 34132-2017. Образец высушили, обезжирили петролейным эфиром, измельчили до частиц <0,5 мм. Затем экстракционный раствор добавили в колбу, встряхивали 60 минут, центрифугировали и отобрали 10 см³ надосадочной жидкости. К раствору добавили сульфосалициловую кислоту, перемешали, фильтровали и центрифугировали. Далее очищенный раствор доводили до pH 2,2, добавлением соляной кислоты и гидролизовали при 110 °С: первый час – с открытой пробкой, затем 23 часа – с закрытой. После охлаждения раствор переносили в колбу с буфером, добавляли 2 см³ раствора норлейцина и 2 капли октанола. Смесь концентрировали в вакууме при 40 °С до 5–10 см³. В конце раствор доводили до 200 см³ буфером и перемешивали. Исследование было проведено с использованием аминокислотного анализатора Hitachi AAA-835 с применением метода жидкостной хроматографии на колонке Biosil-400. Общая протеолитическая активность растворимых белков, извлечённых из мяса осетровых, оценивалась по методике, предложенной М. Ансоном, при этом для определения подклассовой принадлежности протеолитических ферментов применялся ингибиторный анализ. Определение протеиногенных аминокислот в

мышечной ткани проводилось по методике М-04-38-2009, позволяющей оценить их суммарное содержание, включая свободные и связанные формы [4].

Исследование аминокислотного состава мышечной ткани стерляди позволяет выявить ключевые биохимические особенности. Обнаружены 17 заменимых и незаменимых аминокислот. Наибольшее процентное содержание аминокислот пришлось на лейцин и изолейцин 2,02 %. Эти незаменимые аминокислоты активно участвуют в синтезе белков и энергетическом обмене мышц. Их доминирование указывает на высокую биологическую активность мышечной системы стерляди. Заменимые аминокислоты, такие как серин (1,44 %) и пролин (1,32 %), обладают высокой концентрацией, подчёркивая их значение для стабилизации белковых структур. Наименьшее содержание в образцах мышечной ткани стерляди, выявлено триптофана 0,07 %, что, возможно, обусловлено его разложением при кислотном гидролизе – распространённой проблемой при анализе белков.

Также, получив результаты аминокислотного анализа мышечной ткани стерляди появилась возможность провести сравнительную аналогию с имеющимися исследованием в специальной литературе данными по половой продукции волжского осетра.

Сравнение аминокислотного состава икры и мышц стерляди показывает выраженное доминирование аминокислот в икре, что отражает её роль как матрицы для эмбрионального развития. Незаменимые аминокислоты – валин, лейцин, изолейцин, лизин, фенилаланин и треонин – в икре содержатся в 2–5 раз больше, чем в мышцах, обеспечивая интенсивный белковый синтез и регуляцию роста. Наличие триптофана (1,41 %) в икре и его отсутствие в мышечной ткани подчёркивают его значение для нейрогенеза и иммунной модуляции на ранних стадиях развития. Существенно повышены уровни метионина и цистина, отвечающих за антиоксидантную защиту и синтез метильных групп. Полу- и заменимые аминокислоты (аргинин, глутамат, аспартат, пролин, серин, глицин) также значительно выше в икре, что свидетельствует об активных процессах синтеза нуклеиновых кислот, белков соединительной ткани и регуляции клеточного метаболизма

Библиографический список

1. Уланов, Е.В. Сравнительная оценка выращивания русского осетра и его гибридов в условиях УЗВ: дис. … канд. сельскохоз. наук / Е.В. Уланов // Волгоградский государственный аграрный университет. – Волгоград, 2022. – 110 с.

2. Amino Acid Compositions of 27 Food Fishes and Their Importance in Clinical Nutrition / Mohanty B. [et al.]. – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25379285 (дата обращения: 06.05.2025).

3. Влияние экологических факторов на рыбоводно-биологические показатели осетровых в условиях замкнутого цикла водоснабжения в аридных условиях / М.А. Маммаев, М.М. Шихшабеков, Н.И. Рабазанов [и др.] // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24, № 1 (74). – С. 95–100. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32570982 (дата обращения: 06.08.2025).

4. Джабаров, М.И. Аминокислотный состав тканей различных видов рыб в онтогенезе и при изменении экологических условий / М.И. Джабаров. – М.: Изд-во ВНИРО, 2006. – 213 с. – URL: http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/2291.

СОДЕРЖАНИЕ

КАК НАУКА ПРИБЛИЗИЛА ПОБЕДУ НАД ФАШИЗМОМ: ОТКРЫТИЯ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ **3**

СЕКЦИЯ 1. КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ **10**

АНАЛИЗ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПО ДАННЫМ С ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ (ДУС) **11**
Белявская А.С., Советникова Е.Д.
ОРБИТАЛЬНЫЙ НАГРЕВ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА **12**
Вишневская В.Ю., Кауров И.В.
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ РАДИАТОРНОЙ ПАНЕЛИ **13**
Вязовик В.С., Кауров И.В.
КОСМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО **14**
Горынина К.А., Сафронов С.Л.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПИКОСПУТНИКОВ **16**
Горячкина В.Е., Кумарин А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ **19**
Евтушенко М.А.
СОЗДАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НАНОКЛАССА **21**
Жалдыбина О.Д., Старостина Т.В.
ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРИНГЕРА ОТ ВЕЛИЧИНЫ РАДИУСНЫХ ПЕРЕХОДОВ **24**
Заляев Р.А.
УНИФИКАЦИЯ И МОДУЛЬНОСТЬ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ **27**
Пономаренко Е.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ ТОПЛИВНОГО БАКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ **29**
Советникова Е.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЯ МИКРОУСКОРЕНИЙ НА БОРТУ МКА ТН НА КАЧЕСТВО МОНОКРИСТАЛЛА **30**
Танеева А.С.
СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ **32**
Учеватов В.И.
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА **35**
Шилохвостова К.В., Кумарин А.А.
ЛЁТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАКЕТЫ С АКТИВНОЙ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКОЙ **37**
Яковлева П.С., Ануфриев Г.А., Кумарин А.А.

СЕКЦИЯ 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ **39**

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ **40**
Алексеев А.В., Тимонин Ю.А., Горшков А.В., Шульга А.С., Жуков В.В.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБРАЗЦОВ РКТ НА УДАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ **44**
Баюшев С.В., Курунтяев П.А., Шульга А.С., Горбунов А.В., Жуков В.В.

ПРОЧНОСТНЫЕ КРИОГЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДСЕ РН С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ АВТОМАТИЗАЦИИ **46**
Глазецкий А.А., Кветкин А.А., Горбунов А.В., Шульга А.С., Жуков В.В.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ **50**
Де Алваренга Роберто
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ОКСИДА ВАНАДИЯ **52**
Долгушин Я.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭСР НА ПОВЕРХНОСТИ КА В УСЛОВИЯХ ИМИТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА **54**
Дубровский М.В., Тиньгаев В.С., Шульга А.С., Жуков В.В.
ВЫБОР МЕТАЛЛОПОРОШКОВОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И СВОЙСТВ ПОРОШКА **58**
Еремицкая К.Е.
АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ «ОТВОД» **61**
Исаев А.А.
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ LS-DYNA ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ОТВОД» В СЕКЦИОННОЙ МАТРИЦЕ **63**
Исаев А.А.
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, УПРОЧНЕННОГО ТУГОПЛАВКИМИ ЛИГАТУРАМИ **65**
Калинин В.А., Кириллова А.В.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАМЕРЫ-ДЕМОНСТРАТОРА РДМТ МЕТОДОМ АДДИТИВН ЫХ ТЕХНОЛОГИЙ **66**
Кудрявцев Н.А., Балабанов А.Л.
ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ТРЁХПЕРЕХОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛИ СО СФЕРИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ЧАСТЬЮ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ2М, РЕАЛИЗОВАННОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ **69**
Ласкин Е.П., Казаков А.В.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АНИЗОТРОПИИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЁТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ТОНКОСТЕННОЙ ОКРУГЛОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг2 ..... **72**
Ласкин Е.П., Казаков А.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАСПЛАВ **75**
Минебаев А.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LS-DYNA **77**
Михайлов А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16 ЛИГАТУРАМИ Al-Si_3N_4 ..... **79**
Осетров Н.Е., Кузина А.А.
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ **81**
Охапкин Ю.С., Иванус Е.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА «ПОЛУСФЕРА» ПРИ ВЫТЯЖКЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LS-DYNA **84**
Пашнин М.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ..... **86**
Пронина-Репованян М.Р.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ С ШИРОКИМ ФЛАНЦЕМ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т **88**
Синичкин А.С.
СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ **90**
Скороумов А.К., Черников Д.Г.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ МЕТОДОМ WAAM С ОДНОВРЕМЕННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ **93**
Скороумов А.К., Черников Д.Г.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ **96**
Солдаткина О.А.
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИБКИ V-ОБРАЗНОЙ ДЕТАЛИ ИЗ СПЛАВА ОТ4 ..... **98**
Трифонов А.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ РКТ **100**
Уклеин Р.В., Китаев А.А., Шульга А.С., Жуков В.В.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДЕТАЛИ ВО ВРЕМЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ КОЛМОГОРОВА И LS-DYNA **103**
Фомичев Д.С., Николенко Кон.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ СПАЯ НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОРОТКОАРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ **105**
Чертыковцева В.О.

СЕКЦИЯ 3. АЭРОДИНАМИКА, ДИНАМИКА ПОЛЕТА, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ **107**

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ МАЛОГАБАРИТНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА **108**
Акимченко У.В.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ВЫСОТЫ ОРБИТЫ НАНОСПУТНИКА СТАНДАРТА КУБСАТ 6U С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСРЕДНЁННЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ **110**
Баранова В.Р.
НАЦЕЛИВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ РОТОРОВ **111**
Голушкова А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНГЛЕТОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ **112**
Каучакова М.А.
СИНТЕЗ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОРАЗМЕРНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА **115**
Колесникова В.Е.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МКА С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ПОТОКА **117**
Маршалкина А.С.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ НАНОСПУТНИКА СТАНДАРТА CUBESAT ПОД ДЕЙСВИЕМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО, ГРАВИТАЦИОННОГО И СЛУЧАЙНОГО МОМЕНТОВ **119**
Миронов Е.
ДИНАМИКА ГИРОСТАТА В ПОЛЕ ПЕРЕМЕННЫХ СИЛ **121**
Морина З.В.
ТРАНСФЕР МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФОБОСА И КВАЗИСПУТНИКОВЫМИ ОРБИТАМИ **123**
Романенко А.В.
СБЛИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ **124**
Симашкина М.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «АИСТ» **125**
Спирина Н.А.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА **127**
Чаловский Н.А., Кумарин А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ ЭКРАНОПЛАНА НА ПРОДОЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ **129**
Чеснаков А.В.
РАСЩЕПЛЕНИЕ ГЕТЕРОКЛИНИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ В УГЛОВОМ ДВИЖЕНИИ СПУТНИКА-ГИРОСТАТА **132**
Чуйко А.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКОВ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ..... 134
Яковлева П.С., Кумарин А.А.

СЕКЦИЯ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ 135

POSSIBLE APPLICATION OF THE OPERATING PRINCIPLE OF AN ADAPTIVE COMPLIANT WING IN CERTAIN UNITS WITH VARIABLE GEOMETRIC CHARACTERISTICS..... 136
Bagapov R.I.
АНАЛИЗ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЛОК ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ 138
Болдырев А.В., Золотов Д.В.
МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ КАРТЫ ПОТОКА ПРОЦЕССА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ..... 141
Гвоздева П.С.
АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СРЕДСТВАМИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ 144
Лёвин Ю.С.
ПЕРЕВОЗКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ КИТАЯ В РОССИЮ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ..... 147
Нефедова В.Д., Кропивенцева С.А.
КОНЦЕПЦИЯ КОНВЕРТИРУЕМОГО САМОЛЁТА МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СО СМЕННЫМ МОДУЛЕМ ФЮЗЕЛЯЖА 148
Одинцов М.А.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ШАБЛОНОВ ТИПОВЫХ СЕКЦИЙ 150
Ткаченко А.А.

СЕКЦИЯ 5. ТЕОРИЯ, КОНСТРУКЦИЯ, НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ..... 152

INVESTIGATION OF THE RESIDUAL STRESS STATE OF MEDICAL PARTS MADE OF VT-6 MATERIAL BY THE SLS METHOD 153
Davydova S.O., Kulikov S.V.
DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING A PART OF THE FLANGE..... 154
Golomazova A.O., Davydova S.O., Kulikov S.V.
MOTEURS RUSSES MODERNES 155
Mysov K.D., Merkulova L.P.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫХЛОПНОГО ЭЖЕКТОРНОГО НАСАДКА НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС МГТД..... 157
Алексенцев А.А., Милешин Е.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВО ВХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО КОНСТРУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КПД КОМПРЕССОРА ТУРБОВИНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 160
Гатауллина Е.Д., Якимов А.Е.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В РЕШЁТКАХ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ ОСЕВЫХ ТУРБИН..... 162
Ильин И.М.
РАСЧЕТ КРЫЛА БПЛА НА ПРОЧНОСТЬ..... 165
Липатов Н.С.
РАСЧЁТНАЯ ДОВОДКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛОВОГО АППАРАТА С КОНВЕКТИВНО-ПЛЁНОЧНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ..... 168
Мельников С.А., Бинь Т.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕОМЕТРИИ ОТВОДЯЩЕГО КАНАЛА ЗА ЦЕНТРОБЕЖНЫМ КОМПРЕССОРОМ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ..... 170
Петров С.Е.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МИКРОТУРБИН 172
Щербань А.И., Зубанов В.М., Ильин И.М.

СЕКЦИЯ 6. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ 174

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОПУСКНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ ФОРСУНОК АИ-20 175
Абдрашитов Н.В., Саликов В.И.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТАДИИ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ БЫСТРОРЕЖУЩЕГО РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 45 177
Антипов К.С., Зотов В.А.
ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ ЛОПАТОК ЗАВИХРИТЕЛЯ НА ЭМИССИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ГАЗОВОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 4 МВТ 180
Архипов Д.А., Желтов К.В.
ДОВОДКА КОНСТРУКЦИИ ОХЛАЖДАЕМОГО ПРОБООТБОРНИКА 182
Ган Е.О.
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ УЗЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ 184
Гусев Д.В., Олехвер А.И., Гавричев И.В., Рожков М.С.
КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ 187
Еремицкая К.Е.
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТОВ 190
Зотов В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ СУРРОГАТА АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА И ЕГО КОМПОНЕНТОВ 193
Колобова О.А., Демидова М.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ БИОТОПЛИВА НА НОРМАЛЬНУЮ СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ 195
Конюхов К.Д., Ермошкин В.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ 197
Лебедев В.И., Григорьев С.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАГЛЯДНОГО МАКЕТА ПЛАНЕТАРНОЙ СТУПЕНИ РЕДУКТОРА 199
Левкович В.Ю., Власова П.М., Соколова В.Д.
АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ 8D МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 201
Лузик А.Д.
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУРРОГАТА КЕРОСИНА В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ 204
Паницков А.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРУЧЕННОГО ТЕЧЕНИЯ 206
Пашкова Н.Д., Чуприн Г.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ 209
Персиянцев К.С.
ВНЕДРЕНИЕ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА 211
Сидорова А.Н.
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТАНО-ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В МОДЕЛЬНОЙ ОДНОГОРЕЛОЧНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ 213
Сергеев И.А.
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 215
Фролова А.С.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОР И НЕСПЛАВЛЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ 218
Шарфутов М.В.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ СЫРОЙ НЕФТИ В ГАЗОВОМ КОТЛЕ МОЩНОСТЬЮ 4 МВТ 220
Этенко С.А., Карпов А.Д.

СЕКЦИЯ 7. ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 222

DER EINFLUSS DER DISKRETISIERUNGFREQUENZ BEI N-PSK-SIGNALEN AUF DIE QUALITÄT EINES KOMMUNIKATIONSSYSTEMS 223
Shipulya A.D., Martynova O.N.
DEVELOPMENT OF ON-BOARD ELECTRONICS FOR A GUIDED ROCKET MODEL 224
Yudanova E.S., Davydova S.O.
РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ КОНСТРУКТОРА МИНИАТЮРНЫХ РАКЕТ MINIROCKET 225
Ануфриев Г.А., Яковлева П.С., Кумарин А.А.
АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В СПОРТЕ 227
Арсентьева А.И.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ СПЕКТРОМЕТРА АТМОСФЕРНОГО АППАРАТА 229
Бухвалов А.И., Кумарин А.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ 231
Вершинин Д.А., Серко П.А.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ И ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ 234
Вершинин Д.А., Серко П.А.
ЭЛЕКТРОНИКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ МАНЕВРИРОВАНИЯ НАНОСПУТНИКА 236
Соборницкая А.Н., Кумарин А.А.
АТМОСФЕРНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 238
Фурсин И.А., Полубояринов В.М., Кумарин А.А.

СЕКЦИЯ 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АНАЛИЗ ДАННЫХ 241

УДАЛЕНИЕ ТЕНЕЙ С АЭРОФОТОСНИМКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 242
Альгашев Г.А., Кремущенко П.А.
МОДЕЛЬ ТРАФИКА СЕМАНТИЧЕСКОГО КЭША В ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ 244
Батыршина Я.А.
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ И ПОДСЧЕТА ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ 247
Буланов В.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ КОМПАНИИ 248
Гаврин В.А., Сурков А.С.
РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАТОРОВ 250
Дворянчиков Д.И.
ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ 253
Должиков Д.П.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ОПИСАНИЯ ТОВАРОВ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА 256
Дудникова Н.А.

О МЕТОДЕ РАСЧЕТА ВИДИМОСТЕЙ СЪЁМКИ ... **258**
Евсеев В.П.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕНЕРАЦИИ ИГРОВЫХ РЕСУРСОВ ... **261**
Иванов А.А.
РАЗРАБОТКА TELEGRAM-БОТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУППЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕПАРТАМЕНТА ИТ БЛОКА «КОРПОРАТИВНО-ИНВЕСТИЦИОННЫЙ БИЗНЕС» ПАО «СБЕРБАНК» ... **264**
Ильметов С.С.
СОЗДАНИЕ КОНСОЛЬНОЙ ИГРЫ СУДОКУ ПРИ ПОМОЩИ ЯЗЫКА C++ ... **266**
Карих Н.Н., Рудяга Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ... **267**
Киркиж Л.В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ПАТЕНТНОГО ПОИСКА ... **269**
Пишков Н.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПАТЕНТНОГО ПОИСКА ... **271**
Пишков Н.В., Кауров И.В.
РАЗРАБОТКА ТЕЛЕГРАМ-БОТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРАТКОГО СОДЕРЖАНИЯ ИЗ АУДИОФАЙЛОВ ... **272**
Пишков Н.В., Мамонтов Е.В., Григорьева Б.Г.
УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ЛОГИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ... **274**
Полубояринов В.М., Кумарин А.А.
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДАННЫХ С ЧЕРТЕЖЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ... **275**
Сербина В.О., Печенина Е.Ю., Печенин В.А.
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО САЙТА-КАТАЛОГА ДЛЯ ПРОДАЖИ ПЕЧЕНЬЯ ... **278**
Соколова А.Д., Мотяков Д.Д.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ ... **280**
Янкин И.Ю.

СЕКЦИЯ 9. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В МЕХАНИКЕ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ В АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ ... **283**

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИЗОЛИНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ... **284**
Анисимов Г.С., Степанова Л.В.
ПОЛУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА УРАВНЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО МОМЕНТА ... **286**
Апарин М.П.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПЛАСТИНЫ НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ: МЕТОД МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ... **288**
Белова О.Н., Степанова Л.В.
АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛА (ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ) И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ПРИМЕРЕ ПЛОСКИХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ПРИ ДВУХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ) ... **291**
Брагина И.Н., Степанова Л.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ: ВЕРИФИКАЦИЯ С РЕШЕНИЕМ ХАТЧИНСОНА-РАЙСА-РОЗЕНГРЕНА ... **294**
Гацко А., Степанова Л.В.
КРУЧЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ П-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ, АРМИРОВАННОГО УПРУГИМИ ВОЛОКНАМИ ... **297**
Евтихов Д.О.
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СОПОСТАВЛЕНИИ С КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕЙ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КОНЦЕНТРАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЙ ... **301**
Ермилов Е.П.

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЕ ГЦК МЕДИ..... 304
Леопаева Л.А., Степанова Л.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ГЦК МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ 306
Леопаева Л.А., Степанова Л.В.
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ В УПРУГОМ ТЕЛЕ ПО ДАННЫМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФОТОУПРУГОСТИ И ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ 309
Любимов Е.А., Степанова Л.В.
ВОЗДЕЙСТВИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА 312
Махоткин А.А.
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУГОВЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ 315
Мушанкова К.А., Степанова Л.В.
ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ LAMMPS КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР НА НАНОСКОПИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ 316
Мушанкова К.А., Степанова Л.В.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ 318
Пецев А.В., Степанова Л.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (DIC) 321
Поларшинов А.В.
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 323
Потокин Д.А.
УНИВЕРСАЛЬНАЯ СРЕДА АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ НА ПЛАТФОРМЕ ANSYS WORKBENCH 326
Салимзянов Л.Р.
МОДЕЛЬ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ИСТОЧНИКА ВБЛИЗИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 328
Ушатов Д.О., Калабухов В.Н.
КОЭФФИЦИЕНТЫ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ О ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ТАРИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ..... 330
Фомченкова М.А.
ОЦЕНКИ СХОДИМОСТИ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЯДОВ ДЛЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ 332
Фомченкова М.А.
РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ КАЧАНОВА-РАБОТНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЦЕДУР..... 334
Чаплий Д.В., Белова О.Н., Степанова Л.В.
ПРИМЕНЕНИЕ DIC СИСТЕМЫ VIC-3D ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ 337
Шарипова К.М., Бахарева Ю.Н.
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ВЕРШИНОЙ ТРЕЩИНЫ В АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ: СОПОСТАВЛЕНИЕ С АНАЛИТИЧЕСКИМ РЕШЕНИЕМ 340
Широбоков И.Д., Степанова Л.В.

СЕКЦИЯ 10. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА..... 343

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БРЮССЕЛЯТОРА..... 344
Беззубов А.Ю.
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПЕРВОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ 345
Горейнов Д.В.

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧЕ О ТЕПЛОВОМ ВЗРЫВЕ 347
Долгова Е.С.
ДЕКОМПОЗИЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИРОВЕРТИКАЛИ С РАДИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ 348
Иванов С.А., Воропаева Н.В.
СМЕНА УСТОЙЧИВОСТИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С СИНГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ 349
Кипкаева О.С.
ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ 350
Коннова К.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ХИЩНИК – ЖЕРТВА» С УЧЕТОМ КОНКУРЕНЦИИ ЖЕРТВ И С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ 351
Кучиев Г.С.
УСТОЙЧИВО-НЕУСТОЙЧИВЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОРЯДКА 352
Логинов М.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В АГРЕГАТЕ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ МЕТОДОМ FSI-АНАЛИЗА 354
Пономарев С.А., Пономарева С.А.
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ 357
Пономарева С.А., Пономарев С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭПИДЕМИОЛОГИИ 359
Протопопова Я.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ С СИНГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ 361
Федорова Д.А.

СЕКЦИЯ 11. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА 363

СВОЙСТВА БИОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ + ГИДРОКСИАПАТИТ 364
Асташов М.А., Нефедов С.А.
ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В УСТРОЙСТВАХ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР 365
Калитов Р.А.
РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ZN + 5 % AL ПОКРЫТИЯ 367
Короткова Ю.Н.
СТРУКТУРА И СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ГИДРОКСИАПАТИТОМ 369
Кулагина С.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХЧАСТОТНЫХ СХЕМ НАКАЧКИ ДЛЯ ЛАЗЕРА НА МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМАХ АРГОНА 371
Курамшин Р.А., Торбин А.П.
СТРУКТУРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ И ИТТЕРБИЕМ 373
Нестеров Д.А.
ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС СТАРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95ПЧ 375
Нуретдинова Д.Р.
ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ por-n-SiC/n-Si К ПАРАМ АЦЕТОНА 377
Савина Е.О.
ВКЛАД СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВЕРХТОНКУЮ СТРУКТУРУ МЮОНИЯ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ 379
Середина К.А., Мартыненко Ф.А., Мартыненко А.П.
РЕДКИЕ РАСПАДЫ БОЗОНА ХИГГСА В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ 382
Скакун А.А., Мартыненко Ф.А., Мартыненко А.П.
ФОРМИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ МЕТОДАМИ МСХТ 385
Турченик С.А.

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО И ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СТАРЕНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9 ..... **387**
Четверкин А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SIC/SI, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ **389**
Юрлова Д.Д.

СЕКЦИЯ 12. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ **391**

THE IMPORTANCE OF PROTEIN FOR MEN AND WOMEN IN THE 21ST CENTURY IN RUSSIA **392**
Schneider E.A., Demidova A.V.
СИНТЕЗ 2- И 3-(1*H*-2-МЕТИЛИМИДАЗОЛ-1-ИЛМЕТИЛ)БЕНЗОГИДРОКСАМОВЫХ КИСЛОТ **394**
Вязьмина В.Е., Еремеева К.А., Виноградов С.А.
ЗАРЯДОВАЯ КОМПЕНСАЦИЯ В ПОЛИФЕРРИТАХ, СОДЕРЖАЩИХ ДОБАВКИ ДВУХЗАРЯДНЫХ КАТИОНОВ **395**
Дворецкая А.Н.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ (АДАМАНТИЛ-1)БРОММЕТИЛКЕТОНА С МАГНИЙ- И МАГНИЙКУПРАТНЫМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ РЕАГЕНТАМИ **399**
Карпенко Д.С.
ТРЁХКОМПОНЕНТНАЯ ЦИКЛОАРОМАТИЗАЦИЯ ДИЭТАНОЛАМИНА С АЦЕТОНОМ И МЕТОКСИМЕТИЛЗАМЕЩЁННЫМ ИЗОНИТРОЗОДИКЕТОНОМ **401**
Первушин К.А., Шаклеин М.В., Машарова Д.А.
СИНТЕЗ ГАЛОГЕНАРИЛЗАМЕЩЕННЫХ ТРИАЗОЛИЛНИТРОЗОПИРАЗОЛОВ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИХ СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ **404**
Шаклеин М.В., Косицына А.С., Чижевская М.В.

СЕКЦИЯ 13. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ **407**

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ УЗВ В КФХ «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР» **408**
Алькановa И.П., Захаров В.В., Беленко Л.А., Земскова Н.Е., Ковнир О.Ю.
ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ СУСПЕНЗИИ МИНЕРАЛЬНОГО КОСТНОГО КОМПОНЕНТА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ОВЕЦ **409**
Барыкина А.М., Кирова А.В.
ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЖИВОТНЫХ ПОСЛЕ ВВЕДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА КОСТИ **411**
Горшкова М.А., Хамитова Я.Т.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ОВАРИАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ РЫБ СЕМЕЙСТВА *ACIPENSERIDAE* ВИДА *ACIPENSER RUTHENUS* В УСЛОВИЯХ УЗВ КРЕСТЬЯНСКО(ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР» **412**
Кононенко А.В., Зубкова Ю.В., Сарокваша В.Д., Ковнир О.Ю.
ПОЛУЧЕНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ **414**
Мухаметшин А.И., Языкова М.Ю.
СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ **416**
Языкова М.Ю., Габрелян А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ СЕМЕЙСТВА *ACIPENSERIDAE* ВИДА *ACIPENSER RUTHENUS* В УСЛОВИЯХ УЗВ КРЕСТЬЯНСКО(ФЕРМЕРСКОГО) ХОЗЯЙСТВА «ВОЛЖСКИЙ ОСЁТР» **418**
Яруськина Я.Н., Языкова М.Ю.

Научное издание

XVIII КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ

7–9 октября 2025 года

Материалы всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием, посвящённой 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне

Том 1

Научный редактор: канд. техн. наук А.О. Кузин

Литературное редактирование, корректура: Т.А. Мурзинова
Компьютерная верстка, макет: Т.А. Мурзинова

Подписано в печать 12.11.2025. Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Печ. л. 53,75.
Тираж 29 экз. Заказ № 224.

ISBN 978-5-7883-2228-5

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета.

443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.